

RIVM rapport 888883 002

**Nieuwe snelle treinverbindingen tussen de
Randstad en Noord Nederland:**
effecten op emissies en geluidhinder

R.M.M. van den Brink, H. Nijland, G.P. van Wee

juli 2001

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van MAP-Milieu, in het kader van project 888883, ICES, mijlpaal 888883/01/AN (Zuiderzeelijn).

Abstract

The Project 'Zuiderzeelijn' (Zuyder Zee line) has been asked by the Dutch government to manage the investigations on costs and benefits of a new fast railway from Schiphol Airport, via Amsterdam to the northern Netherlands, and to integrate these investigations into a Cost Benefit Analysis (CBA). In turn, the Project 'Zuiderzeelijn' project team requested the National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) to investigate emission impacts of six alternatives for a fast railway connection between Schiphol and the northern Netherlands. The RIVM also evaluated research on noise impacts for these alternatives. The six alternatives differ with respect to infrastructure, type of trains and timetable (frequency, stations). With respect to infrastructure, two alternatives assumed only the construction of the Hanzelijn (between Lelystad and Zwolle), while the other alternatives assumed additional infrastructure, namely, the Zuiderzeelijn. With respect to train technologies a distinction was made between normal express ('intercity') trains travelling at 140 km/h, fast express trains (200 km/h), high-speed trains (260 km/h) and magnetic-levitation (maglev) trains (400 km/h).

In this research RIVM used transport volumes (passenger kilometres per mode) of a CBA study done by the NEI, which RIVM considers to be a reliable basis. Emissions per seat-kilometre and occupancy rates were calculated by the RIVM. Calculations show that energy use per seat-kilometre of maglev trains is approximately three times that of normal express trains.

Assuming most likely estimates for energy use per seat-kilometre and occupancy rates, RIVM found that all variants would lead to an increase in emissions of CO₂, NO_x and SO₂. Expressed as a percentage of total transport-related emissions in the Netherlands, the increase is less than 0.5%. The increase is largest for the maglev train variants. When the indirect emissions due to the construction of the railway lines are spread over 50 years, these indirect emissions can be as high as direct emissions due to the increased use of electricity.

All alternatives result in an increase in noise impacts. The alternatives using maglev trains result in the smallest increase of noise in built-up areas. The alternative 'Hanzelijn and fast express trains' results in the largest increase in noise impacts in built-up areas. The reason for this is that in the latter alternative much fewer noise-reducing measures (noise screens) are assumed, because – according to the Project Zuiderzeelijn interpretation of the Noise Nuisance Act – this variant is an 'existing' and not a 'new' situation. For new situations the maximum acceptable immission levels are more stringent than for existing situations. If the alternative 'fast express trains and Hanzelijn' were treated as a 'new situation' more measures would be needed. This alternative would then probably result in the smallest increase of noise impacts, instead of the largest.

Several improvements are suggested for enhancing the way CBA's (e.g. the CBA for the Zuiderzeelijn) should deal with environmental aspects of rail options. Firstly, a reliable estimate of effects of the variants requires measurements of energy use of and noise emissions from maglev trains to be carried out more independently. Secondly, more detailed information about occupancy rates of conventional and high-speed trains is needed. Thirdly, we advise future CBA's to include energy use and emissions related to the construction of infrastructure in the investigations. Finally more research into the impact of (rail) infrastructure on the landscape, nature areas is needed, along with further study on barrier effects.

Samenvatting

Op verzoek van de projectorganisatie Zuiderzeelijn heeft het RIVM berekeningen uitgevoerd naar de effecten op emissies van de ingebruikname van een snelle verbinding tussen Schiphol en het noorden van het land. Het RIVM heeft verder op eigen initiatief de reeds uitgevoerde geluidhinderberekeningen beoordeeld. Voor de snelle verbinding heeft de projectorganisatie Zuiderzeelijn zes alternatieven gedefinieerd die van elkaar verschillen voor wat betreft spoorinfrastructuur, treintechniek en dienstregeling (frequentie, aantal haltes). Twee van de alternatieven gaan uit van de aanleg van de Hanzelijn (HZL) tussen Lelystad en Zwolle, de andere vier alternatieven veronderstellen aanvullend de aanleg van de Zuiderzeelijn (ZZL). Deze loopt vanaf Lelystad via Emmeloord, Heerenveen en Drachten naar Groningen. Voor wat betreft treintechniek wordt zowel in projectalternatieven onderscheid gemaakt naar conventionele treinen (IC), snelle intercitytreinen (IC+), hogesnelheidstreinen (HSL) en magneetzwefstreinen (MZ).

