



# Doorrekenen H<sub>2</sub> – scenario

# Scenarioberekeningen

Om de gevolgen van veranderingen in de samenstelling van de busvloot in de Stadsregio Arnhem Nijmegen te kunnen ramen is door Significant in de zomer van 2010 een simulatiemodel ontwikkeld. In de rapportage “Transitie naar zero-emission” van 15 september 2010 is uiteengezet hoe het model is opgebouwd en welke gegevens zijn gebruikt bij de berekeningen.

Er is sindsdien een aantal veranderingen in het model en in de onderliggende gegevens aangebracht. Voor een deel zijn de veranderingen van technische aard. Berekeningen die voorheen als handmatige nabewerking werden gedaan, zijn binnen het model gebracht. Dit heeft niet geleid tot substantiële veranderingen in uitkomsten, dat zou ook ongewenst zijn.

Er is daarnaast na overleg met deskundigen een aantal modelparameters wat betreft gebruik van aardgas en groen-gas, waardoor er wel andere uitkomsten zijn berekend.

Het gaat bij gas om:

- de kosten voor het opwaarderen van de 75 aardgasbussen die nu in Nijmegen rijden (is niet meer in de berekeningen meegenomen);
- de restwaarde van de bussen (alle bussen hebben na 10 jaar een restwaarde van € 10.000);
- de onderhoudskosten van gasbussen (af rondingsverschillen voor de prijs per km zijn geëlimineerd).
- de kosten van omrijden van gasbussen in verband met mogelijk vaker tanken zijn door nieuwe inzichten over actieradius niet als constante behandeld maar in een gevoeligheidsanalyse opgenomen. Dit geldt ook voor de kosten van reservebussen.

Wat betreft waterstofgas zijn de volgende parameters aangepast:

- De onderhoudskosten zijn € 0,345 per km (ex btw).
- De aanschafprijs van een waterstofbus bus is € 890.000 (ex btw).
- Voor iedere 5 waterstofbussen is er één reservebus (in dit geval een gasbus) nodig.
- Voor 5 bussen is er een investering nodig van € 1.000.000 (exclusief btw) voor het vulpunt (gebouw, compressoren, opslag en dispenser). Deze investering wordt in 20 jaar (in plaats van 10) afgeschreven; de jaarlijkse onderhoudskosten bedragen 5% van de kosten van het vulpunt. In de brandstofprijs voor de groen-gasbussen zijn de kosten van het (gas)vulpunt al verdisconteerd.

De aanpassingen zijn gedaan op advies van Squarewise, die nieuwe verifieerbare informatie heeft ingewonnen uit literatuur, van leveranciers en bij deskundigen. In de bijlage bij de termsheet is de verantwoording van deze getallen met bronvermelding opgenomen.

## Scenarioberekeningen (vervolg)

In de praktijk zal er voor de financiering van bussen waarschijnlijk een leaseconstructie worden gebruikt, waarin een deel van de operationele kosten zal zijn opgenomen. Het is niet mogelijk gebleken om concurrentiegevoelige informatie over leasebedragen, zoals die nu worden gehanteerd, in het model op te nemen. Daarom is – als benadering - gewerkt met een jaarlijkse afschrijving van de waarde van de bussen.

In het waterstofscenario is een aantal factoren **niet** meegenomen, die specifiek zijn voor dit type brandstof.

Het gaat om:

- extra personeel omdat de betrouwbaarheid van de waterstofbussen vanwege de relatief nieuwe technologie wat lager is;
- omscholingskosten van medewerkers;
- aanpassing van remises.

In totaal gaat het om eenmalige investeringen van een bedrag rond de € 100.000.

# Vergelijken van scenario's

Er worden in dit stuk achtereenvolgens de volgende onderwerpen belicht:

- Een vergelijking van de twee doorgerkende scenario's
- De modelbeschrijving (op hoofdlijnen)

Er is geen gevoeligheidsanalyse gedaan. Het effect op het totaal is vanwege het lage aantal bussen waarop de veranderingen effect hebben niet groot. Dat wil niet zeggen dat er geen onzekerheid in de uitkomsten zit. Met name de brandstofprijs van H<sub>2</sub>-gas en de storingsgevoeligheid zijn lastig te voorspellen.

In deze rapportage worden uitkomsten van een tweetal scenario's met elkaar vergeleken.

- Scenario 3: alle bussen in stad en streek rijden op groen gas.
- Scenario 9: er rijden 5 door waterstof aangedreven bussen in de stad, alle andere bussen in stad en regio zijn gasbussen die rijden op groen gas.

