Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Bijlage bij Kerncijfers Mobiliteit 2022

Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid | KiM

Inhoudsopgave

1 Bijlagen Thematoelichting 3

1.1 Gebruik CBS trendmodel voor personenmobiliteit 3

2 Bijlagen Toekomstbeeld 4

2.1 Methodiek toekomstbeeld 4

2.2 Uitgangspunten in de 3 toekomstscenario's: basis, minder en meer. 6

2.3 Methodiek toekomstraming wegverkeer 9

2.4 Methodiek toekomstraming trein en bus, tram en metro 12

2.5 Methodiek toekomstraming fietsgebruik 15

1 Bijlagen Thematoelichting

1.1 Gebruik CBS trendmodel voor personenmobiliteit

Het gebruik van trendschattingen voor langjarige reeksen

Met ingang van 2019 gebruikt het KiM bij het presenteren van langjarige ontwikkelingen de personenmobiliteitstrends zoals bepaald door het CBS-trendmodel. Dit model corrigeert de mobiliteitsonderzoeksgegevens voor methodebreuken en steekproefruis. Deze modeluitkomsten hebben een statistische onzekerheid.

Vergelijking met gegevens op Statline

De hier gepresenteerde uitkomsten zijn gebaseerd op hetzelfde model als de uitkomsten die gepresenteerd zijn op: http://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/84755NED/table?dl=72429 . We presenteren alleen de langetermijntrends van dit model, zonder de toevallige jaar-op-jaar-variaties die onder andere door weerinvloeden worden veroorzaakt; op CBS StatLine zijn de totale modeluitkomsten te vinden (inclusief jaar-op-jaar-variaties).

Van 'OViN-niveau' naar 'ODiN-niveau'

De modeluitkomsten zijn dit jaar voor het eerst geschat op het ODiN-niveau en gebaseerd op de Nederlandse bevolking van 6 jaar en ouder. Hierdoor wijkt het niveau van de schattingen licht af van de schattingen die vorig jaar gepresenteerd zijn in Mobiliteitsbeeld 2021 (toen nog gebaseerd op het ODiN-niveau en op de gehele Nederlandse bevolking). De trendmatige ontwikkeling is wel vergelijkbaar met de modelschattingen van vorig jaar.

Meer informatie over de modellering en de schattingen tot en met 2021 is hier te vinden.

2 Bijlagen Toekomstbeeld

2.1 Methodiek toekomstbeeld

Kerncijfers Mobiliteit 2022 schetst een toekomstbeeld van de ontwikkeling van de mobiliteit op middellangetermijn tot en met 2027. In deze editie van de kerncijfers mobiliteit betreft het de ontwikkeling van de volgende kengetallen (met tussen haakjes de bron van de gegevens voor de ontwikkeling in het verleden):

A. Voor het wegverkeer (zie Kerncijfers Mobiliteit paragraaf 6.3)

- Afgelegde afstand van gemotoriseerde wegvoertuigen op Nederlands grondgebied (CBS)
- Afgelegde afstand van gemotoriseerde wegvoertuigen op het rijkswegennet (RWS)
- Het reistijdverlies van gemotoriseerde wegvoertuigen op het rijkswegennet, alleen voor het lopende jaar 2022 (RWS) (kwalitatief)

B. Voor het openbaar vervoer (zie Kerncijfers Mobiliteit paragraaf 6.4)

- Afgelegde afstand door reizigers in de trein op Nederlands grondgebied (NS/CROW/KiM)
- Afgelegde afstand door reizigers in bus, tram en metro (btm) op Nederlands grondgebied (CROW/KiM)

C. Voor het fietsen (zie Kerncijfers Mobiliteit paragraaf 6.5)

- Afgelegde afstand met gewone fietsen (CBS)
- Afgelegde afstand met elektrische fietsen (CBS/KiM)

D. Voor de luchtvaart (zie Kerncijfers Mobiliteit paragraaf 6.6)

- Aantal luchtvaartreizigers op Schiphol (CBS)
- Aantal luchtvaartreizigers op regionale luchthavens in Nederland (CBS)

E. Voor het goederenvervoer (zie Kerncijfers Mobiliteit paragraaf 6.7)

- Hoeveelheid overgeslagen goederen in de Nederlandse zeehavens (havenbedrijven) en op Nederlandse luchthavens (CBS)
- Vervoersprestatie op Nederlands grondgebied in het goederenvervoer binnen, van, naar en door Nederland over de weg, per binnenschip en op het spoor (CBS/KiM).

Basis voor de ramingen zijn zo actueel mogelijke gegevens over de huidige situatie. In dit geval zijn dat gegevens over het jaar 2021. In de meeste gevallen zijn de gegevens definitief, maar in enkele gevallen voorlopig of nader voorlopig.

Naast een vooruitblik tot en met 2027 geven we ook een raming voor het lopende jaar 2022 en, waar mogelijk, 2023. De meeste kengetallen voor 2022 zijn beschikbaar als week-, maand-, kwartaal- of halfjaargegevens. We hebben ze geëxtrapoleerd naar een jaartotaal voor 2022. Voor de meeste indicatoren schetsen we 3 scenario's: een basis-scenario, een minder-scenario en een meer-scenario. Dit gebeurt op basis van de aannames zoals beschreven in paragraaf 6.1 van Kerncijfers Mobiliteit 2022.

De ramingen voor de afgelegde afstand in het wegverkeer in 2023 en 2027 zijn gemaakt met een error-correctiemodel (ECM) dat beschreven wordt in bijlage 2.3.

Voor het ov-gebruik zijn de ramingen voor 2023 en 2027 opgesteld met een elasticiteitenmodel dat afgeleid is van het Landelijk Model Systeem (LMS) dat beschreven wordt in bijlage 2.4.

Voor het toekomstig fietsgebruik hebben we een trendmodel geschat voor de afgelegde afstand en het aandeel van de e-fiets daarin. Dat trendmodel wordt beschreven in bijlage 2.5.

De toekomstige ontwikkelingen voor reizigers en vracht op de Nederlandse luchthavens zijn afgeleid uit de AEOLUS-modelberekeningen voor de Klimaat- en EnergieVerkenning 2022 (KEV2022) door het PBL (2022a en b, Significance 2022).

De groeiverwachtingen voor het goederenvervoer zijn gebaseerd op de Referentie prognose goederenvervoer 2026 van RWS (2020) en de actualisatie daarvan voor het wegvervoer, de binnenvaart en het spoorvervoer door het PBL (2022a en b) voor de Klimaat- en EnergieVerkenning 2022 (KEV2022). De verwachting voor de havenoverslag is afhankelijk van de groei van de relevante wereldhandel met een elasticiteit van 0,715.

De modelmatige ramingen voor het wegverkeer, ov- en fietsgebruik in 2023 en 2027 zijn bijgesteld op basis van de beschikbare kennis over aanpassingen die op langere termijn plaatsvinden in activiteiten en vervoerwijzekeuze als gevolg van de coronacrisis. Om welke aanpassingen het gaat is toegelicht in paragraaf 6.2 van Kerncijfers Mobiliteit 2022 .

Bronnen

PBL (2022a). *Klimaat- en Energieverkenning 2022*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

PBL (2022b). *Beleidsoverzichten en factsheets beleidsinstrumenten. Achtergronddocument bij de Klimaat-en Energieverkenning 2022*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

RWS (2020). *Referentieprognoses Goederenvervoer 2021: Resultaten voor 2026*. Den Haag: Rijkswaterstaat.

Significance (2022). *AEOLUS-berekening t.b.v. KEV 2022*. Den Haag: Significance.

2.2 Uitgangspunten in de 3 toekomstscenario's: basis, minder en meer.

We hanteren 3 scenario's om rekening te houden met (een deel van) de onzekerheid die er bestaat. Dit betreft echter maar een deel van alle onzekerheden. De werkelijkheid zal daarom altijd anders zijn dan een van deze 3 scenario's. De scenario's combineren aannames rond een drietal onzekerheden: omgevingsonzekerheden (zoals economische en demografische ontwikkelingen), corona-effecten (zowel tijdelijke coronagolven als structurele gedragseffecten) en (potentiële) aanbodtekorten (zoals afschaling in het ov en tekort aan onderdelen bij de e-fiets).

Het basis-scenario is een trendverwachting en maakt gebruik van de basisraming van het CPB uit CEP22 en MEV23, de trendprognose voor de bevolking van het CBS, een gemiddelde structurele gedragsaanpassing door corona en een kwaliteitsniveau van het openbaar vervoer dat in 2027 weer op het niveau komt van 2019. In het meer-scenario zijn onzekerheden rond omgeving-, corona- en aanbodontwikkelingen zo aangenomen dat er meer bevolking, meer economische groei, een lagere structurele gedragsaanpassing vanwege corona en meer kwaliteitsverbetering komt in het openbaar vervoer, waardoor er meer mobiliteitsgroei ontstaat. In het minder-scenario is aangenomen dat er minder bevolking, minder economische groei, een hogere structurele gedragsaanpassing door corona en een achterblijvende kwaliteitsontwikkeling in het openbaar vervoer zal zijn, waardoor er minder mobiliteitsgroei ontstaat.