De effecten op emissies van de verschillende projectalternatieven zijn berekend door de aantallen gesubstitueerde reizigerkilometers (van auto of conventionele trein naar snelle trein) te vermenigvuldigen met de verschillen in emissies per reizigerkilometer tussen de auto of de conventionele trein en de snelle trein. Daarbij is opgeteld het product van het aantal gegenereerde reizigerkilometers en de emissies per reizigerkilometer van de snelle trein. Voor de aantallen gesubstitueerde en genereerde reizigerkilometers in de verschillende projectalternatieven is in dit rapport gebruik gemaakt van de vervoerwaardestudie die het Nederlands Economisch Instituut (NEI) reeds had uitgevoerd ten behoeve van de kosten-batenanalyse van een snelle verbinding naar het noorden. Het RIVM beschouwt deze vervoerwaardestudie als een betrouwbare basis voor de emissieberekeningen. Het RIVM heeft met behulp van een recent ontwikkeld rekenmodel de emissies per zitplaatskilometer van de verschillende onderscheiden treintypen berekend. Uit deze berekening blijkt dat de magneetzwefstrein circa 3 maal zoveel energie gebruikt per zitplaatskilometer als een conventionele sneltrein die dezelfde stations aandoet. De bezettingsgraden van de snelle treinen in de zes projectalternatieven zijn door het RIVM berekend op basis van de eerder genoemde vervoerwaardestudie.

Geconcludeerd kan worden dat, uitgaande van de meest waarschijnlijke waarden voor het energiegebruik per zitplaatskilometer en bezettingsgraad, alle projectalternatieven tot een toename van de CO₂-, NO_x- en SO₂-emissies leiden maar dat de toenames vergeleken met de totale emissies door de sector verkeer en vervoer gering (< 0,5%) zijn. Alleen in het geval van een optimistisch scenario voor de snelle trein (laag energiegebruik per zitplaatskilometer; hoge bezettingsgraad) en een pessimistisch scenario voor de conventionele trein zouden de emissies in de projectalternatieven met een IC+ licht kunnen dalen. Alle andere projectalternatieven leiden, zelfs bij een optimistisch scenario voor het energiegebruik en de bezettingsgraad van de snelle trein, tot een toename van emissies. De projectalternatieven met een magneetzwefstrein leiden tot de grootste toename van emissies. De emissies door de aanleg van infrastructuur blijken, wanneer 'uitgesmeerd' over 50 jaar, maximaal van dezelfde orde-grootte te zijn als de extra emissies door het toegenomen elektriciteitsgebruik van treinen.

Voor wat betreft geluidhinder blijkt uit eerdere berekeningen door de projectorganisatie Zuiderzeelijn dat alle onderzochte alternatieven een verslechtering betekenen van de akoestische omgeving in (Noord-)Nederland. De twee ZZL-alternatieven met een magneetzwefstrein veroorzaken de minste toename van geluidbelast oppervlak in

woongebieden. Het HZL-alternatief met de IC+ veroorzaakt de grootste toename van geluidbelast oppervlak in woongebieden. Dit laatste geldt echter slechts bij de door de projectorganisatie Zuiderzeelijn gehanteerde interpretatie van het begrip 'wijziging in de bestaande situatie' zoals vermeld in de Wet Geluidhinder. Doordat de IC+, ondanks de toename van de snelheid van 140 km/h naar 200 km/h, volgens de interpretatie van de projectorganisatie Zuiderzeelijn geen 'wijziging in de bestaande situatie' inhoudt behoeven in dit projectalternatief geen geluidschermen te worden geplaatst. Indien er sprake zou zijn van een 'wijziging' in de zin van de Wet geluidhinder, en daardoor geluidsschermen zouden moeten worden geplaatst, zou dit alternatief aanzienlijk gunstiger scoren, en mogelijk zelfs de minste toename van geluidbelasting in woongebieden veroorzaken.

