

## **De ontwikkeling van een nieuw landelijk personenautoparkmodel**

Jordy van Meerkerk - PBL – Jordy.vanmeerkerk@pbl.nl  
Konstanze Winter - RWS – Konstanze.winter@rws.nl  
Marco Kouwenhoven – Significance– Kouwenhoven@significance.nl

### **Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk**

**25 en 26 november 2021, Utrecht**

#### **Samenvatting**

Op verzoek van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat ontwikkelen Rijkswaterstaat (RWS) en het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) een nieuw personenautoparkmodel. Middels een Europees aanbestedingstraject is de opdracht gegund aan een consortium bestaande uit de marktpartijen Significance en Demis. Het doel van het nieuwe prognose-instrument, genaamd Strategisch Personenauto Rekenkader (SPARK), is om op nationaal niveau de omvang en samenstelling van het personenautopark te ramen voor verschillende omgevingsscenario's, om effecten te geven van (fiscale) beleidsmaatregelen en input te leveren voor het Landelijk Model Systeem (LMS) van RWS.

Het kunnen modelleren van de transitie naar emissievrij rijden vormt een belangrijk element in het nieuwe model. Elektrisch rijden wordt steeds populairder en er komen steeds meer elektrische automodellen op de markt. Hoewel het marktaandeel van elektrische auto's hard toeneemt, mede ondersteund door nationaal (fiscaal) beleid en de klimaatdoelen die veel landen hebben gesteld, hebben (voorlopig) de meeste auto's die op de Nederlandse wegen rijden nog een verbrandingsmotor. Om de ingroei van nieuwe aandrijftechnologieën zoals elektrische auto's op een adequate wijze te kunnen ramen wordt in het nieuwe model gewerkt met een methode die diffusiemodellen combineert met discrete keuzemodellen.

Met het model zullen uitspraken gedaan kunnen worden over de verwachte ontwikkeling op zowel de korte als langere termijn. Prognoses in de tijd voor verschijnselen die niet zo snel veranderen, zoals het autopark, worden accurater en stabiel door uit te gaan van de bekende huidige verdeling, en uitsluitend de veranderingen daarop te voorspellen. Daarom wordt binnen SPARK in de basis gebruik gemaakt van dynamische keuzemodellen die jaar-op-jaar worden toegepast. De omvang en samenstelling van het autopark en de kilometers worden voor elk jaar berekend, uitgaande van de situatie in het jaar ervoor. Daartoe bevat het model verschillende submodules, waaronder een dynamische huishoudsimulator, dynamische transactiemodellen voor veranderingen in het autobezit, discrete keuzemodellen om de autokeuze te bepalen en gebruiksmodellen.

Voor de modelschattingen wordt gebruik gemaakt van gegevens uit verschillende persoons-/huishoudensregisters van het CBS en het motorrijtuigenregister van de RDW. Daarnaast zijn twee aanvullende enquêtes uitgevoerd. Zo is aan de hand van een retrospectieve enquête beter inzicht verkregen in de "autobezit-biografie" van een huishouden en is aanvullend en gericht stated preference (SP) onderzoek uitgevoerd om het autokeuzegedrag op de particuliere markt beter te kunnen schatten en rekening te kunnen houden met attitudes van consumenten, met name voor wat betreft elektrische auto's.

## **1. Introductie**

Ramingen van de toekomstige omvang en samenstelling van het personenautopark en het autogebruik spelen een belangrijke rol in beleidsontwikkeling en -evaluatie. Dit geldt vooral voor de sector verkeer en vervoer en ook op het raakvlak van verkeer en milieu. De modelramingen maken inzichtelijk hoe autobezit en -gebruik zich ontwikkelen onder invloed van sociaaleconomische en demografische ontwikkelingen en wat het effect is van uiteenlopende beleidsmaatregelen evenals innovaties van personenvervoersmiddelen en mobiliteitsconcepten.

Nederland heeft een sterke geschiedenis van modellering van autobezit en op dit moment zijn er verschillende modellen bij PBL en RWS in gebruik voor de korte, middellange en lange termijn: DYNAMO, KOTERPA, en Carbontax. DYNAMO (van RWS en PBL) modelleert de omvang en samenstelling van het personenautopark in Nederland gebruik makend van sociaaleconomische en demografische ontwikkelingen op de langere termijn (Muconsult, 2020). KOTERPA (van PBL) is een kortetermijnramingsmodel dat op een meer fijnmazig niveau de samenstelling van het autoverkeer raamt aan de hand van een trendextrapolatie van gedetailleerde CBS statistieken over het bezit en gebruik van personenauto's naar brandstofsoort en leeftijd (Traa en Geilenkirchen, 2017). Voor analyses rond de instroom van elektrische auto's wordt de laatste jaren een beroep gedaan op het Carbontax model (Revnext, 2019). In dat model wordt de omvang en samenstelling van het personenautopark geraamd voor de middellange termijn, waarbij de overstap naar elektrische auto's gemodelleerd wordt aan de hand van een Total Cost of Ownership (TCO) aanpak.

Op verzoek van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat ontwikkelen RWS en het PBL samen als gelijkwaardige partners een nieuw personenautoparkmodel. Middels een Europees aanbestedingstraject is de opdracht gegund aan een consortium bestaande uit de marktpartijen Significance en Demis. Het nieuwe model dient de functionaliteiten van de bestaande modellen van PBL en RWS te combineren, terwijl het de acceptatie van elektrische voertuigen en de ontwikkelingen op het gebied van private lease, moet integreren. Het doel van het model is om prognoses op nationaal niveau te verstrekken voor verschillende scenario's, zowel voor een paar jaar vooruit als voor de lange termijn (tot 2060), om effecten te geven van (fiscale) beleidsmaatregelen en input te leveren voor het Landelijk Modelsysteem voor verkeer en vervoer (LMS) van RWS.

Deze paper beschrijft de aanleiding voor de ontwikkeling van dit nieuwe model, dat de naam Strategisch Personenauto RekenKader (SPARK) heeft gekregen, het ontwikkeltraject, en geeft op hoofdlijnen de aanpak en de functionaliteiten weer. Eind 2021 bevindt het project zich in de test- en validatiefase en zijn de schattingen van de verschillende modules afgerond.