De uitkomsten van de simulaties worden gebruikt in de 'termsheet waterstof' als onderbouwing van de keuze voor het 'waterstof' scenario.

Bij het interpreteren en beoordelen van de uitkomsten is een aantal zaken van belang:

- De onderlinge vergelijkbaarheid van de resultaten van scenarioberekeningen is belangrijk. De verschillen tussen de scenario's zijn alleen het gevolg van het doorrekenen van een andere samenstelling van de busvloot en komen niet door het tegelijkertijd veranderen van andere modelparameters.
- Van een groot aantal modelparameters is verondersteld dat deze in de tijd constant zijn. Hoe bijvoorbeeld de brandstofprijs (zowel groen gas als waterstofgas) zich zal ontwikkelen is echter op lange termijn niet te voorspellen.
- Alle genoemde bedragen in de uitkomsten van de simulaties zijn inclusief BTW.

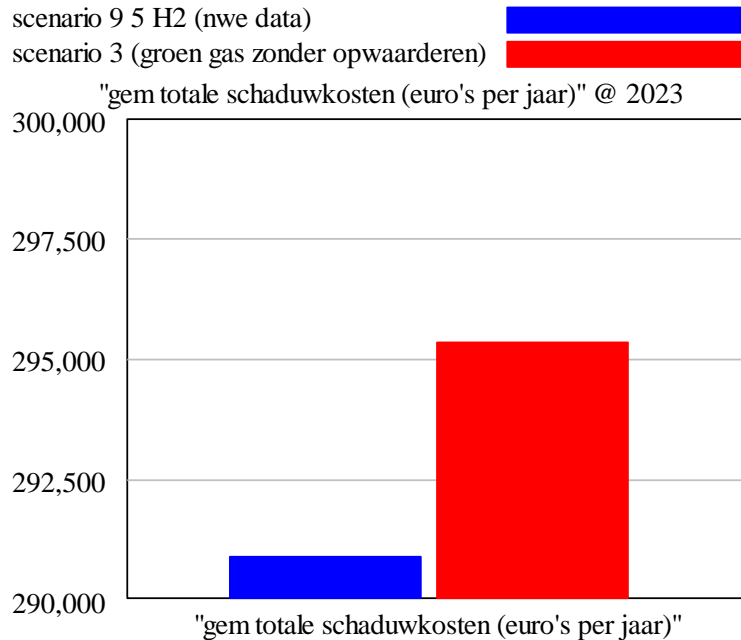
## Resultaten van scenarioberekeningen

	SIMULATIES		VERGELIJKING
	GROEN GAS	GROEN GAS EN 5 H2 BUSSEN	VERSCHIL GROEN GAS EN GROEN GAS + 5 H2 BUSSEN
"gem brandstofkosten bussen (euro's per jaar)"	€ 4.151.000	€ 4.242.000	€ -91.000
"gem onderhoudskosten bussen (euro's per jaar)"	€ 3.419.000	€ 3.507.000	€ -88.000
"gem kosten infrastructuur onderhoud en afschrijving (euro's per jaar)"	€ -	€ 119.000	€ -119.000
"gem afschrijving bussen (euro's per jaar)"	€ 5.398.000	€ 5.801.000	€ -403.000
"gem kosten reservebussen (euro's per jaar)"	€ 224.000	€ 244.000	€ -20.000
"gem kosten rijklaar maken alle bussen en omrijden gasbussen (euro's per jaar)"	€ 574.000	€ 574.000	€ -
"gem totale kosten (euro's per jaar)"	€ 13.769.000	€ 14.489.000	€ -720.000
"gem uitstoot NOx (kg per jaar)"	7.200	7.100	100
"gem uitstoot CO2 (kg per jaar)"	6.940.000	6.846.000	94.000
"gem uitstoot fijnstof (kg per jaar)"	230	220	10
"gem totale schaduwkosten (euro's per jaar)"	€ 295.000	€ 290.000	€ 5.000

De vijf waterstofbussen zorgen voor hogere kosten ten opzichte van het groen-gas scenario. Het gaat gemiddeld over ca. € 700.000 per jaar. Meer dan de helft hiervan komt voor rekening van de hogere afschrijvingskosten: de 5 waterstofbussen zijn duurder dan de 5 gasbussen die worden vervangen door waterstofbussen.

Er is bij 5 waterstofbussen verder één extra reservebus nodig, we gaan er van uit dat dit een gasbus is.