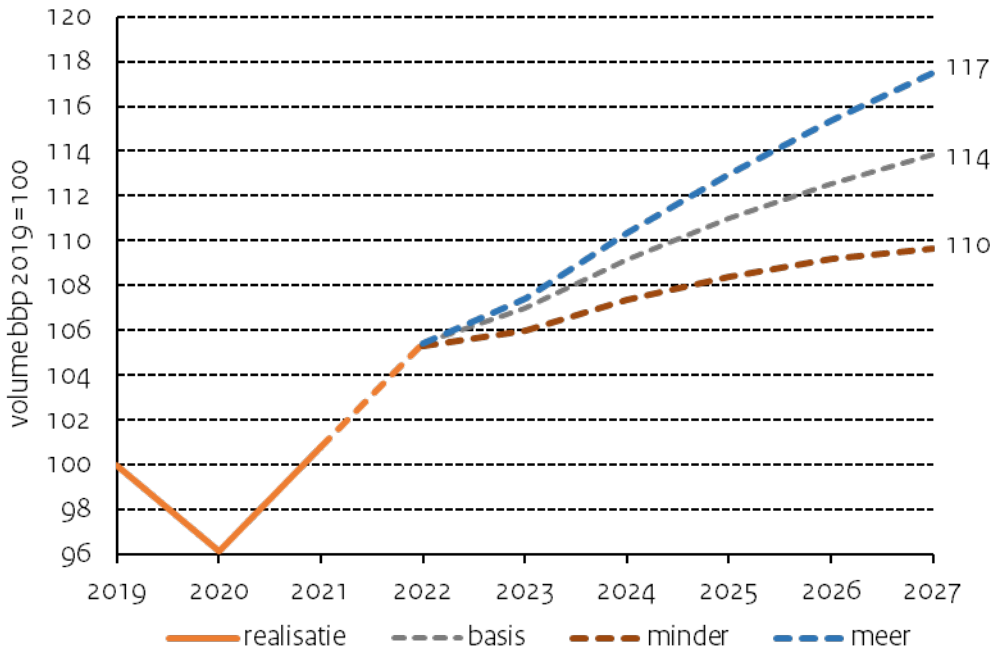
In paragraaf 6.1 van Kerncijfers Mobiliteit 2022 werken we de 3 scenario's verder uit. Hieronder gaan we in op de economische en demografische uitgangspunten die als omgevingsonzekerheden in de scenario's zijn opgenomen. Daarna gaan we in op de modellering van de corona-effecten in de scenario's.

Economische en demografische uitgangspunten

Economische uitgangspunten

CPB (2022a) heeft op Prinsjesdag de Macro Economische Verkenning 2023 (MEV23) met de verwachtingen voor 2022 en 2023 gepubliceerd. In het Centraal Economisch Plan 2022 (CEP22) van maart 2022 is een Middellangetermijn Verkenning 2022-2030 opgenomen. De resultaten van MEV23 (CPB, 2022a) en CEP23 (CPB, 2022b) zijn, voor zover mogelijk en relevant, integraal meegenomen in het toekomstbeeld mobiliteit.

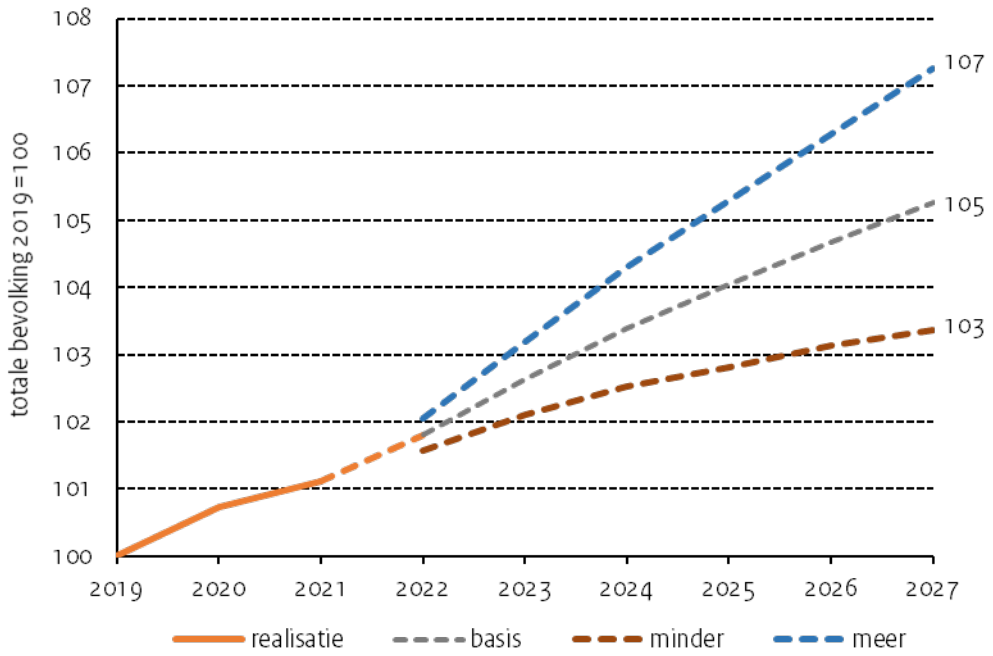
In MEV23 en CEP23 wordt een basisraming gepresenteerd. CPB heeft in MEV23 twee alternatieve scenario's geschetst op basis van een hogere en een lagere gasprijs in 2022 en 2023. Een hogere gasprijs is uitgangspunt in het minder-scenario en leidt tot een hogere inflatie en een lagere BBP-groei in 2022 en 2023. In het meer-scenario wordt in 2022 en 2023 uitgegaan van de lagere gasprijs volgens het CPB en dat leidt tot minder inflatie en meer bbp-groei. Voor de jaren 2023 tot en met 2024 hebben we voor de jaarlijkse bbp-groei een bandbreedte verondersteld rond het basis-scenario van 1,4%-punt. In figuur B.2.1 is de bbp-groei weergegeven als index ten opzichte van 2019. In het basis-scenario is er 14% bbp groei tussen 2019 en 2027. In het meer-scenario is er 17% bbp groei en in het minder scenario 10% bbp groei.



Figuur B.2.1 Ontwikkeling van de economie (volume bbp) in de jaren 2020-2027 (index 2019=100). Bron: CPB/KiM.

Demografische uitgangspunten

Voor de bevolkingsontwikkeling maken we gebruik van prognoses van het CBS. Het verloop van de totale bevolkingsontwikkeling tussen 2019 en 2027 in de drie scenario's is geïllustreerd in figuur B.2.2. De trendprognose van het CBS is gebruikt voor het basis-scenario. De onderkant van het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de trendprognose is gebruikt in het minder-scenario en de bovenkant van het 95%-betrouwbaarheidsinterval is gebruikt in het meer-scenario.



Figuur B.2.2 Ontwikkeling van de totale Nederlandse bevolking in de jaren 2020-2027 (index 2019=100).

In tabel B.2.1 is een overzicht opgenomen van de ontwikkeling van de verklarende economische en demografische variabelen (zoals opgenomen in het wegverkeersmodel) in de drie scenario's.

Tabel B.2.1 Ontwikkeling verklarende variabelen in het middellangetermijnmodel voor wegverkeer.

	bron	scenario	2019	2020	2021	2022	2023	2027	2027 (Index 2019=100)
Bevolking 20-65 jaar (mln)	CBS	basis	10,176	10,240	10,274	10,333	10,401	10,485	103,0
	CBS	minder	10,176	10,240	10,274	10,304	10,334	10,236	100,6
	CBS	meer	10,176	10,240	10,274	10,368	10,474	10,738	105,5
Capaciteit HWN (rijstrookkm)	MIRT2021	alle	13.880	13.970	14.040	14.052	14.064	14.316	103,1
Olieprijs (Brent, in $/vat)	CPB/KiM	basis	64,3	41,8	70,7	105,3	89,7	72,7	113,1
	CPB/KiM	minder	64,3	41,8	70,7	105,3	115,3	72,7	113,1
	CPB/KiM	meer	64,3	41,8	70,7	105,3	76,5	72,7	113,1
Eurokoers ($/€)	CPB/KiM	alle	1,12	1,14	1,18	1,06	1,02	1,07	95,7
Olieprijs (Brent, in €/vat)	CPB/KiM	basis	57,4	36,7	59,9	99,3	87,9	67,8	118,2
	CPB/KiM	minder	57,4	36,7	59,9	99,3	113,0	67,8	118,2
	CPB/KiM	meer	57,4	36,7	59,9	99,3	75,0	67,8	118,2
% gemiddeld per jaar	**bron**	**scenario**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024-2027**	**2020-2027**	**2019=100**
Bruto binnenlands product	CPB	basis	-3,9%	4,9%	4,6%	1,5%	1,6%	1,6%	113,8
	CPB/KiM	minder	-3,9%	4,9%	4,5%	0,6%	0,9%	1,2%	109,7
	CPB/KiM	meer	-3,9%	4,9%	4,6%	1,9%	2,3%	2,0%	117,5
Consumentenprijsindex	CPB	basis	1,3%	2,7%	9,9%	2,6%	2,2%	3,1%	128,1
	CPB	minder	1,3%	2,7%	11,7%	5,5%	2,2%	3,7%	133,9
	CPB	meer	1,3%	2,7%	9,4%	0,7%	2,2%	2,8%	125,2