## **2. Aanleiding voor ontwikkeling van een nieuw landelijk autobezitsmodel**

De afgelopen 15 tot 20 jaar zijn voor/door PBL en RWS (WVL) verschillende versies van het vigerende personenautoparkmodel Dynamo ontwikkeld, zie bijvoorbeeld Muconsult (2020), waarmee uitspraken gedaan kunnen worden over de verwachte ontwikkeling in

de omvang en samenstelling van het Nederlands personenautopark en de samenstelling van de autokilometers. De autotypen, waar in het model mee gerekend wordt, worden onder andere gedefinieerd op basis van de conventionele brandstofsoorten (benzine, diesel en LPG). Nieuwe aandrijftechnologieën zoals elektrische auto's vormen geen integraal onderdeel van het rekenhart, maar worden op een meer exogene wijze in de modelramingen meegenomen.

Door de verdergaande ingroei van nieuwe aandrijftechnologieën en de ingroei van private lease is dit model niet goed toegespitst op de actuele informatiebehoefte. In combinatie met de toenemende import en export wordt het model daarom de laatste jaren veelal in combinatie gebruikt met KOTERPA (PBL) en Carbontax (Revnex). In tegenstelling tot Dynamo en KOTERPA is Carbontax niet in eigendom van de Rijksoverheid en kan het niet door PBL en/of RWS zelf gedraaid worden. In het voorjaar van 2019 ontstond er naar aanleiding van de analyses voor het ontwerp klimaatakkoord (OKA) vanuit de politiek kritiek op het gebruik van dit model wat resulteerde in diverse sets Kamervragen en een hoorzitting van de Tweede Kamercommissie van Financiën<sup>1</sup>. Men was kritisch over de mate van transparantie en betrouwbaarheid. In de afgelopen periode zijn daarom diverse stappen ondernomen om de transparantie rondom en het vertrouwen in het Carbontax-model te vergroten en parallel op verzoek van IenW te werken aan een nieuw personenautoparkmodel, dat de functionaliteiten van de bestaande modellen combineert, waar nodig uitbreidt en volledig openbaar is.

Het nieuwe model SPARK wordt (wederom) gezamenlijk eigendom van RWS en PBL en dient weer jaar-op-jaar inzichten te geven over de gevolgen van autonome ontwikkelingen als inkomensgroei en demografische veranderingen op de omvang en samenstelling van het personenautopark op nationaal niveau, waarbij het mogelijk is meerdere lange termijn 'omgevingsscenario's' door te rekenen tot 2060. Daarnaast dient het model geschikt te zijn voor het doorrekenen van individuele beleidsmaatregelen of pakketten (maatregel-effect analyses), waarbij ook verdelingseffecten van beleidsmaatregelen (uitgesplitst naar groepen gebaseerd op gezinssamenstelling en inkomen) zichtbaar gemaakt kunnen worden. Tot slot is het de bedoeling om de koppeling tussen het autobezitsmodel en het Landelijk Modelstelsel verkeer en vervoer (LMS) en de daaruit afgeleide regionale modellen (NRM) te verbeteren.

### **3. Aanbestedings- en ontwikkeltraject**

Om aan het gewenste product te komen heeft er voorjaar 2020 een openbare Europese aanbesteding plaatsgevonden. Hiervoor is eerst door PBL een voorstudie uitgevoerd waarin de voor- en nadelen van het huidige modelinstrumentarium zijn beschreven, een literatuurverkenning is gedaan en waarin de wensen/behoefte uit diverse gesprekken met betrokkenen (IenW en MinFin) zijn uitgewerkt. Aan de hand hiervan zijn een aantal experts uit de academische wereld geconsulteerd en zijn hun adviezen in een workshop besproken. De voorstudie en de adviezen vormden input voor de aanbestedingsdocumenten. In de vraagspecificatie is de nadruk gelegd op de toekomstbestendigheid van het model, die van het model een modulaire opbouw en een

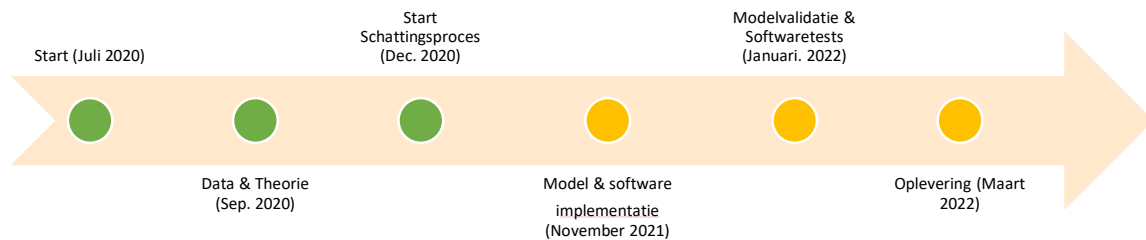
---

<sup>1</sup> Rondetafelgesprek "Elektrisch rijden en het CARbonTAX-model" (2019):

[https://www.tweedekamer.nl/debat\\_en\\_vergadering/commissievergaderingen/details?id=2019A01520](https://www.tweedekamer.nl/debat_en_vergadering/commissievergaderingen/details?id=2019A01520)

professionele software-vertaling vergt. Verder is gevraagd het model uitgebreid te toetsen, te kalibreren en te valideren. Alle aanbestedingsdocumenten zijn openbaar gepubliceerd<sup>2</sup>.

De opdracht is gegund aan een consortium bestaande uit de marktpartijen Significance en Demis, waarna het project in de zomer van 2020 feitelijk van start is gegaan (figuur



*Figuur 1 – Planning ontwikkeling SPARK (groene bollen zijn reeds afgeronde fases, gele zijn nog lopende fases)*

In de eerste fase (juli 2020-oktober 2020) is het modelconcept verder uitgewerkt en de nodige data verzameld. Verder zijn in deze fase ook belangrijke stakeholders zoals ANWB, RAI, BOVAG, Revnext, RVO, VNA, VZR en TNO, geconsulteerd over de beschikbare databronnen, en geïnformeerd over het modelconcept. In de tweede fase (oktober 2020- januari 2021) is gestart met de omzetting van het modelconcept naar een concreet model. Hiervoor zijn data en omrekenmethodes verzameld bij het CBS, RDW, TNO en uit andere bronnen en is een eerste test schatting gemaakt voor autobezit en autotypekeuze. Deze schatting is in een eerste prototype verwerkt (in Excel). Gaandeweg is dit uitgebreid met de definitieve schattingen en aanvullende modules.