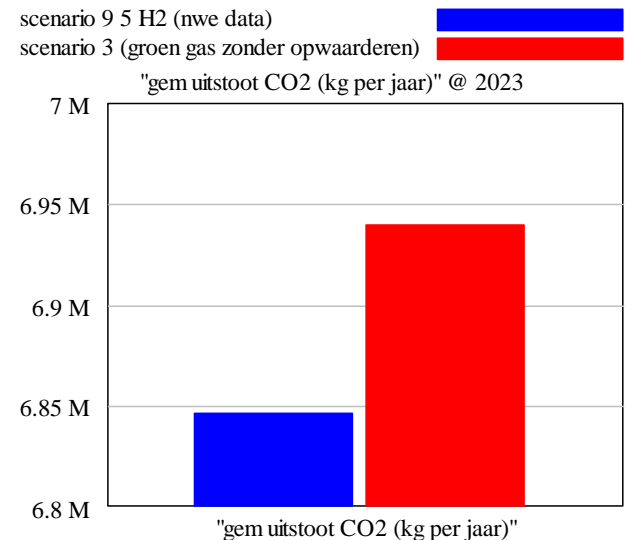
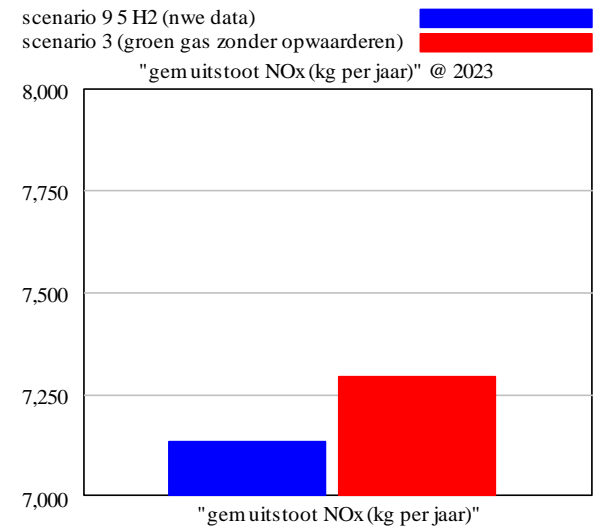
# Schaduwkosten



De jaarlijkse schaduwkosten (in Euro's per jaar) worden berekend door de uitstoot in (kg per jaar) de vermenigvuldigen met de kosten per kg uitgestoten CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en fijnstof. De bedragen zijn vastgelegd in Richtlijn 2009/33/EG.

De uitstoot van CO<sub>2</sub> is in de berekeningen de "well-to-wheel" uitstoot. In het geval van groen gas komt dit neer op de uitstoot die wordt veroorzaakt tussen "well" en "tank", omdat de uitstoot van CO<sub>2</sub> tussen "tank" en "wheel" geen fossiele brandstof als bron heeft.

Opgemerkt moet worden dat de verschillen niet groot zijn, het gaat immers maar om 5 bussen.



# Modelstructuur

## Modelbeschrijving: modelstructuur en berekeningen

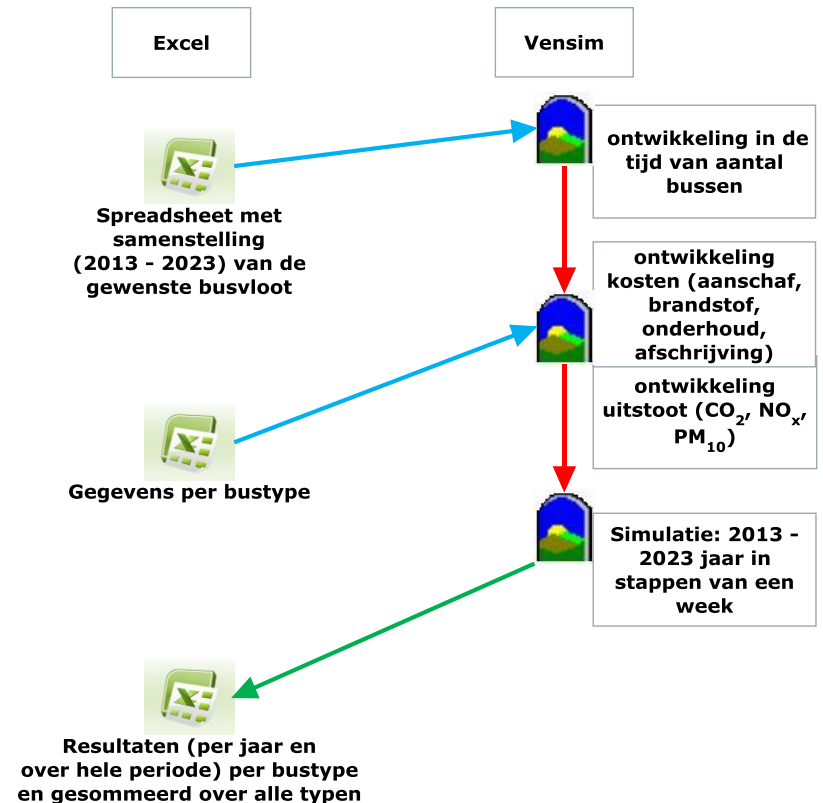
Het model rekent uit welke operationele kosten en welke schaduwkosten er verbonden zijn aan het inzetten van een busvloot in een regio. In de operationele kosten zijn de salariskosten van het personeel (operationeel en overhead) **niet** meegenomen.