Reële gemiddelde brandstofprijs	KiM	basis	-8,3%	14,4%	20,5%	-11,3%	-4,3%	-0,8%	94,0
	KiM	minder	-8,3%	14,4%	19,6%	0,1%	-7,0%	-0,8%	93,8
	KiM	meer	-8,3%	14,4%	20,7%	-17,2%	-2,3%	-0,6%	95,5

Corona-effecten

Zoals in Mobiliteitsbeeld 2021 al staat beschreven (KiM, 2021), is het nodig om te corrigeren voor de effecten van de coronacrisis op de verkeersprestatie. Dit betreft zowel tijdelijke effecten (als gevolg van angst voor besmetting en coronamaatregelen) als (mogelijke) structurele gedragseffecten. De schatting van structurele gedragseffecten per modaliteit waarmee het model voor wegverkeer, ov en fiets is bijgesteld, beschrijven we in paragraaf 6.2 van Kerncijfers Mobiliteit 2022. Hieronder gaan we nader in op de modellering van de (tijdelijke) corona-effecten.

Zonder deze correctie is het model niet langer in staat om valide parameters voor de overige afhankelijke variabelen te schatten. Vorig jaar in het Mobiliteitsbeeld 2021 (KiM, 2021) is hiervoor gebruik gemaakt van een dummy om de effecten van de contactbeperkende maatregelen en het coronavirus te modelleren.

Inmiddels beschikken we over 2 jaar aan gegevens gedurende de coronapandemie. Hiermee kunnen we gebruik maken van een variabele die het verloop van de coronacrisis en de contactbeperkende maatregelen samenvat. In de trendprognose van eerder dit jaar (Knoope et al., 2022) hebben we hiervoor de Oxford Stringency Index (Hale et al., 2020) gebruikt. Deze index beoogt de contactbeperkende maatregelen van overheden samen te vatten in een enkel getal tussen 0 en 100. Daarvoor wordt gebruik gemaakt van 9 subindices, die ieder ook weer variëren tussen 0 en 100. De totale index is het gemiddelde van de subindices.

In de trendprognose (Knoope et al., 2022) verwachtten wij dat deze index na de laatste versoepelingen van de binnenlandse contactbeperkende maatregelen ongeveer 0 zou worden. De index blijkt echter vooralsnog geen 0 te zijn. 7 van de 9 subindices zijn wel 0. De 2 subindices die geen 0 zijn, betreffen publieke informatiecampagnes en internationale reisrestricties. Dit betekent dat een trendmodel dat wordt geschat op basis van de waarde voor de Oxford Stringency Index het effect van contactbeperkende maatregelen op de verkeersprestatie op de korte termijn overschat. We hebben daarom de methodiek iets aan moeten passen ten opzichte van de trendprognose van Knoope et al. (2022). We maken gebruik van een variant op de Oxford Stringency Index, waarbij de subindices voor publieke informatiecampagnes en internationale reisrestricties niet worden meegerekend. Het gaat dus om de gemiddelde waarde voor de overige 7 subindices. Deze index wordt opgesteld aan de hand van de maatregelen die voor de meerderheid van de bevolking gelden.

Tabel B.2.2 Gebruik Oxford Stringency Index

	2020	2021	2022*
Oxford Stringency Index	49,2	57,8	22,0
Variatie	41,7	47,3	7,06

* Het jaar is bij publicatie nog niet voorbij, dus voor 2022 wordt uitgegaan van een extrapolatie van de index op de laatste datum waarvoor nog data beschikbaar was.

Bronnen

CBS (2021). *Bevolkingsprognose 2021-2070*. Den Haag: Centraal Bureau voor de Statistiek. Geraadpleegd via: https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/85089NED/table?dl=713B7

CPB (2022a). *Macro Economische Verkenning (MEV) 2023*. Den Haag: Centraal Planbureau.

CPB (2022b). *Centraal Economisch Plan (CEP) 2022*. Den Haag: Centraal Planbureau.

Hale, T., Webster, S., Petherick, A., Phillips, T. & Kira, B. (2020). *Oxford COVID-19 Government Response Tracker*. Blavatnik School of Government.

IenW (2021). *Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport 2022*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

KiM (2021). *Mobiliteitsbeeld 2021*. Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.

Knoope, M., Faber, R. & Francke, J. (2022). *Trendprognose wegverkeer 2022-2027*. Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.

2.3 Methodiek toekomstraming wegverkeer

De middellangetermijnraming van de verkeersprestatie van het totale wegverkeer en het wegverkeer op het hoofdwegennet maakt het KiM met behulp van een error-correctiemodel (ECM). De modelschattingen zijn geactualiseerd in vergelijking met eerdere toepassing van dit model (Knoope et al., 2022).

Een ECM is een statistische methode om langetermijnrelaties tussen 2 of meer variabelen te schatten op basis van tijdreeksdata.[1] Een ECM bestaat uit een korte- en langetermijnvergelijking, die hier apart worden geschat. De redenering van een ECM is dat afwijkingen van de langetermijn-trend de kortetermijndynamiek op zo'n manier beïnvloeden dat de afwijking met de langetermijntrend kleiner wordt.[2] Dit leidt tot betere modelschattingen dan een normaal lineair regressiemodel.

De uitkomsten van een ECM leiden tot korte- en langetermijncoëfficiënten. Het is te verwachten dat, bijvoorbeeld, een groeiende wegcapaciteit en stijgende brandstofprijzen een ander effect hebben op de verkeersprestatie op de korte dan op de lange termijn. Op de langere termijn kunnen mensen hun woon- en werklocaties aanpassen op basis van de beschikbare capaciteit op het hoofdwegennet (HWN). Op de korte termijn liggen deze locaties vast. Ook kunnen zij op de lange termijn maatregelen nemen tegen stijgende brandstofprijzen, zoals het aanschaffen van een efficiëntere auto.

Een kanttekening is wel dat een ECM de relatie tussen wegverkeersontwikkeling en wegcapaciteit als lineair beschouwt. Een ECM houdt er geen rekening mee dat er een limiet zit aan de capaciteit, waardoor er op een gegeven moment er geen extra auto's meer kunnen rijden. Er wordt dus geen rekening gehouden met de terugkoppeling tussen congestiegroei en wegverkeersontwikkeling.

In vergelijking met de modelschattingen die vorig jaar in Mobiliteitsbeeld 2021 zijn gepubliceerd hebben we de schattingsperiode van het model voor het gehele wegennet veranderd. We hebben dit model geschat met data tussen 1983 en 2021, waar dit vorig jaar data tussen 1970 en 2020 betrof. We hebben deze verandering doorgevoerd om de schattingsperiode tussen de modellen voor het hoofdwegennet en het totale wegennet gelijk te trekken.

Formules en variabelen verkeersprestatie wegverkeer

De α in de vergelijking 1,2 en 3 weerspiegelt de kortetermijncoëfficiënten, terwijl β de langetermijncoëfficiënten aangeeft. γ is de aanpassingsparameter, die aangeeft hoe snel de verkeersprestatie zich weer herstelt naar het langetermijnevenwicht. In de vergelijking staat het langetermijndeel tussen vierkante haken. Het kortetermijndeel is de rest van de vergelijking.

Het model is gebaseerd op de volgende variabelen:

- het bruto binnenlands product (bbp);
- de reële brandstofprijs (brn);
- het aantal inwoners tussen de 20 en 65 jaar (inw);
- de capaciteit van hoofdwegen (cap);
- de variant op de Oxford Stringency-index (Str).

Vergelijking 1 geeft de groei van de verkeersprestatie voor het totale wegverkeer weer, terwijl vergelijking 2 de groei in de verkeersprestatie van het hoofdwegennet weergeeft.