#### **4. Kwaliteitsborging en draagvlak**

De volgende randvoorwaarden zijn voor het nieuwe personenautoparkmodel door de opdrachtgevers geëist:

- Draagvlak bij de stakeholders
- Eigendom van de staat
- Gevalideerd
- Gedocumenteerd en transparant
- Goed beheer- en overdraagbaar.

De kwaliteitsborging wordt gedurende het project in de gaten gehouden met behulp van een toetsingskader, dubbele controle op de schattingspecificatie, toetsing van de

<sup>2</sup> TenderNed (2020): 31157615 “Ontwikkeling van een landelijk personenautoparkmodel”. Bron: <https://www.tenderned.nl/tenderned-tap/aankondigingen/191374>.

werking in een prototype model, het werken met een strak werkproces en testprotocollen bij de software-implementatie en een uitgebreide functionele testfase om de plausibele werking van het model te toetsen. Naast kennisinstellingen (KiM en TNO) zijn twee gerenommeerde academici betrokken bij het ontwikkeltraject om zo optimaal gebruik te maken van de bestaande kennis en inzichten en de kwaliteitsborging verder te versterken. Zij worden geconsulteerd bij het door de opdrachtnemers voorgestelde plan van aanpak/conceptueel model, over de uitvoering van de modelschattingen en de modelvalidatie.

Daarnaast zijn enkele topexperts, met specifieke kennis op het terrein van diffusiemodellering, beleidskennis over het autopark en gedragsmodellering, toegevoegd als interne sparringpartners aan het projectteam van Significance en Demis.

De werking van een autoparkmodel heeft potentieel een grote invloed op beleidsopgaven en projectevaluaties op het terrein van verkeer en vervoer, milieu en overheidsfinanciën en deze zijn daarmee bijzonder beleidsgevoelig. Gedurende het project wordt daarom draagvlak gecreëerd door regelmatig met betrokken (vooral de ministeries IenW en Fin, en het KiM) de modelopzet, de voortgang en de tussenresultaten te bespreken. Ook wordt bij de validatiefase expliciet gekeken naar de plausibiliteit van de resultaten voor een aantal prioritaire beleidsdossiers. Deze acties leiden ertoe dat de kans op verrassingen in de acceptatiefase geminimaliseerd wordt en er bij betrokkenen beter inzicht is over de gemaakte keuzen en de gevolgen.

## **5. Modelinput en output**

### *5.1 Modelinput*

Het autoparkmodel wordt gevoed door een veelheid van databronnen en invoerbestanden. Hier moet onderscheid gemaakt worden tussen databronnen die gebruikt worden voor de schatting (paragraaf 7) en databronnen die gebruikt worden om de exogene modelinvoer te omschrijven. De laatste worden regelmatig geüpdatet en omschrijven de exogene kenmerken, waarop de geschatte gedragsfuncties worden toegepast. Dit biedt de mogelijkheid om scenario's en beleidsalternatieven door te rekenen. Figuur 2 geeft een overzicht van de verschillende beleids- en scenario-indicatoren, die de exogene invoer van het model zullen zijn.

Sociaaleconomisch en demografisch scenario	Beleidsscenario	Auto aanbod scenario	Overige scenario factoren
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sociaal demografische ontwikkeling</li> <li>• Economische ontwikkeling</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EU bronbeleid</li> <li>• Bpm, mrb, bijtelling</li> <li>• Aanschafsubsidies en toeslagen</li> <li>• Accijnzen en energiebelasting</li> <li>• Laadsubsidie</li> <li>• Kilometerheffing</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strategie van autofabrikanten</li> <li>• Praktijkverbruik en praktijkuitstoot</li> <li>• Testuitstoot (voor bpm)</li> <li>• Rijbereik</li> <li>• Batterijprijzen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brandstofprijzen</li> <li>• Laadinfrastructuur</li> <li>• Mobiliteitsbeleid van werkgevers (autoregeling)</li> <li>• Normering (milieuzones en zero-emissiezones)</li> <li>• Intrinsicke voorkeuren (perceptie), bijv. voor elektrische voertuigen</li> </ul>

*Figuur 2: Modelinput*

## 5.2 Modeloutput

In het nieuwe model staat het ramen van de omvang en samenstelling van het Nederlandse personenautopark, in combinatie met de samenstelling van de autokilometers, centraal. Bij de raming van het personenautopark wordt het park beschouwd als een 'voorraad', waarvan de veranderingen in de omvang en samenstelling afhankelijk zijn van de instroom (nieuwverkoop en import) en de uitstroom (sloop en export). Met het model kunnen zowel voor korte als langere termijn specifiek uitspraken gedaan worden over:

- Omvang en samenstelling van de nieuwverkoop en het totale park
- Budgettaire effecten (bpm, mrb, bijtelling, accijns, energiebelasting):
- Effecten op de CO<sub>2</sub>-uitstoot en emissies van luchtverontreinigende stoffen

Het autobezit en -gebruik kan hierbij nader worden uitgesplitst op basis van (een combinatie van) de volgende kenmerken:

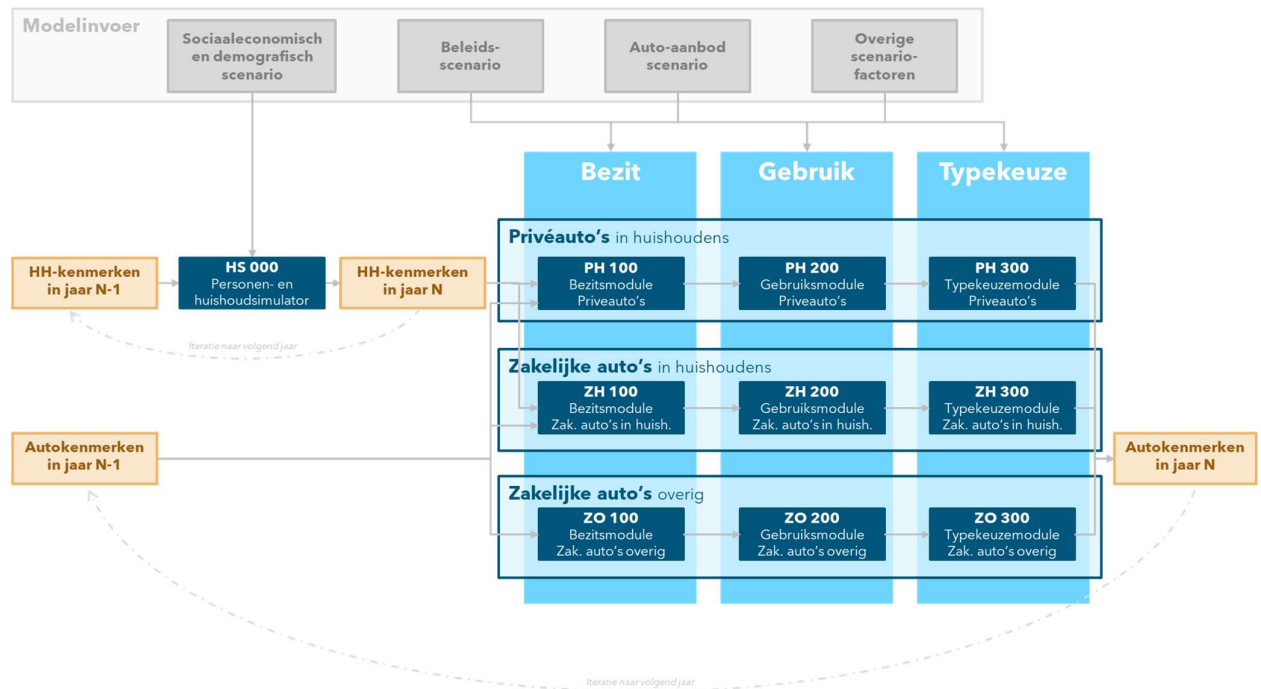
- Deelmarkt: particuliere markt (met onderscheid naar auto's in privébezit en private lease), zakelijke markt (met onderscheid naar zakelijke auto's die ook door voor privéritten in huishoudens worden gebruikt en overige zakelijke auto's)
- Energiebron: benzine, diesel, LPG, PHEV-benzine, PHEV-diesel, BEV en FCEV (voor toekomstscenario's).
- Autosegmenten (A-, B-, C-, D- en E/F-klasse)
- Bouwjaren

Om ook verdelingseffecten te kunnen analyseren zal het autobezit en het autogebruik naar nog nader te bepalen bevolkingssegmenten (of huishoudsegmenten) uitgesplitst worden.

## 6. Modelstructuur

Het nieuwe prognose-instrument SPARK is een dynamisch jaar-op-jaarmodel. Dat betekent dat de omvang en samenstelling van het autopark en het gereden aantal kilometers voor elk jaar worden berekend, uitgaande van de situatie in het jaar ervoor.

SPARK bestaat uit een groot aantal modules, die elk één of meerdere modellen bevatten. Op hoofdlijnen ziet de structuur er uit als in Figuur 3.



Figuur 3: structuur SPARK op hoofdlijnen

SPARK is een micro-simulatiemodel. Dat wil zeggen dat autobezit en -gebruik voor een groot aantal (bijv. 100.000) individuele huishoudens worden doorgerekend. Daarvoor moeten eerst voor alle jaren deze huishoudens en hun kenmerken (aantal personen, aantal werkzame personen, gemiddelde leeftijd hoofdpersonen, huishoudinkomen etc.) bekend zijn. Dit wordt bepaald door een huishoudsimulator (module HS000) die, uitgaande van de situatie op het startpunt van de simulatie (i.e. 1-1-2019) voor elk toekomstjaar een prognose geeft van het aantal huishoudens en de bijbehorende kenmerken, waarbij rekening gehouden wordt met het socio-economische en demografische scenario dat de gebruiker kan specificeren.

Huishoudens kunnen twee soorten auto's tot hun beschikking hebben: privéauto's (hetzij in privébezit of in private lease) of zakelijke auto's (dit zullen vaak zakelijke leaseauto's zijn). Het bezit en gebruik hiervan worden in een aparte serie modules doorgerekend (de PH-modules en de ZH-modules respectievelijk). Daarnaast is er ook nog een aantal zakelijke auto's waarmee alleen zakelijk gereden wordt. Dit kunnen zakelijke leaseauto's

zijn waarmee geen (of zeer beperkt) privékilometers mee worden gereden, auto's van een bedrijf die alleen tijdens werktijd en steeds door wisselende bestuurders worden gebruikt, leenauto's, huurauto's etc. Dit noemen we de categorie "zakelijke auto's overig" en het bezit en gebruik hiervan worden in de ZO-modules doorgerekend. Huishoudkenmerken spelen hierbij geen rol.

Elk van deze series (PH, ZH, ZO) bestaat uit drie modules: bezit, gebruik en typekeuze.

- In de bezitsmodule wordt per huishouden bepaald hoeveel auto's er ter beschikking van het huishouden staan<sup>3</sup>, en voor "zakelijke auto's overig" wordt het totaal aantal auto's in dit segment bepaald;
- In de gebruiksmodule wordt per auto het jaarkilometrage bepaald;
- In de typekeuzemodule wordt bepaald welk type auto wordt aangeschaft<sup>4</sup>, wanneer er een extra auto in het huishouden bij komt, of wanneer er een bestaande auto in het huishouden vervangen wordt.

Er is bewust voor gekozen om voor auto's die aan een huishouden worden toegevoegd eerst een prognose van het jaarkilometrage te bepalen en daarna pas het typekeuzemodel te draaien. Op deze manier kan worden meegenomen dat huishoudens die jaarlijks veel kilometers rijden een voorkeur voor bijvoorbeeld een dieselauto hebben. Of dat huishoudens die weinig kilometers rijden vooralsnog een grotere voorkeur hebben voor een volledig elektrische auto (in vergelijking met huishoudens die veel kilometers rijden), maar dit verschil in voorkeur kan in de toekomst kleiner worden (of zelfs omslaan) als de actieradius van elektrische auto's toeneemt.