Er zijn nauwelijks gegevens voorhanden over het energiegebruik en de geluidemissie van de magneetzwefstrein; de enige beschikbare gegevens zijn afkomstig van de fabrikant en het RIVM heeft deze gegevens niet kunnen valideren. Voor een betrouwbaardere inschatting van de effecten van aanleg en ingebruikname van een snelle verbinding naar het noorden verdient het daarom aanbeveling onafhankelijke metingen te laten uitvoeren van zowel het energiegebruik als de geluidemissie door magneetzwefstreinen. Verder is het gewenst dat de NS en de exploitanten van hogesnelheidstreinen meer praktijkgegevens over het energiegebruik en de bezettingsgraden van conventionele en hogesnelheidstreinen verstrekken. Daarnaast verdient het aanbeveling om bij toekomstige KBA's ook de milieueffecten van de aanleg van infrastructuur mee te nemen omdat deze indirecte effecten significant blijken te kunnen zijn. Een ander belangrijk aspect bij de politieke besluitvorming over nieuwe infrastructuurprojecten is de landschappelijke inpassing, ofwel horizonvervuiling, doorsnijding, versnippering en aantasting van de natuur. Hierover is nog weinig bekend. Binnen de beschikbare tijd heeft het RIVM geen onderzoek naar deze externe effecten kunnen uitvoeren. Gezien de grote invloed die nieuwe infrastructuurprojecten op dergelijk aspecten (kunnen) hebben, verdient het aanbeveling naar deze invloeden nader onderzoek te doen. Het betreft zowel de fysieke invloeden als de monetaire waardering ervan.

Inhoud

1	INLEIDING	9
2	CONCEPTUEEL MODEL DIRECT ENERGIEGEBRUIK.....	11
3	BESCHOUWDE ALTERNATIEVEN	13
3.1	HET NULALTERNATIEF (HSL-REF.).....	14
3.2	DE PROJECTALTERNATIEVEN.....	14
4	UITGANGSPUNTEN BEREKENINGEN.....	17
4.1	SCENARIO'S.....	17
4.2	ZICHTPERIODE.....	17
4.3	BELEIDSVERONDERSTELLINGEN.....	17
4.4	VERONDERSTELLINGEN OVER DIENSTREGELING EN VERVOERWAARDE.....	17
4.5	VERONDERSTELLINGEN OVER TREINEN.....	18
4.6	VERONDERSTELLINGEN OVER BEZETTINGSGRADEN VAN TREINEN.....	22
4.6.1	<i>Algemene beschouwing over bezettingsgraad.....</i>	<i>22</i>
4.6.2	<i>Bezettingsgraad toegepast in RIVM-berekeningen.....</i>	<i>24</i>
4.7	VERONDERSTELLINGEN OVER PERSONENAUTO'S EN AUTOBUSSEN	26
4.8	VERONDERSTELLINGEN OVER ELEKTRICITEITSPRODUCTIE.....	27
5	FACTOREN ENERGIEGEBRUIK EN EMISSIES PER VARIANT	29
5.1	SITUATIE IN 2020	29
5.2	SITUATIE IN 2030	31
5.3	ONZEKERHEDEN IN ENERGIE- EN EMISSIEFACTOREN.....	31
6	EFFECTEN PROJECTALTERNATIEVEN OP ENERGIEGEBRUIK EN EMISSIES	33
6.1	GEMIDDELDE WAARDEN METHODIEK	33
6.1.1	<i>Algemeen.....</i>	<i>33</i>
6.1.2	<i>Berekeningsresultaten.....</i>	<i>35</i>
6.2	MARGINALE VERANDERINGEN METHODIEK.....	36
6.3	VERGELIJKING EFFECTEN MET TOTALE EMISSIES IN NEDERLAND.....	39
6.4	GEVOELIGHEIDSANALYSE	39
7	INDIRECT ENERGIEGEBRUIK EN EMISSIES	45
7.1	INLEIDING.....	45
7.2	INDIRECTE EMISSIES AANLEG ZUIDERZEELIJN.....	46
8	GELUIDHINDER	49
8.1	GELUIDEMISSIES.....	49
8.2	GELUIDHINDER.....	50
8.3	EFFECTEN.....	50
8.3.1	<i>Effecten op mensen en woonomgeving.....</i>	<i>50</i>
8.3.2	<i>Effecten op natuur- en stiltegebieden.....</i>	<i>51</i>
8.3.3	<i>Inpassingskosten</i>	<i>51</i>
9	CONCLUSIES.....	53
10	DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN VOOR VERDER ONDERZOEK	55
	LITERATUUR.....	59
	BIJLAGE 1 VERZENDLIJST.....	61
	BIJLAGE 2 VERKLARING VAN AFKORTINGEN EN BEGRIPPEN	65