Verkeersprestatie van het totale wegverkeer op Nederlands grondgebied (WV):

$$\Delta ln\,(WV_t) = \alpha_1 \Delta ln(BBP_t) + \alpha_2 \Delta ln(brn_t) + \alpha_3 \Delta ln(inw_t) + \alpha_4 \Delta Str_t + \gamma_1 [ln\,(WV_{t-1}) - C_1 - \beta_1 ln(BBP_{t-1}) - \beta_2 ln(brn_{t-1}) - \beta_3 ln(inw_{t-1}) - \beta_4 ln(cap_{t-1}) - \beta_5 DStr_{t-1}]$$

Verkeersprestatie op het hoofdwegennet (HWN):

$$\Delta ln\,(HWN_t) = \alpha_5 \Delta ln(BBP_t) + \alpha_6 \Delta ln(brn_t) + \alpha_7 \Delta ln(inw_t) + \alpha_8 \Delta Str_t + \gamma_2 [ln\,(HWN_{t-1}) - C_2 - \beta_6 ln(BBP_{t-1}) - \beta_7 ln(brn_{t-1}) - \beta_8 ln(inw_{t-1}) - \beta_9 ln(cap_{t-1}) - \beta_{10} Str_{t-1}]$$

waarbij:

WV_t verkeersprestatie van het totale wegverkeer op Nederlands grondgebied op tijdstip t in miljoen voertuigkm;

[1] Zie voor meer informatie over ECM bijvoorbeeld *Wooldridge, J.M., 2013. Chapter 18 Advanced Time Series Topics. Introductory Econometrics* of *Thome, H. Cointegration and error correction modelling in time-series analysis: A brief introduction. International journal of conflict and violence 8 (2): 199-208.*

[2] Het idee achter een ECM is dat variabelen gecoïntegreerd zijn, wat betekent dat ze dezelfde langetermijn trend hebben. Om te kijken of de variabelen inderdaad gecoïntegreerd zijn en een ECM mag worden toegepast, moeten statistische tests worden uitgevoerd. Hier is de Augmented Dickey–Fuller test gebruikt om de integratie-ordes van de variabelen en residuen te bepalen. Daarbij is ook een negatieve en significante aanpassingsparameter γ een indicatie voor een goede ECM.

α_i de kortetermijnelasticiteit van variabele i;

BBP_t bruto binnenlands product in constante prijzen op tijdstip t, uitgedrukt in een indexcijfer waarbij de waarde van het jaar 2000 gelijk wordt verondersteld aan 100;

brn_t de gemiddelde brandstofprijs op tijdstip t uitgedrukt in constante prijzen (in $€_{2005}$/l);

inw_t het aantal inwoners in Nederland van 20 tot 65 jaar op tijdstip t, in miljoen;

Str_t de variant op de Oxford Stringency Index, waarbij publieke informatiecampagnes en internationale reisrestricties niet meetellen;

γ_n de aanpassingsparameter naar het langetermijnevenwicht voor vergelijking n;

C_n constante voor vergelijking n;

β_i de langetermijnelasticiteit voor variabele i;

cap_{t-1} het aanbod van hoofdwegen in miljoen rijstrookkm op tijdstip t-1, waarbij de spits- en doelgroepstroken mee tellen voor 2/3;

HWN_t verkeersprestatie op het hoofdwegennet op tijdstip t in miljoen voertuigkm.

Herschatting modelcoëfficiënten op gegevens tot en met 2021

Onderstaand worden de modelcoëfficiënten van het ECM gepresenteerd, met de bijbehorende standaardfouten en p-waardes. De waardes tussen haakjes zijn de coëfficiënten, standaardfouten en p-waardes van de vorige schatting die was gebaseerd op gegevens tot en met 2020. De coëfficiënt voor de Stringency-index is dit jaar voor het eerst geschat, waardoor er geen gegevens zijn van de vorige schatting.

Verkeersprestatie van het totale wegverkeer op Nederlands grondgebied (WV):

$$\Delta ln\,(WV_t) = \alpha_1 \Delta\, ln(\,BBP_t) + \alpha_2 \Delta\, ln(\,brn_t) + \alpha_3 \Delta\, ln(\,inw_t) + \alpha_4 \Delta Dum_{\,t} + \gamma_1 [ln\,(WV_{t-1}) - C_1 - \beta_1\, ln(\,BBP_{t-1}) - \beta_2\, ln\,(brn_{t-1}) - \beta_3\, ln(\,inw_{t-1}) - \beta_4 ln\,(cap_{t-1}) - \beta_5 Dum_{\,t-1}]$$

Tabel B.2.3: Coëfficiëntenvergelijking WV: Wegverkeer op Nederlands grondgebied, geschat met waarnemingen van 1983-2021.

Aantal waarnemingen: 51		coëfficiënt	standaardfout	p-waarde
bbp	α_1	0,363 (0,378)	0,116 (0,110)	0,001 (0,001)
brn	α_2	-0,0122 (-0,056)	0,0292 (0,030)	0,680 (0,066)
inw	α_3	1,69 (2,03)	0,436 (0,313)	0,000 (0,000)
Str	α_4	-0,0382	0,00380	0,000
aanpassingsparameter	γ_1	-0,551 (-0,474)	0,164 (0,134)	0,001 (0,001)
intercept	C_1	5,146 (3,596)	0,769 (0,279)	0,000 (0,000)
bbp	β_1	0,399 (0,326)	0,0709 (0,034)	0,000 (0,000)
brn	β_2	-0,0492 (-0,060)	0,0281 (0,026)	0,089 (0,024)
inw	β_3	1,10 (113)	0,196 (0,122)	0,000 (0,000)
cap	β_4	0,244 (0,427)	0,0921 (0,051)	0,000 (0,000)
Str	β_5	-0.0361	0.00325	0,000

Verkeersprestatie op het hoofdwegennet (HWN):

$$\Delta ln\,(HWN_t) = \alpha_5 \Delta\, ln(\,BBP_t) + \alpha_6 \Delta\, ln(\,brn_t) + \alpha_7 \Delta\, ln\,(inw_t) + \alpha_8 \Delta Dum_t + \gamma_2 [ln\,(HWN_{t-1}) - C_2 - \beta_6\, ln(\,BBP_{t-1}) - \beta_7\, ln(\,brn_{t-1}) - \beta_8\, ln\,(inw_{t-1}) - \beta_9\, ln(\,cap_{t-1}) - \beta_{10} Dum_{\,t-1}]$$

Tabel B.2.4: Coëfficiëntenvergelijking HWN: Wegverkeer op het hoofdwegennet, geschat met waarnemingen van 1983-2021.

aantal waarnemingen: 38		coëfficiënt	standaardfout	p-waarde
bbp	α_5	0,787 (0,774)	0,115 (0,121)	0,000 (0,000)
brn	α_6	-0,0590 (-0,063)	0,0286 (0,030)	0,047 (0,044)
inw	α_7	1,604 (1,608)	0,443 (0,455)	0,001 (0,001)
Str	α_8	-0.0455	0,00391	0.000
aanpassingsparameter	γ_2	-0,567 (-0,554)	0,138 (0,142)	0,000 (0,000)
intercept	C_2	-0,198 (-0,406)	0,863 (0,852)	0,820 (0,637)
bbp	β_6	0,615 (0,616)	0,0796 (0,081)	0,000 (0,000)
brn	β_7	-0,095 (-0,099)	0,0315 (0,032)	0,004 (0,004)
inw	β_8	1,352 (1,342)	0,220 (0,223)	0,000 (0,000)
cap	β_9	0,571 (0,577)	0,104 (0,104)	0,000 (0,000)
Str	β_{10}	-0,0470	0.00364	0,000

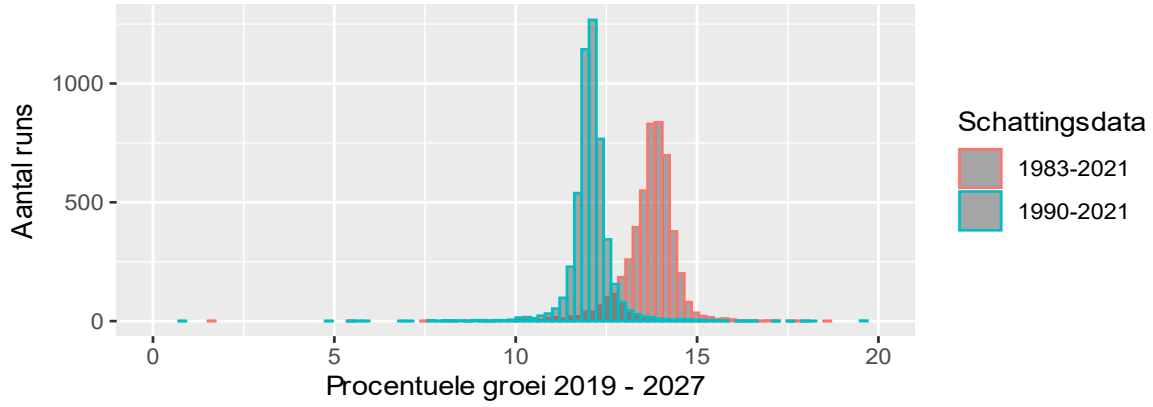
Betrouwbaarheidsintervallen ECM-wegverkeer

Ramingen zijn per definitie onzeker. Om inzicht te geven in de onzekerheid die het model veroorzaakt, berekenen we 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de ontwikkeling van het verkeersvolume.