Verder wordt voor elk huishouden eerst de zakelijke auto-bezitsmodule gedraaid voorafgaand aan de privéauto-bezitsmodule. Hierdoor kan de verandering van het aantal privéauto's afhangen van (de verandering van) het aantal zakelijke auto's. Huishoudens die een zakelijke auto tot hun beschikking hebben, zullen daardoor minder vaak een privéauto hebben. Zodra de zakelijke auto verdwijnt, is er een grotere kans dat er een privéauto bijkomt.

De serie modules voor "zakelijke auto overig" staat los van de overige modules, behalve bij de typekeuze omdat bij het aantal autotransacties in een jaar rekening wordt gehouden met de beschikbaarheid. Zo is er geen oneindige voorraad nieuwe auto's van een bepaald type: in sommige gevallen is daar een beperking op zodat in de drie segmenten tezamen (zakelijke auto's overig, zakelijke auto's in huishoudens en privéauto's) nooit meer auto's van dat type het autopark in kunnen stromen.

De drie type modules worden hieronder in meer detail beschreven.

---

<sup>3</sup> Ondanks de naam "bezitsmodule" gaat het hier ook om auto's die zakelijke of via private lease ter beschikking van het huishouden staan.

<sup>4</sup> Of geleased in voorkomende gevallen



## 6.1 Bezitsmodule

Het autobezit per huishouden wordt in SPARK gemodelleerd met een dynamisch keuzemodel. Dat wil zeggen dat het niet zozeer een prognose van het aantal auto's wordt gemaakt, maar een prognose van wat de verandering van het aantal auto's in het huishouden is. Typisch zijn er voor een huishouden vier mogelijkheden: een auto erbij, een auto eraf, een auto vervangen (gelijkblijvend aantal), en geen verandering. Dit zijn zogenaamde transactiemodellen. De kansen op deze vier alternatieven worden met een discreet keuzemodel (multinomiale logit) gemodelleerd.

Deze modellen worden ook wel 'Markov-modellen' genoemd, omdat ze de overgangskansen in autobezit tussen twee jaren modelleren. Voorbeelden van deze aanpak zijn Mohammadian en Miller (2003) en van de Kamp (2020). Deze aanpak wordt ook in het nationale prognosemodel voor het autopark in Duitsland gebruikt.

Aan het begin van de ontwikkeling van SPARK is overwogen om voor de langetermijnprognoses gebruik te maken van statische keuzemodellen. Dit zijn modellen die een prognose geven van het aantal auto's dat een huishouden op een gegeven moment bezit, bijvoorbeeld 0, 1, 2 of meer dan 2 auto's. Dit zijn de pure "bezitsmodellen". Voor de lange termijn, en zeker voor 40 jaar vooruit, zijn dynamische modellen in theorie minder geschikt, omdat dynamische modellen starten met de huidige situatie, en die is op lange termijn veel minder bepalend. Veel huishoudens zullen dan ook zelf nieuw zijn. Statische modellen zijn juist daarentegen voor de korte termijn minder geschikt. Deze modellen, die ieder jaar weer 'from scratch' beginnen, leveren vaak onrealistisch grote veranderingen in de tijd en daardoor minder goed geschikt voor het doorrekenen van de kortetermijneffecten van beleidsmaatregelen. Dit betreft bijvoorbeeld het effect van veranderingen in vaste en variabele autokosten op de autobezitsduur en specifiek hierop gerichte instrumenten zoals subsidies op vervroegde sloop van auto's. Aangezien SPARK prognoses voor zowel de korte- als de langetermijn moet geven en het heel lastig is om beide aanpakken in één modelsysteem te combineren, is gekozen voor de dynamische aanpak.

De module voor privéauto's kent meerdere transactiemodellen:

- Een model voor huishoudens die het jaar zijn begonnen zonder privéauto, waarin wordt een prognose gegeven of ze in de loop van het jaar een eigen auto hebben gekocht ("één erbij") of niet ("geen verandering");
- Een model voor huishoudens die zijn begonnen met één privéauto, waarin wordt afgebeeld of ze een eigen auto hebben toegevoegd, vervangen of weggedaan, of niets hebben gedaan;
- Een model voor huishoudens die aanvankelijk twee of meer privéauto hadden, waarin wordt afgebeeld of ze een privéauto hebben toegevoegd, vervangen of weggedaan of niets hebben gedaan.

Als een auto wordt weggedaan of wordt vervangen, dan bepaalt een apart model de kans dat deze auto wordt gesloopt. Zo niet, dan wordt deze aangeboden op de tweedehands markt.

In elk model worden onder meer de volgende verklarende variabelen meegenomen:

#### Huishoudkenmerken:

- Het aantal personen in het huishouden en de verandering hierin (zo kan gezinsuitbreiding leiden tot een extra auto; of kan het uit huis gaan wonen van kinderen ervoor zorgen dat een auto wordt weggedaan);
- Het aantal werkzame personen in het huishouden en de verandering hierin (zo kan het krijgen van een baan leiden tot een extra auto en andersom. Maar omdat er aparte modellen zijn, hoeft dit effect niet per se symmetrisch te zijn: de drempel om een auto weg te doen kan veel hoger zijn dan om een auto aan te schaffen);
- De gemiddelde leeftijd van de hoofdpersonen in het huishouden (een 25-jarige heeft een grotere kans op het krijgen van een (eerste) privéauto dan een 20-jarige, voor hogere leeftijden neemt die kans weer iets af; vanaf 75 jaar neemt de kans om een aanwezige auto te verkopen sterk toe);
- Het besteedbaar huishoudinkomen;
- Stedelijkheidsgraad en regio.

#### Autokenmerken:

- Het aantal zakelijke auto's in het huishouden en de verandering hierin;
- Het bouwjaar van de privéauto (als die al aanwezig is): zo kan worden meegenomen dat hoe ouder de auto is, hoe groter de kans op vervanging, maar voorbij een bepaalde leeftijd kan deze kans op vervanging weer kleiner worden omdat een huishouden aan de auto gehecht is;
- Het aantal jaren dat de privéauto in het huishouden aanwezig is: zo kan worden meegenomen dat ook een tweedehands auto niet direct in het jaar nadat hij in het huishouden is gekomen, weer wordt weggedaan;

Alleen in het eerste jaar dat een huishouden bestaat (bijv. als er een nieuw huishouden ontstaat doordat er een kind zelfstandig gaat wonen, of na een scheiding) wordt het aantal auto's gemodelleerd en niet de verandering hierin. Dan gaat het dus over een echt bezitsmodel en niet over een transactiemodel. Ook voor dit model worden dezelfde verklarende variabelen gebruikt.