Afhankelijk van een gewenste samenstelling van de busvloot, worden in dit rekenmodel vooraf gedefinieerde rekenregels toegepast op aantallen bussen en op parameters. De resultaten worden doorvertaald naar kosten: in dit geval euro's per jaar.

De berekeningen worden uitgevoerd in een systeem-dynamisch rekenmodel (geprogrammeerd in Vensim). De databestanden met gegevens zijn in spreadsheets (Microsoft Excel) opgenomen.

**Operationele** kosten zijn: brandstofkosten, onderhoudskosten, kosten voor onderhoud en afschrijving van infrastructuur voor tanken, afschrijving van de bussen, kosten voor reservebussen, kosten voor opwaarderen van bussen, kosten voor omrijden om te kunnen tanken en kosten voor rijklaar maken.

**Schaduwkosten** zijn de kosten die kunnen worden berekend uit de omrekening van de uitstoot aan CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en fijnstof naar euro's.



# Modelparameters

**Samenstelling busvloot.** In de invoerbestanden kan per type bus, per jaar worden opgegeven hoeveel bussen er worden ingezet. Dit geeft de mogelijkheid om de busvloot geleidelijk dan wel in grote stappen van samenstelling te laten veranderen.

De bussen kunnen in het model worden onderverdeeld in:

## Dieselbussen

- Diesel III
- Diesel V
- Diesel EEV
- Diesel VI

## Gasbussen

- CNG
- LNG

## Waterstofbussen

## Hybride bussen

- Diesel
- Gas
- Waterstof

**Regio.** Per type bus kan worden opgegeven of deze als stadsbus of als streekbus dienst gaan doen.

**Brandstofprij.** Per type bus kan wordt gerekend met een brandstofprij (per liter, m<sup>3</sup> of kg). Voor gasbussen wordt een verschil gemaakt tussen aardgas en groen-gas.

**Totale lengte van de omlopen.** Er kan worden opgegeven hoeveel kilometer gemiddeld per jaar door een stadsbus of een streekbus worden gereden.

**Verbruik.** De verbruikscijfers kunnen opgegeven in liters (diesel), m<sup>3</sup> (gas), kg (H<sub>2</sub>), per verreden kilometer door een bepaald type bus.

**Afschrijving bussen.** De aanschafprijs en de restwaarde bepalen samen met de afschrijvingstermijn de jaarlijkse afschrijving. Er wordt lineair afgeschreven. Aanschafprijs en restwaarde zijn per type verschillend en kunnen ook in de tijd worden gevarieerd wanneer te voorzien valt dat een bus van een bepaald type in de toekomst van prijs zal veranderen (waterstofbussen).

**Onderhoud bussen.** Per type bussen kan het onderhoud als prijs per kilometer worden ingevuld.

**Onderhoud en afschrijving van de infrastructuur.** Onder infrastructuur vallen de volgende zaken:

- Onderhoud van de tankinstallaties
- Afschrijving van de tankinstallaties

**Rijklaar maken.** Per bus zijn er – afhankelijk van het type - jaarlijkse kosten voor het rijklaar maken.

**Omrijden.** De eventueel nieuw aan te leggen tankstations (met name gas) liggen mogelijk niet bij een remise of op een route van / naar de remise. Er kan worden opgegeven (als fractie) hoeveel bussen moeten omrijden, hoeveel tijd hierin gaat zitten en welke personeelskosten hiermee zijn gemoeid.



# Grafische weergave van de berekeningen