De coëfficiënten van de korte termijn (α, σ, μ en γ) zijn onafhankelijk van elkaar. De onzekerheid van de korte termijn schatten we met behulp van een Monte-Carlosimulatie. Hiermee wordt er, op basis van een opgelegde verdeling, elke keer een mogelijke waarde getrokken van iedere coëfficiënt. In deze studie gebruiken we een normaalverdeling waarbij de huidige waarde het gemiddelde is en de standaardfout de standaardafwijking. De set van de gesimuleerde coëfficiënten gebruiken we vervolgens om de groei te schatten. Dit proces wordt 5.000 keer herhaald, waardoor er goed inzicht ontstaat in de verdeling van de groei.

Naast onzekerheid over de kortetermijncoëfficiënten, is er ook onzekerheid over de langetermijncoëfficiënten (ω, β en C). Deze langetermijncoëfficiënten zijn echter nauw met elkaar verbonden, waardoor de onzekerheid niet op dezelfde manier kan worden geschat als bij de kortetermijncoëfficiënten. Om inzicht te geven in de langetermijnonzekerheid herschatten we de parameters voor een andere periode, namelijk van 1990 tot 2021.

Vervolgens voeren we met deze nieuwe set van coëfficiënten opnieuw een Monte-Carlosimulatie uit met 5.000 runs. Dit leidt tot in totaal 10.000 simulaties voor zowel HWN als WV, die een goed beeld geven van de onzekerheid van het model. De spreiding van de uitkomsten staan afgebeeld in Figuur B.2.3.



Figuur B.2.3. Onzekerheid in de ontwikkeling van het verkeersvolume tussen 2019-2027 op het hoofdwegennet in de basisraming.

In de simulaties zitten altijd een paar extreme ramingen. Daarom nemen we de 5% hoogste en 5% laagste ramingen niet mee in het 90%-betrouwbaarheidsinterval, dat we hebben beschreven in de hoofdtekst.

Bronnen

Knoope, M., Faber, R. & Francke, J. (2022). *Trendprognose wegverkeer 2022-2027*. Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.

2.4 Methodiek toekomstraming trein en bus, tram en metro

De raming van het toekomstige gebruik van de trein en van bus, tram en metro (btm) is gebaseerd op elasticiteiten. Deze elasticiteiten zijn afgeleid uit het Landelijk Model Systeem (LMS) en zijn ook gebruikt om de toename van het btm- en treingebruik te verklaren. (Van der Loop et al., 2018).

De ontwikkeling van het ov-gebruik in 2022 is gebaseerd op een extrapolatie van de beschikbare gegevens over de afgelegde reizigerskilometers in het lopende en voorgaande jaar in de trein van NS (NS, 2022) en van Translink over het aantal in- en uitstappers in het ov (Translink, 2022).

In de tabellen B.2.5 en B.2.6 staan de elasticiteiten voor de verschillende verklarende variabelen voor trein respectievelijk voor bus, tram en metro. Dit betekent bijvoorbeeld dat 1% meer banen leidt tot een toename van de afgelegde afstand van 0,29% per trein en 0,11% per bus, tram en metro.

Om het totale effect van alle verklarende variabelen op de reizigersvraag te bepalen, hebben we een multiplicatief verband aangenomen tussen de variabelen. De variabelen hangen echter met elkaar samen: het aantal banen zal waarschijnlijk stijgen als het inwonersaantal groeit. In de LMS-runs is rekening gehouden met de interactie tussen de variabelen. We hebben aangenomen dat de interacties in de nabije toekomst niet significant anders zullen zijn.

De projecties van de verklarende variabelen komen uit verschillende bronnen:

- De studentenprognoses komen uit de referentieramingen voor 2022 (OCW, 2022). De ontwikkeling is alleen gebaseerd op mbo-bol-, hbo- en wo-studenten.
- De verwachte inwonersontwikkelingen zijn afkomstig van het CBS (CBS, 2021) waarbij de trendprognose van het CBS wordt gebruikt al basisscenario. Voor het minder-scenario wordt de bevolkingsomvang aan de onderkant van het 95% betrouwbaarheidsinterval van de trendprognose gebruikt en voor het meer-scenario wordt de bovenkant van het 95% betrouwbaarheidsinterval van de trendprognose gebruikt.
- De ontwikkeling van inkomen, banen, en brandstofkosten zijn gebaseerd op de MEV2023 (CPB, 2022a), CEP2022 (CPB, 2022b) en de aannames voor de scenario's 'minder' en 'meer' zoals beschreven in paragraaf 6.1 van Kerncijfers Mobiliteit 2022.
- De reizigers van en naar Schiphol zijn gebaseerd op de raming elders in dit document.
- De verwachting voor de ontwikkeling van het reistijdverlies op het hoofdwegennet is voor 2022 gebaseerd op een extrapolatie van de voertuigverliesuren van de eerste 8 maanden van 2022 (RWS, 2022). De congestieprognose voor 2027 is opgesteld door RWS op basis van de verkeersverwachting van het KiM zoals gepresenteerd in deze publicatie.
- De tarieven voor zowel bus als trein zijn gestegen door de btw-verhoging in 2019, maar stabiliseren zich en blijven tot 2027 in reële termen op hetzelfde niveau (IenW, 2022).
- Kwaliteitsverbeteringen zorgen voor een beter openbaar vervoer en kortere gegeneraliseerde reistijden. In de periode 2004-2014 zorgden kwaliteitsverbeteringen ervoor dat het aantal reizigerskilometers met gemiddeld 0,9% en 0,2% per jaar toenam voor respectievelijk de trein en bus, tram en metro. In 2022 zijn vanwege personeelsgebrek de dienstregelingen van de -ov-bedrijven in veel gevallen afgeschaald en de verwachting is dat dit in 2023 in nog grotere mate zal gebeuren. Er is geen duidelijk beeld voor de komende jaren over de omvang van de afschaling van de dienstregeling, het inzetten van materieel met minder capaciteit en andere maatregelen die leiden tot een verslechtering van de kwaliteit van het ov- product. Daarom hebben we aannames gemaakt voor de 3 scenario's over de ontwikkeling van de kwaliteit van het ov in de komende jaren. Deze aannames zijn beschreven in paragraaf 6.1 van Kerncijfers Mobiliteit 2022.

De totale ontwikkeling van het ov-gebruik op middellangetermijn tot en met 2027 is bepaald met een elasticiteitenmodel. De groei uit dit elasticiteitenmodel tussen 2019 en 2027 wordt toegepast op de 'waargenomen' afgelegde afstand met het ov in 2019. De groei wordt daarbij gecorrigeerd met de effecten van gedragsaanpassingen als gevolg van de coronacrisis.
De elasticiteiten uit dit model zijn bepaald door voor een aantal jaren in het verleden met het Landelijk Model Systeem (LMS) een simulatie uit te voeren voor het openbaar vervoer. Een dergelijke simulatie wordt ook wel een 'backcast' genoemd. Voor 10 verklarende factoren zijn in de backcast afzonderlijke elasticiteiten bepaald voor de verandering van het trein- en btm-gebruik.

In tabel B.2.5 en B.2.6 staan de verklarende factoren en de bijbehorende elasticiteiten voor trein- respectievelijk btm-gebruik. Een inkomenselasticiteit van bijvoorbeeld 0,65 betekent dat de afgelegde afstand op het spoor met 0,65% groeit als het inkomen (de verklarende variabele) met 1% groeit.

De elasticiteiten die zijn gebruikt om de toekomst te ramen, zijn gebaseerd op de periode 2004-2014. Het is echter onzeker in hoeverre de verbanden uit het verleden ook geldig zijn voor de toekomst. Hiernaast zijn de ramingen onzeker omdat ook de toekomstraming voor de verklarende variabelen onzeker is; denk aan de economische groei, de brandstofprijzen en de kwaliteitsverbetering van het openbaar vervoer. De onzekerheden in de verklarende variabelen zijn vormgegeven in drie scenario's in de verwachtingen tot en met 2027.

De autonome groei van de afgelegde afstand per trein van 14% (basis) respectievelijk 2% (minder) en 27% (meer) in de periode 2020-2027 is bepaald met behulp van elasticiteiten. Voor het btm-gebruik is de autonome groei 15% (basis) respectievelijk 2% (minder) en 26% (meer) in de periode 2020-2027 eveneens bepaald met behulp van het elasticiteitenmodel.

Voor het openbaar vervoer wordt de verwachte autonome groei van de afgelegde afstand in 2020-2027 vooral veroorzaakt door, in mate van belangrijkheid, de bevolkingsontwikkeling, de verandering van de treinkwaliteit en de inkomensontwikkeling en het aantal studenten. Het aantal vliegpassagiers dat gebruik maakt van Schiphol is ook een verklarende factor, omdat de trein een belangrijke rol speelt in het voor- en natransport van de luchthaven Schiphol.