De module voor "zakelijke auto's in huishoudens" kent een soortgelijke structuur, waarbij ook het aantal werkenden per sector (o.b.v. de SBI-2008 indeling) een belangrijke verklarende variabele is. Door databeperkingen is het alleen niet mogelijk om te bepalen of een zakelijke auto in een huishouden vervangen wordt. Daarom bepaalt een apart model de kans dat een zakelijke auto in het huishouden wordt vervangen. Dit model bepaalt ook of een zakelijke auto die vervangen wordt (of een zakelijke auto die weggedaan wordt), aangeboden wordt op de tweedehands markt of gesloopt wordt. Dit hangt onder meer van de leeftijd en de energiebron van de auto af.

De module voor "zakelijke auto's overig" werkt anders omdat hier geen huishoudkenmerken aan gekoppeld zijn. Voor elke auto wordt een kans op verkoop, sloop en geen-verandering gemodelleerd met een discreet keuzemodel waarbij alleen de autokenmerken als verklarende variabelen worden gebruikt. Het totaal aantal "zakelijke auto's overig" is lineair afhankelijk van het aantal werkzame personen in Nederland, waarbij de coëfficiënten bepaald zijn met een regressie op tijdreeksdata.

## 6.2 Gebruiksmodule

Voor elke auto wordt het aantal gereden kilometers in een jaar bepaald door een random trekking uit een verdeling. Uit onderzoek is gebleken dat een negatief-binomiale verdeling een goede beschrijving geeft van de waargenomen verdeling.

Er is gekozen om een verdeling te gebruiken en niet om alle auto's een deterministisch aantal kilometers toe te wijzen om zo beter de variatie in het gebruik te kunnen modelleren, er rekening mee te houden dat niet iedereen onder dezelfde omstandigheden dezelfde keuze maakt en mee te nemen dat de verdeling van de kilometrages asymmetrisch is met een lange staart naar hogere jaarkilometrages.

Voor auto's die in een bepaald jaar aan een huishouden worden toegevoegd (zakelijk of privé) worden de parameters van de verdeling verklaard uit de huishoudkenmerken: zo leidt een groter aantal werkzame personen in een huishouden tot een hogere kans op veel gereden kilometers. Ook de ontwikkeling van algemene prijskenmerken (bijv. de gemiddelde brandstof-/energieprijs) is van invloed, waarbij de prijsgevoeligheid van het jaarkilometrage is afgestemd met het LMS. Autokenmerken spelen hierbij geen rol, immers de typekeuze wordt pas in de volgende module bepaald.

Dit is anders voor auto's die al in een huishouden aanwezig zijn. Voor die auto's kunnen zowel huishoudkenmerken als de autokenmerken gebruikt worden als verklarende variabelen. Maar de belangrijkste variabele is het aantal kilometers dat een auto in het voorafgaande jaar heeft afgelegd. Als een huishouden een auto in een bepaald jaar intensief gebruikt, dan is er een grote kans dat deze in het jaar erop weer intensief gebruikt wordt. Maar ook veranderingen in de huishoudkenmerken worden als verklarende variabele gebruikt. Als bijv. het aantal werkende mensen afneemt, een kind het ouderlijk huis verlaat, de partners in het huishouden gaan scheiden, dan leidt dat weer tot een grotere kans op een lager jaarkilometrage.

## 6.3 Typekeuzemodule

Binnen SPARK wordt het type van een auto bepaald in vijf dimensies:

- De groep waartoe het merk van de auto behoort (vijf categorieën: Duitse merken, Franse merken, Japans/Zuid-Koreaanse merken, topmerken, overig);
- Het marktsegment waarin de auto valt, hetgeen een maat is voor de grootte van de auto (vijf categorieën: A-segment, B-segment, C-segment, D-segment, E/F-segment);
- De leeftijd van de auto (in de simulatie is altijd de precieze leeftijd van een auto bekend op basis van het bouwjaar, maar in de keuzemodellen wordt een onderscheid gemaakt naar zes leeftijdsklassen: nieuw, 1-2 jaar oud, 3-5 jaar oud, 6-10 jaar oud, 11-15 jaar oud, 16 jaar en ouder);
- De energiebron van de auto met zes categorieën (benzine, diesel, LPG, PHEV-benzine, PHEV-diesel, BEV. Voor scenario's is FCEV als een zevende categorie beschikbaar (i.e. Fuel Cell Electric Vehicle, zoals bijvoorbeeld een waterstofauto);
- De importstatus van een auto met twee categorieën (wel/geen importauto).

Dat betekent dus dat er 1800 autotypes onderscheiden kunnen worden binnen SPARK, hoewel deze niet altijd beschikbaar hoeven te zijn.

De typekeuzemodule voor privéauto's bestaat uit vier discrete keuzemodellen voor de typekeuze.

- Een typekeuzemodel voor nieuwe huishoudens;
- Een typekeuzemodel voor huishoudens die hun eerste auto ter beschikking krijgen;
- Een typekeuzemodel voor huishoudens die een extra auto ter beschikking krijgen (die dus bijvoorbeeld 1 naar 2 auto's gaan, of van 2 naar 3 auto's);
- Een typekeuzemodel voor huishoudens die een bestaande auto vervangen.

Door aparte modellen te schatten houdt SPARK er rekening mee dat bij elke situatie andere overwegingen een rol kunnen spelen. Aanschafprijs en gebruikskosten worden gebruikt als verklarende variabelen. En wederom worden de huishoudenkenmerken gebruikt als verklarende variabelen (bijv. grotere huishoudens hebben een voorkeur voor grotere auto's, huishoudens met hogere inkomens hebben een voorkeur voor grotere auto's, voor duurder auto's, voor auto's van topmerken), maar ook de uitkomst van de gebruiksmodule speelt een rol (auto's waar veel kilometers mee gereden worden, zijn vaker een dieselauto).