BIJLAGE 3	GEBRUIKTE VOLUME GEGEVENS UIT NEI (2000A)	67
BIJLAGE 4	VERSCHILLEN MET KBA VAN HET NEI	69
BIJLAGE 5	ENERGIEGEBRUIK PER ZITPLAATSKILOMETER BIJ ANDERE OPERATIONELE OMSTANDIGHEDEN.....	73

1 Inleiding

Het ministerie van Verkeer en Waterstaat heeft door de projectorganisatie Zuiderzeelijn een verkenning laten uitvoeren naar een snelle verbinding tussen de Randstad en het noorden. De doelstellingen van de aanleg van die snelle verbinding zijn:

- Versterking van de regionaal-economische structuur van het noorden van Nederland, maar ook van tussengelegen gebieden;
- Verbetering van de bereikbaarheid van het noorden van Nederland;
- Verbetering van de werking van de arbeidsmarkt in Nederland;
- Vermindering van de congestie in de Randstad, met name op de relatie Schiphol – Almere.

In het kader van de verkenning zijn diverse rapporten geschreven (zie NEI, 2000a). Mede op basis van die rapporten is een Kosten-Baten Analyse (KBA) uitgevoerd door het Nederlands Economisch Instituut (NEI, 2000b). Hoewel er geen milieudoelstellingen gekoppeld zijn aan de snelle verbinding naar het noorden, is de invloed van de diverse opties voor die snelle verbinding op het milieu (ten dele) in de KBA meegenomen.

Het onderhavige rapport geeft inzicht in het energiegebruik en de emissies van CO₂, NO_x en SO₂ van de diverse onderzochte alternatieven. Verder gaat het onderhavige rapport in op geluidhinder en werpt het een kritische blik op de geluidhinderberekeningen door de projectorganisatie Zuiderzeelijn. Aan andere invloeden op milieu en natuur (emissies van andere stoffen, doorsnijding landschap, versnippering, invloed op ecosystemen) wordt in dit rapport niet ingegaan. Het onderzoek is uitgevoerd op initiatief van het RIVM in nauw overleg met de projectorganisatie Zuiderzeelijn. Dit rapport is geschreven nadat het NEI de KBA had afgerond.

Doel van dit rapport is het bieden van inzicht in de invloed van diverse alternatieven voor een snelle verbinding naar het noorden, zoals opgenomen in de KBA, op de emissies van CO₂, NO_x en SO₂ en op geluidhinder. Tevens verschaft dit rapport inzicht in de gevoeligheden van de berekeningsresultaten voor variatie in de aannames die aan de berekening van energiegebruik en emissies ten grondslag liggen. Tenslotte agendeert dit rapport enkele aanvullende onderwerpen die een rol spelen bij kosten-batenanalyses.

Voor de berekening van de invloed van de onderzochte treinalternatieven (inclusief magneetzweftrain) op energiegebruik en emissies is gebruik gemaakt van het RIVM-model PRORIN (PROgnose voor energiegebruik en emissies van Railvervoer In Nederland) (Gijzen, in voorbereiding). Dit is een zogenoemd ‘bottum-up’-model: energiegebruik en emissies worden berekend op het niveau van individuele treinen op basis van onder andere treingewicht, rol- en luchtweerstand en het gemiddelde ritprofiel. Met het model kan expliciet de invloed van bijvoorbeeld verandering van het aantal stops (dienstregeling) en de maximum snelheid op het energiegebruik en emissies worden berekend.