Vanwege aanpassingen in het mobiliteitsgedrag door de coronacrisis hebben we de autonome groeiverwachtingen bijgesteld. Door meer digitaal werken, vergaderen en onderwijs zijn minder verplaatsingen nodig. Reizigers zullen door de coronacrisis vaker kiezen voor individuele vervoerwijzen (auto, fietsen en lopen) in plaats collectieve vervoerwijzen. Daarom schat het KiM dat 3% van de afgelegde afstand verschuift van het ov naar auto, fietsen en lopen. Deze aanpassingen in het mobiliteitsgedrag resulteren in een bijstelling in 2027 in het basisscenario met -10,8% voor de afgelegde afstand met de trein en met -9,2% voor de afgelegde afstand met bus, tram en metro. In het minder-scenario is de bijstelling -13,3% voor de trein en -11,2% voor btm en in het meer-scenario -7,6% voor trein en -6,3% voor btm. Meer uitleg over deze structurele gedragsaanpassing staat in paragraaf 6.2 van Kerncijfers Mobiliteit 2022.

Tabel B.2.5: LMS-elasticiteiten en de ontwikkeling van de verklarende factoren van het treingebruik (in reizigerskm), in de jaren 2020-2027.

Trein 2020-2027	Parameterontwikkeling			Elasticiteiten	Effect op afgelegde afstand reizigers		
Verklarende variabelen	**basis**	**minder**	**meer**	**LMS**	**basis**	**minder**	**meer**
Studenten	8,0%	8,0%	8,0%	0,23	1,9%	1,9%	1,9%
Inwoners	5,1%	2,8%	7,4%	1,38	7,0%	3,9%	10,2%
Banen	7,8%	7,8%	7,8%	0,29	2,3%	2,3%	2,3%
Inkomen	3,4%	-3,6%	8,7%	0,65	2,2%	-2,3%	5,6%
Autobezit	12,2%	12,2%	12,2%	-0,02	-0,3%	-0,3%	-0,3%
Schipholpassagiers	1,8%	-3,9%	5,3%	0,05	0,1%	-0,2%	0,3%
Congestie	22,4%	-12,1%	40,3%	0,03	0,7%	-0,4%	1,2%
Brandstofkosten	-6,0%	-6,2%	-7,6%	0,11	-0,7%	-0,7%	-0,8%
Treintarief	0,0%	0,0%	0,0%	-0,63	0,0%	0,0%	0,0%
Treinkwaliteit	0,0%	-5,0%	12,2%	0,35	0,0%	-1,8%	4,3%
Totaal elasticiteiten	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	13,7%	2,2%	26,9%
Totaal inclusief gedragsaanpassing	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	2,9%	-11,1%	19,3%

Tabel B.2.6: LMS-elasticiteiten en de ontwikkeling van de verklarende factoren van btm-gebruik (in reizigerskm), in de jaren 2020-2027.

Btm 2020-2027	Parameterontwikkeling			Elasticiteiten	Effect op afgelegde afstand reizigers		
Verklarende variabelen	**basis**	**minder**	**meer**	**LMS**	**basis**	**minder**	**meer**
Studenten	8,0%	8,0%	8,0%	0,30	2,4%	2,4%	2,4%
Inwoners	5,1%	2,8%	7,4%	2,15	10,9%	6,0%	15,9%
Banen	7,8%	7,8%	7,8%	0,11	0,9%	0,9%	0,9%
Inkomen	3,4%	-3,6%	8,7%	0,69	2,3%	-2,5%	6,0%
Autobezit	12,2%	12,2%	12,2%	-0,18	-2,2%	-2,2%	-2,2%
Schipholpassagiers	1,8%	-3,9%	5,3%	0,02	0,0%	-0,1%	0,1%
Congestie	22,4%	-12,1%	40,3%	0,02	0,4%	-0,2%	0,8%
Brandstofkosten	-6,0%	-6,2%	-7,6%	0,07	-0,4%	-0,5%	-0,6%
Btm-tarief	0,0%	0,0%	0,0%	-0,43	0,0%	0,0%	-0,6%
Ov-kwaliteit	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,2%	-1,5%	0,8%
Totaal elasticiteiten	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	14,9%	2,1%	25,5%
Totaal inclusief gedragsaanpassing	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	5,7%	-9,2%	19,2%

Bronnen

CPB (2022a). *Macro Economische Verkenning (MEV) 2023*. Den Haag: Centraal Planbureau.

CPB (2022b). *Centraal Economisch Plan (CEP) 2022*. Den Haag: Centraal Planbureau.

IenW (2022). *Beleidsuitgangspunten referentieprognoses 2022 Weg, OV en Spoor en Scheepvaart*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Op te vragen bij het Steunpunt Verkeersprognoses.

Jong, G. de, Pieters, M., Miller, S., Daly, A., Plasmeijer, R., Graafland, I., Lierens, A., Baak, J., Walker & W. Kroes, E. (2005). *Uncertainty in traffic forecasts: literature review and new results for the Netherlands*. Gemaakt in opdracht van AVV Transport Research Centre door RAND Europe.

Loop, H. van der, Bakker, P., Savelberg, F., Kouwenhoven, M., & Helder, E., (2018). Verklaring van de ontwikkeling van het ov-gebruik in Nederland over 2005-2016. Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.

NS (2022). *Halfjaarbericht 2022*. Utrecht: NV Nederlandse Spoorwegen. Geraadpleegd via: https://nieuws.ns.nl/halfjaarcijfers-ns-matig-herstel-in-eerste-helft-2022/#:~:text=Zonder%20overheidssteun%20en%20andere%20bijzondere,bleven%20steken%20vergeleken%20met%202019

OCW (2022). *Referentieraming OCW 2022*. Den Haag: Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap (OCW). Geraadpleegd via:

https://www.ocwincijfers.nl/actueel/nieuws/2022/5/23/publicatie-referentieramingen-2022

RWS (2022). *Raming congestie rijkswegen voor 2027*. Den Haag: Rijkswaterstaat.

Translink (2022). Impact COVID-19 op het openbaar vervoer in Nederland. Geraadpleegd via: https://www.translink.nl/library

2.5 Methodiek toekomstraming fietsgebruik

Modellering gebruik van fiets

De raming van het toekomstige gebruik van fiets maakt het KiM met behulp van twee soorten tijdreeksmodellen. 1) Exponential smoothing, met de ETS-functie van R-pakket fable (Hyndman & Athanasopoulos, 2021) en 2) Multivariate Singular Spectrum Analysis (MSSA) met de mssa-functie van het R-pakket Rssa (Golyandina & Korobeynikov, 2014).

Van de ETS-functie zijn de twee eenvoudigste modelvarianten gebruikt: het lokaal-niveaumodel en het lokaal-trendmodel. Het lokaal-niveau model volgt het gemiddelde niveau van een tijdreeks. Het model heeft één modelparameter α, die gerelateerd is aan de veranderlijkheid van het tijdreeksniveau. Met $\alpha = 0$ wordt aangenomen dat het niveau constant is: het model voorspelt op het niveau van het gemiddelde van alle waarnemingen. Met $\alpha = 1$ volgt het model alleen de laatste waarneming. Dit model is geschikt voor voorspelling van bij benadering vlakke verlopen (met relatief lage α-waarden) en het voorspelt een vlak verloop. Het lokaal-trend model volgt het trendmatig verloop van een tijdreeks. Naast de α-parameter voor het niveau is er ook een β-parameter die de helling van de trend schat. Een constant model ($\alpha = 0$ en $\beta = 0$) is equivalent aan lineaire regressie. De modellen zijn univariaat; voor elke tijdreeks wordt afzonderlijk een voorspelling gemaakt.

MSSA is een multivariate techniek, die vooral geschikt is voor meerdere tijdreeksen met gemeenschappelijke niet-lineaire patronen. De methode reconstrueert de tijdreeks als de som van interpreteerbare componenten zoals niet-lineaire trends, periodieke componenten en ruis, zonder a priori aannames te doen over de parametrische vorm van deze componenten. De modelparameters die de voorspelnauwkeurigheid bepalen zijn: de window length en het aantal componenten. De window length L bepaalt de resolutie van de methode. De voorspelling bestaat uit de som van de voorspellingen van de meest relevante componenten en is niet-lineair van aard.

De modelparameters van beide modeltypes zijn bepaald met de hieronder beschreven tijdreekskruisvalidatiemethodiek, gericht op een zo nauwkeurig mogelijke voorspelling van 6 jaar vooruit.

We modelleren de afstand per persoon per jaar van elke combinatie van leeftijd, geslacht en motiefdomein in het verleden en extrapoleren de trend voor de komende 6 jaar. De Nederlandse bevolking van 6 jaar en ouder wordt later gebruikt om de totale fietsafstand te berekenen. De afstand per persoon per jaar van elk domein komt van het CBS-trendmodel op basis van het ODiN-niveau in de jaren 1999 tot 2021. Gegevens over de bevolkingsontwikkeling (historisch en voorspeld) komen van het CBS.[3] In totaal hebben we ongeveer 100 uitgesplitste niveaudomeinen[4], die afkomstig zijn uit 10 leeftijdsgroepen, 2 geslachtsgroepen en 5 motiefgroepen.