Het typekeuzemodel voor vervanging gebruikt de kenmerken van de auto die vervangen wordt als verklarende variabelen. Door met deze factoren rekening te houden, simuleert SPARK een bestaande drempel tegen veranderingen in de samenstelling van het autopark: huishoudens stappen niet makkelijk over naar een ander type auto. Het blijkt namelijk dat er een sterke afhankelijkheid is: huishoudens zijn erg merk-trouw (de kans is groot dat de nieuwe auto van dezelfde merkgroep is als de oude auto) en veranderen niet snel van energiebron. Hoewel, als de huidige auto op diesel of LPG rijdt, dan is er een redelijk kans op verandering. Huishoudens stappen wel iets makkelijker over op een ander marktsegment, maar dan vaak niet meer dan één categorie groter/kleiner.

De typekeuzemodule voor zakelijke auto's in huishoudens bestaat uit twee discrete keuzemodellen voor de typekeuze, waarbij de eerste drie typekeuzemodellen uit bovenstaande lijst zijn gecombineerd tot één model. De typekeuzemodule voor "zakelijke auto's overig" bestaat uit één typekeuzemodel.

De voorkeuren voor de merkgroepen, marktsegmenten, energiebronnen worden bepaald op basis van de huidige waargenomen voorkeuren. Echter, het is goed denkbaar dat deze voorkeuren op termijn gaan verschuiven. Dat speelt vooral een rol bij de ingroei van nieuwe technologieën zoals elektrische auto's. De marktontwikkelingen daarvan (vraag/aanbod/kosten) zijn grillig en daarmee moeilijk voorspelbaar, mede door het ontbreken van voldoende empirische data. Hoewel elektrische auto's in de zakelijke markt de laatste jaren snel in marktaandeel winnen, is het marktaandeel op de particuliere markt nog altijd zeer gering. De huidige situatie is daarom geen goede afspiegeling van de situatie over een aantal jaar, los van het feit dat er nog maar weinig waarnemingen zijn om op te schatten. De huidige particuliere koper van een elektrische auto verschilt van de doorsnee autokoper. Het zijn momenteel nog de early adopters, die anders reageren op prijsprikkels dan de gemiddelde consument. Het aanbod en de keuzemogelijkheden van elektrische auto's zijn nog relatief beperkt en worden de

komende jaren groter. Er komen naar verwachting steeds meer, kwalitatief betere en ook meer betaalbare elektrische auto's op de markt, onder andere in de segmenten die meer aansluiten op de vraag binnen de particuliere markt.

Diffusiemodellen zijn een gebruikelijke manier om de adoptie van nieuwe technologische ontwikkelingen te voorspellen. Deze modellen proberen het toekomstige aandeel "eerste-keer-kopers" met een S-vormige functie te schatten. Het voordeel van deze modellen is dat bij een geringe kennis en beschikbare data al een functie is te schatten (Al-Alawi & Bradley, 2013). De nadelen zijn dat deze modellen de aanname hebben dat er geen concurrentie is, er een groei in de ontwikkeling zit en er geen eenduidige aanpak mogelijk is om de parameters van de functie te schatten (Al-Alawi & Bradley, 2013; Massiani & Gohs, 2015). Jensen et al. (2016) combineert de keuzemodellen en de diffusiemodellen in één model om rekening te houden met de voorkeuren, concurrentie en de ontwikkeling van de groei van het product over tijd. Waarbij naast de product-specifieke kenmerken en de voorkeuren, ook rekening wordt gehouden met het aandeel "early adopters" en het aandeel "imitators" (zoals in het Bass diffusiemodel). Dit is gedaan door parameters in de keuzemodellen te kalibreren met de parameters van de diffusiemodellen: in iedere tijdstap worden de parameters van het keuzemodel gecorrigeerd voor de verwachte verandering. Het volgt dat deze benadering een rijkere methode is om het toekomstige marktaandeel van de elektrische auto te schatten.

Voor de ingroei van alternatieve aandrijftechnologieën zoals elektrische auto's wordt in het nieuwe personenautoparkmodel gewerkt met een methode die diffusiemodellen combineert met discrete keuzemodellen. Concreet wordt binnen het autotypekeuzemodel, dat gebaseerd is op nutsfuncties per autotype, één factor in de tijd aangepast die de algemene (intrinsieke) voorkeur voor elektrische auto's weergeeft. Deze factor binnen een nutsfunctie wordt de "Alternative Specific Constant" (ASC) genoemd, en geeft alle niet-geobserveerde onderdelen weer, die het "nut" van een keuzeoptie beïnvloeden. Door het diffusiemodel toe te passen op de ASC in de functie voor elektrische auto's wordt dus de verandering van de voorkeur voor elektrische voertuigen in de loop van de tijd omschreven.

## **7. Schattingsdata**

Voor de modelschattingen (Kouwenhoven et al., 2021) wordt gebruik gemaakt van gegevens uit een groot aantal bronnen. Het overzicht in Figuur 4 geeft per modelonderdeel, welke datasets gebruikt zijn voor de schattingen.

De (transactie- en bezits-) modellen in de bezitsmodule voor privéauto's worden geschat op een koppeling van persoons-/huishoudensregisters van het CBS en het motorrijtuigenregister van de Rijksdienst voor het Wegverkeer (RDW). Dat betekent dat informatie gebruikt wordt van (vrijwel) alle 17 mln personen, 8 mln huishoudens en 8,5 mln personenauto's in Nederland.