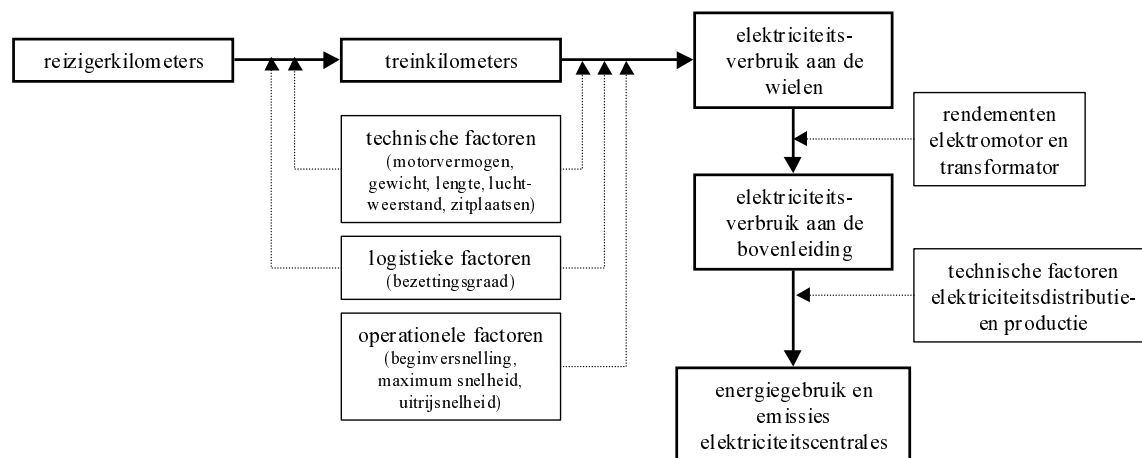
Hoofdstuk 2 geeft een conceptueel model voor het directe energiegebruik en emissies van railvervoer¹, hoofdstuk 3 beschrijft de onderzochte alternatieven voor de snelle verbinding naar het noorden. Hoofdstuk 4 geeft de uitgangspunten die aan de energie- en emissieberekeningen ten grondslag liggen. Hoofdstuk 5 geeft de energie- en emissiefactoren (per reizigerkilometer) per alternatief. Hoofdstuk 6 geeft het totale energiegebruik en de totale emissies, door de

¹ Met het directe energiegebruik en emissies worden het energiegebruik en de emissies door elektriciteitsproductie bedoeld.

volumegegevens en de emissiefactoren te combineren. Tevens bevat hoofdstuk 6 een gevoeligheidsanalyse. Bijlage 4 vergelijkt de RIVM-resultaten met de resultaten uit de KBA van het NEI (NEI, 2000b). Hoofdstuk 7 gaat in op het indirecte energiegebruik en emissies door de aanleg infrastructuur en de productie van vervoermiddelen. Hoofdstuk 8 geeft een overzicht van de geluidhinderproblematiek. Hoofdstuk 9 geeft de belangrijkste conclusies weer en hoofdstuk 10 tenslotte bevat de discussie en aanbevelingen voor verder onderzoek.

2 Conceptueel model direct energiegebruik

Figuur 1 geeft het conceptuele model voor de berekening van het energiegebruik en emissies door railvoertuigen.



Figuur 1 Conceptuele model direct energiegebruik en emissies van elektrische railvoertuigen

Zoals Figuur 1 aangeeft gaat het conceptuele model uit van reizigerkilometers. Als eerste is van belang hoeveel treinkilometers er nodig zijn om deze vervoersprestatie te leveren. Dit wordt bepaald door de gemiddelde bezetting per trein die wordt bepaald door aantal zitplaatsen per trein en de bezettingsgraad. Als tweede is van belang op welke wijze deze treinkilometers worden afgelegd, ofwel hoe is het verloop van de treinsnelheid in de tijd tussen twee stops en wat is de gemiddelde afstand tussen twee stops? Om dit zogenoemde ritprofiel voor een bepaalde trein te kunnen berekenen moeten niet alleen technische factoren, maar ook operationele en logistieke factoren bekend zijn. Een belangrijke operationele factor in de berekening is de maximum snelheid van de trein. De tijd hoelang het duurt voordat deze maximum snelheid is bereikt is echter ook van belang. Hoe hoger de verhouding tussen motorvermogen en treingewicht, hoe korter deze versnellingsfase in beslag neemt. Echter, het energiegebruik neemt bij een toename van de versnelling ook toe.