- 5 motief: woon-werk, winkelen, onderwijs, vrijetijd en overig.
- 2 geslacht: mannen, vrouwen
- 10 leeftijdsgroep: 6-11, 12-17, 18-24, 25-29, 30-39, 40-49, 50-59, 60-64, 65-69, en 70+ jaar.

Een bepaalde combinatie van geslacht, leeftijdsgroep en motiefklasse wordt in het vervolg met de term 'domein' aangeduid.

We modelleren om de volgende redenen op domeinniveau. Ten eerste bewijzen literatuur en onze tijdreekskruisvalidatie dat modellering op domeinniveau optimale resultaten op totaalniveau kan bereiken (Hyndman, Ahmed, Athanasopoulos, & Shang, 2011). Ten tweede is voorspelling op uitgesplitst niveau ook relevant voor de modellering van het aandeel van de e-fiets, dat voor alle domeinen wordt gedaan. De uitgesplitste modelresultaten zijn nodig om het aandeel van de e-fiets op hogere aggregatieniveaus te berekenen. Ten derde biedt het modelleren op uitgesplitste niveaus ons een manier om de voorspelling van de fietsafstand op elk gewenst hoger aggregatieniveau te berekenen.

Bij de tijdreekskruisvalidatie worden naar het totaalniveau geaggregeerde voorspellingen gebruikt om het model met de laagste voorspelfout (Root Mean Square Error, RMSE) te bepalen. In deze kruisvalidatieprocedure maken we een reeks test- en trainingsets. Elke testset bestaat uit een enkele observatie, dat is 6 jaar vooruit ten opzichte van het laatste jaar van de trainingset. De overeenkomstige trainingset bestaat dus alleen uit observaties die 6 jaar vóór die observatie plaatsvonden. In totaal hebben we 6 trainingsets gebruikt, met eindjaren van 2010 tot 2015. De 6 met deze trainingsets overeenkomstige voorspellingen worden gebruikt bij de kruisvalidatie. De voorspelfout voor een bepaald jaar is het verschil tussen waarneming en de voorspelling. De kruisvalidatie-RMSE wordt berekend op basis van de voorspelfouten van deze 6 voorspellingen.

Het belangrijkste doel is om op het hoogste aggregatieniveau een optimale voorspelling te doen met behulp van kruisvalidatie. Omdat de dynamiek van de tijdverlopen van de afstand per persoon per jaar tussen de leeftijdsgroepen significant verschilt is ervoor gekozen om de kruisvalidatie op het niveau van leeftijdsgroepsaggregaten toe te passen, in plaats van op totaalniveau.

[3] CBS (2021). Prognose bevolking; geslacht en leeftijd, 2022-2070 en Bevolking; geslacht, leeftijd, generatie en migratieachtergrond. Den Haag: Centraal Bureau voor de Statistiek. Geraadpleegd via https://opendata.cbs.nl/statline

[4] In totaal minder dan 100 domeinen, omdat sommige domeinen geen gegevens hebben, daarom worden uitgesloten. Domein Leeftijd 6-11 heeft bijvoorbeeld geen werkreizen

De door kruisvalidatie op het niveau van leeftijdsgroepaggregaten geselecteerde modellen worden weergegeven in tabel B.2.7. De voorspelling voor elk domein (combinatie van geslacht en motief) binnen een leeftijdsgroep is dus met hetzelfde model gemaakt.[5] Voor de domeinen binnen de leeftijdsgroepen van 40 tot 64 jaar zijn de MSSA-modeluitkomsten geselecteerd, omdat deze leeftijdsgroepen een meer niet-lineaire ontwikkeling van de fietsafstand per persoon per jaar groei hebben dan andere leeftijdsgroepen. Andere leeftijdsgroepen hebben min of meer een lokale lineaire groei en een lokaal trendkarakter dat beter met ETS-modellen wordt voorspeld.

Tabel B.2.7 De resultaten van de geselecteerde modellen.

LEEFTIJDSKLASSE (KLEEFT)	Model voor elk uitgesplitst niveau
Totaal	Geaggregeerd van elke leeftijdsgroep
6-11	ETS lokaal-niveau model, α=0,6
12-17	ETS lokaal-trend model, α=0,1, β=0,1
18-24	ETS lokaal-niveau α=0.9
25-29	ETS lokaal-trend model α=0,5 and β=0,01
30-39	ETS lokaal-niveau α=0,4
40-49	MSSA with window-length 3 and 2 componenten
50-59	MSSA with window-length 3 and three componenten
60-64	MSSA with window-length 9 and 4 componenten
65-69	ETS-optie in combinatie met interne kruisvalidatie*
70+	ETS-optie in combinatie met interne kruisvalidatie*

*Dit is een ETS-optie met interne kruisvalidatie uitgaande van lokaal-niveau en lokaal-trendmodel.

Modellering aandeel e-fiets

De toekomstraming voor het totale fietsgebruik is vervolgens opgesplitst in de afgelegde afstand met de gewone fiets en met de e-fiets. Daarvoor is de ontwikkeling van het aandeel e-fiets in de totale afgelegde afstand op de fiets geschat.

De aandelen van de e-fiets zijn gemodelleerd op basis van uit OViN-ODiN afgeleide gegevens over de periode 2013 tot en met 2021. Daarbij is uitgegaan van de volgende indeling:

- Geslacht: man, vrouw.
- Leeftijd, met de leeftijdsgroepen: 0-5, 6-11, 12-17, 18-24, 25-29, 30-39, 40-49, 50-59, 60-64, 65-69, en 70+ jaar.
- Reismotief, met de motiefklassen: woon-werk, winkelen, onderwijs, vrijetijd en overig.

Een bepaalde combinatie van geslacht, leeftijdsgroep en motiefklasse wordt met de term 'domein' aangeduid.

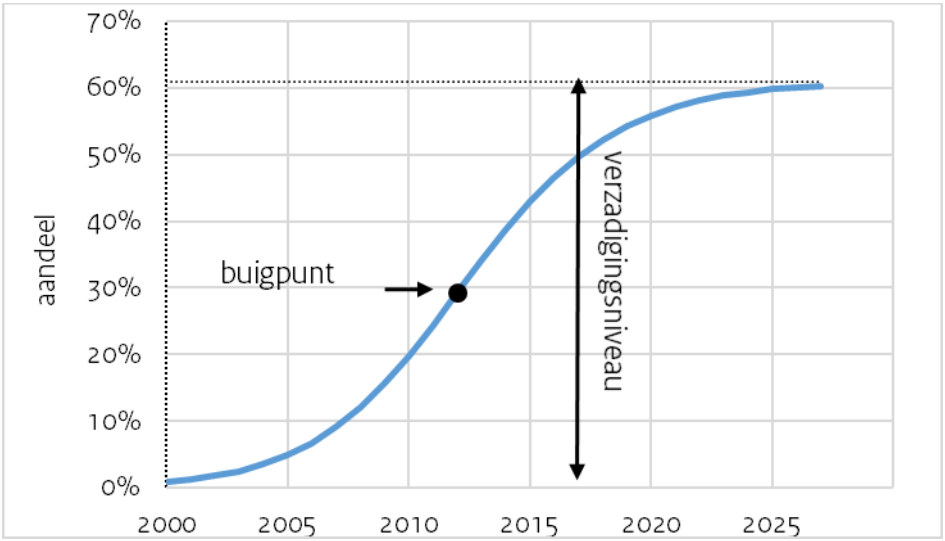
Het verloop van de e-fietsaandelen wordt voor alle domeinen beschreven met Richards-groeikrommen, volgens de formulering in Vrána et al. (2019).[6] Dit type groeikromme heeft 4 parameters (zie figuur B.2.4):

1. Het verzadigingsniveau (de boven-asymptoot van het aandeelverloop).
2. Het (relatieve) groeitempo bij het buigpunt van de groeikromme.
3. De tijdlocatie van het buigpunt van de groeikromme.
4. Een vormparameter *d*, die de verticale positie van het buigpunt bepaalt.[7]

[5] Als per domein het model met de laagste kruisvalidatie-RMSE (voor dat domein) zou worden gekozen, dan leidt dat tot significant hogere waarden van de kruisvalidatie-RMSE bij aggregatie tot totaalniveau of tot het niveau van leeftijdsgroepen, dan selectie van één model (toe te passen op alle domeinen) of de, uiteindelijk gekozen, selectie van één model per leeftijdsgroep (toe te passen op alle combinaties van geslacht en motief binnen die leeftijdsklasse).

[6] De *Richards*-groeikromme staat ook bekend als *generalised logistic function*.