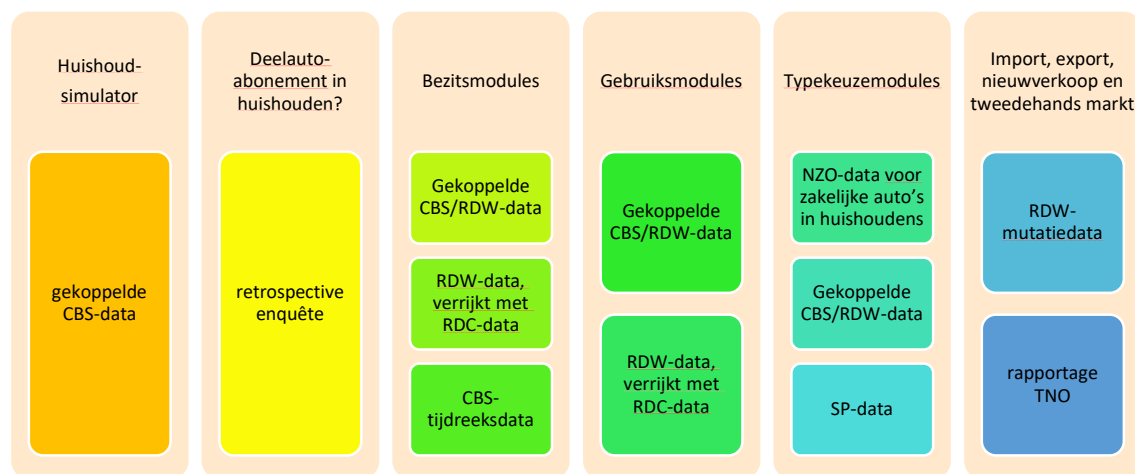
Ook de modellen in de bezitsmodule voor zakelijke auto's in huishoudens worden geschat op de microdata van het CBS. Echter, er is in deze data alleen bekend of een huishouden een zakelijke auto heeft (preciezer gezegd: bijtelling heeft door een zakelijke auto waarmee meer dan 500 kilometer privé mee wordt gereden), maar er is niet

bekend welke auto. Vandaar dat deze transactiemodellen wel beschrijven of het aantal zakelijke auto's in het huishouden verandert, maar niet kan beschrijven of een bestaande zakelijke auto vervangen wordt door een andere zakelijke auto.

De modellen in de bezitsmodule voor zakelijke auto's overig kunnen alleen geschat worden op RDW-data aangezien deze auto's niet gekoppeld zijn aan huishoudens. Echter, in de RDW-data kan geen onderscheid gemaakt worden tussen zakelijke auto's in huishoudens en overige zakelijke auto's. Om dit alsnog te splitsen wordt gebruik gemaakt van data van RDC. Het totaal aantal "zakelijke auto's overig" is geschat door middel van een regressie op CBS-tijdsreeksdata.

De modellen in de gebruiksmodule worden op dezelfde gekoppelde data geschat als de modellen in de bezitsmodule. Ook de modellen in de typekeuzemodule voor privéauto's worden op deze gekoppelde CBS/RDW-data geschat. Dit is alleen niet mogelijk voor de typekeuze voor zakelijke auto's in huishoudens. Daarom gebruiken we voor dit deel van de markt (ruim een miljoen auto's) ook gegevens van een steekproef van gebruikers van leaseauto's die verkregen zijn via de Vereniging van Nederlandse Autoleasemaatschappijen (VNA). De typekeuzemodellen voor "zakelijke auto's overig" zijn geschat op alleen RDW-data.

Zoveel mogelijk is data voor het jaar 2018 gebruikt voor de schattingen (of het overgang tussen 1 januari 2018 en 1 januari 2019), zodat het jaar 2019 gebruikt kan worden voor verificatie (het jaar 2020 is door de coronacrisis minder goed bruikbaar). Alleen de typekeuze voor zakelijke auto's in huishoudens is geschat op een gestapelde dataset van steekproeven van meerdere jaren.



*Figuur 4: Datasets die gebruikt zijn voor de verschillende modelonderdelen*

Naast de huidige administratieve data zijn twee aanvullende enquêtes uitgevoerd. De eerste is een retrospectieve enquête, waarmee beter inzicht is verkregen in de "autobezit-biografie" van een huishouden, inclusief deelautogebruik. Daarnaast is voor het schatten van modellen voor de typekeuze op de markt voor auto's in privébezit aanvullend en gericht stated preference (SP) onderzoek uitgevoerd. De SP-data is

noodzakelijk voor het betrouwbaar kunnen schatten van coëfficiënten voor de verschillende kostencomponenten in het autokeuzemodel, die niet alleen het gedrag van early adopters (de meeste huidige privébezitters van elektrische auto's) weergeven, maar ook van meer "standaard" autobezitters. De SP-vragenlijst is daarnaast gebruikt voor vragen naar attitudes van consumenten, met name voor wat betreft elektrische auto's.

## **8. Tot slot**

Deze paper geeft op hoofdlijnen de structuur en de functionaliteiten weer van het nieuwe SPARK model dat momenteel in ontwikkeling is. Naast de hier beschreven functionaliteiten zijn er nog diverse andere die hier nog niet aan de orde zijn geweest (denk bijvoorbeeld aan export, evenwicht op de tweedehands markt, anticipatie op toekomstige beleidswijzigingen etc.). Voor een volledige beschrijving verwijzen we naar de technische documentatie die aan het einde van het ontwikkeltraject (voorzien voor maart 2022) zal worden opgeleverd.

## **Referenties**

- Al-Alawi, B. M., & Bradley, T. H. (2013). Review of hybrid, plug-in hybrid, and electric vehicle market modeling studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 190-203.
- Jensen, A. F., Cherchi, E., Mabit, S. L., & Ortúzar, J. D. D. (2016). Predicting the potential market for electric vehicles. *Transportation Science*, 51(2), 427-440.
- Kamp, M. van de (2020) A transaction model of household car ownership: the impact of life events and built environment factors, MSc Thesis, Delft University of Technology
- Kouwenhoven, M., Jong, G de, Winter, K., Meerkerk, J. G. H. van & Smit, R. (2021, September 13-15). All in all: estimating new dynamic car ownership models for The Netherlands on population data [presentatie]; European Transport Conference 2021.
- Massiani, J., & Gohs, A. (2015). The choice of Bass model coefficients to forecast diffusion for innovative products: An empirical investigation for new automotive technologies. *Research in Transportation Economics*, 50, 17-28.
- Mohammadian, A. & Miller, E. (2003) Dynamic modeling of household automobile transactions. *Transportation Research Record*, Volume 1831, Issue 11.
- Muconsult (2020) DYNAMO 3.2: Dynamic Automobile Market Model, Technische eindrapportage (kenmerk PBL009/WVL021).
- Revnex, 2019. Achtergrondrapport Carbontax-model. Rotterdam: Revnext.
- Traa, M. & Geilenkirchen, G. 2017. KOTERPA 2.0, ramingsmodel voor het personenautopark en zijn gebruik. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.