[7] Bij de standaard logistische kromme heeft de vormparameter *d* de waarde 2. Deze kromme is symmetrisch rond het buigpunt (het aandeel ter hoogte van het buigpunt is de helft van het verzadingsniveau). De, ook veelgebruikte, Gompertz-kromme heeft een vormparameter *d* van dichtbij 1: het buigpunt van deze groeikromme ligt lager dan dat van de logistische groeikromme, op ongeveer 37% van het verzadigingsniveau (in deze figuur zou dat bij een aandeel van 22,5% zijn).



Figuur B.2.4 Voorbeeld van de geünificeerde Richards groeikromme

Modelspecificatie
Univariate schatting van de groeikrommen, waarbij de modelcoëfficiënten (de schattingen van de modelparameters) per domein (combinatie van geslacht, leeftijdsgroep en motiefklasse) afzonderlijk wordt geschat, zou voor veel domeinen tot instabiele resultaten leiden vanwege de beperkte lengte van de tijdreeks en de steekproefruis. Toepassing van een multivariaat- Bayesiaans-hiërarchisch model leidt wel tot stabiele parameterschattingen, doordat de coëfficiënten zelf worden gemodelleerd.

Het model modelleert zowel de afstandsaandelen als twee (hulp-)reeksen van ritaandelen en van de verhouding tussen afstands- en ritaandelen. Het integraal meenemen van deze hulpreeksen in het model verbetert de nauwkeurigheid van de schatting van de afstandsaandelen. Het model is geschat met behulp van het open-source programma OpenBUGS.

Hoe binnen het Bayesiaans-hiërarchische model de coëfficiënten worden gemodelleerd wordt hieronder beknopt beschreven.

<u>Verzadigingsniveau en het groeitempo</u>
Afstandsaandelen: Voor het stabiliseren van de coëfficiënten voor het verzadigingsniveau en het groeitempo van de afstandsaandelen is een hiërarchie van 3 lagen gebruikt.[8]

- In de eerste laag worden de coëfficiënten gemodelleerd als zijnde afkomstig uit een gemeenschappelijke normaalverdeling.
- In de tweede laag worden de parameters - het gemiddelde en de standaardafwijking - van deze verdeling gemodelleerd. Hierbij geldt voor elk motief een apart gemiddelde voor het verzadigingsniveau en het groeitempo (elk gemiddelde geldt dus voor de verdeling van de betreffende coëfficiënt van alle combinaties van geslacht en leeftijdsgroep binnen een bepaald motief). In tegenstelling tot het gemiddelde varieert de standaardafwijking niet naar motief, maar alleen naar coëfficiëntsoort (verzadigingsniveau en groeitempo).
- In de derde laag worden de gemiddelden van bovengenoemde verdelingen (voor 5 motieven en 2 coëfficiënten) geschat, waarbij per motief, ook de correlatie tussen de gemiddelden (voor verzadigingsniveau en groeitempo) van de verdelingen wordt gemodelleerd.

Ritaandelen: de schatting van de parameters voor het verzadigingsniveau en het groeitempo van de ritaandelen verloopt vrijwel identiek aan dat van de afstandsaandelen, met dit verschil dat de gemiddelden van de verdelingen (voor de 5 motieven) met een per coëfficiënt – geschatte - vaste waarde verschillen van de overeenkomstige gemiddelden van het afstandsaandelenmodel.

<u>Tijdlocatie</u>
Voor de coëfficiënten van de tijdlocatie van het buigpunt is een tweelaagse hiërarchie toegevoegd, vergelijkbaar met, maar eenvoudiger dan, de eerste 2 lagen van de modellering van het verzadigingsniveau en groeitempo.

De gemiddelden van de coëfficiëntenverdelingen worden per leeftijdsgroep geschat. Er wordt eveneens gewerkt met één standaardafwijking. Per leeftijdsgroep geldt de verdeling van de coëfficiënten voor alle motieven en slechts 1 geslacht. Het verschil tussen de geslachten wordt bepaald door 1 vaste coëfficiënt (dit verschil is dus gelijk voor alle combinaties van leeftijd en motief). Voor de groeikrommen van het afstandsaandeel en het ritaandeel wordt dezelfde tijdlocaties gebruikt.

[8] Deze manier van modelleren staat onder andere bekend onder de namen "*varying coefficients*" of "*random effects*" modellering.

Vormparameter
Er worden slechts twee coëfficiënten voor de vormparameter d geschat; één voor het afstandsaandeel en één voor het ritaandeel. Deze coëfficiënten gelden dus voor alle domeinen.

COVID-19-effecten
De COVID-19-effecten zijn gemodelleerd met dummy's voor elk domein en jaar (2020 en 2021).

Verkoopvertraging
De sinds 2020 optredende e-fietsleveringsproblemen leiden tot een vertraging van de groei van het e-fietsaandeel.

Bij het bepalen van de groeivertragingen voor de basisraming en het meer- en minderscenario (zie tabel B.2.8) is aangenomen dat een (nieuw)verkoopcijfer van 525.000 e-fietsen per jaar nodig is voor voortzetting van het historische groeitempo (van vóór 2020). De geregistreerde nieuwverkooptekorten zijn 65.000 in 2020 en 152.000 in 2021. Dit leidt tot een cumulatieve groeivertraging van 0,12 in 2020 (65.000/515.000) en 0,41 in 2021 (217.000/525.000).

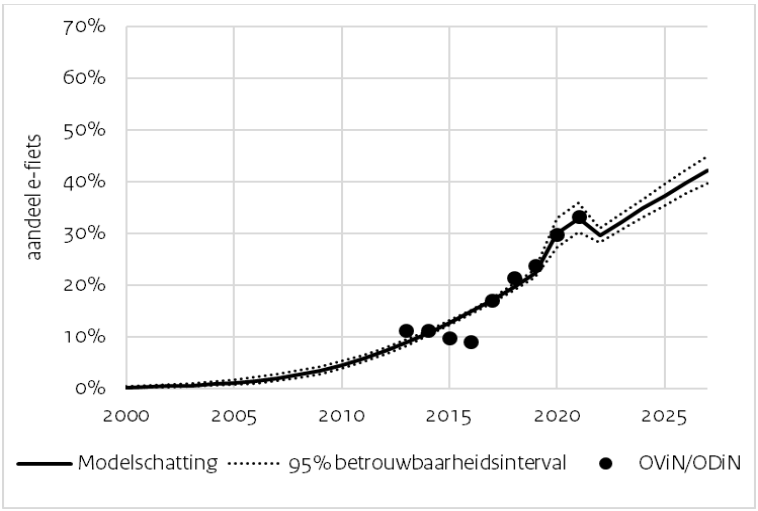
Voor de ontwikkelingen vanaf 2022 wordt voor het meer-scenario aangenomen dat de gevolgen van de groeivertraging in 2027 volledig gecompenseerd zijn. Voor de basisraming is aangenomen dat vanaf 2023 de per 2022 opgebouwde cumulatieve groeivertraging blijft gelden. Voor het minder-scenario is aangenomen dat de verkooptekorten vanaf 2023 een lineaire afbouw vertonen en in 2025 tot 0 zijn gereduceerd. Dit leidt tot een – cumulatieve - groeivertraging van 1 jaar vanaf 2025.

Tabel B.2.8: de cumulatieve groeivertragingen van de verschillende scenario's.

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Meer-scenario	0,12	0,41	-	-	-	-	-	0,00
Basis-scenario	0,12	0,41	0,56	0,56	0,56	0,56	0.56	0,56
Minder-scenario	0,12	0,41	0.56	0,71	0,86	1,00	1,00	1,00

In de modelschatting wordt rekening gehouden met de groeivertragingen in de jaren 2020 en 2021, zoals vermeld in tabel B.2.8. De groeivertraging wordt gemodelleerd als, met de groeivertraging evenredige, (tijd)verschuivingen van de groeikrommen.

Voorbeelden van modelschattingen
Figuur B.2.5 illustreert de geschatte groeikromme van de afstandaandelen voor e-fiets totaal. De aandeelschatting voor 2027 is 42%, de onder- en bovengrens van het 95%-betrouwbaarheidsinterval zijn respectievelijk 40% en 45%.



Figuur B.2.5 Geschatte groeikromme afstandaandeel e-fiets.

Bronnen

Golyandina, N., & Korobeynikov, A. (2014). *Basic Singular Spectrum Analysis and forecasting with R.* Computational Statistics & Data Analysis, 934-954.

Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2021). *Forecasting: Principles and Practice, 3rd edition.* OTexts: Melbourne, Australia.

Hyndman, R. J., Ahmed, R. A., Athanasopoulos, G., & Shang, H. (2011). *Optimal combination forecasts for hierarchical time series.* Computational Statistics & Data Analysis, 2579-2589.

Vrána, J., Remeš, V., Matysioková, B., Tjørve, K., & Tjørve, E. (2019). *Choosing the right sigmoid growth function using the unified-models approach.* Ibis, 13-26.