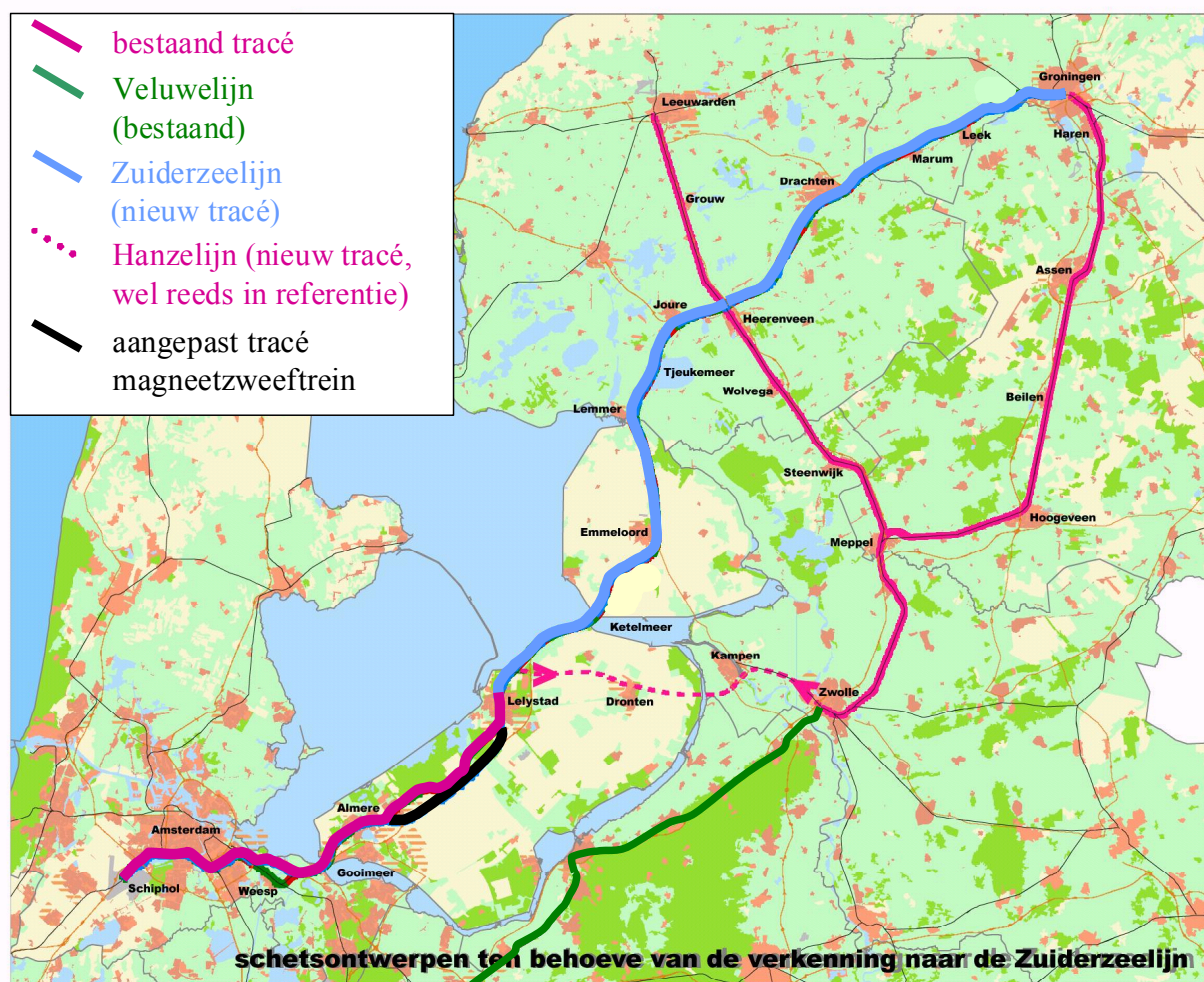
Een zeer belangrijke operationele factor in de berekening is de uitroltijd. Dit is de tijd tussen het uitschakelen van de aandrijving en het moment van stilstand. Tijdens het uitrollen moet worden bijgeremd om de trein op tijd tot stilstand te brengen. Bij een gegeven afstand tussen stops en maximum snelheid, zal het energiegebruik van een trein dalen naarmate de uitroltijd toeneemt omdat de trein een groter gedeelte van de tijd geen aandrijfenergie gebruikt. Tijdens dit uitrollen kan een trein een relatief grote afstand overbruggen zonder energie te gebruiken omdat de rolweerstand van staal op staal ongeveer een factor 10 lager is dan de rolweerstand van bijvoorbeeld een rubberen band op asfalt (Rutten, 1995).

Aan de hand van het ritprofiel kan worden berekend hoeveel energie aan de aangedreven wielen moet worden geleverd om het ritprofiel te realiseren. De aandrijfenergie compenseert de luchtweerstand, de rolweerstand en versnellingsweerstand die het gevolg is van de massa-traagheid. De hoeveelheid benodigde elektriciteit aan de bovenleiding van de trein kan

vervolgens worden berekend wanneer de rendementen van de elektromotor en de transformator in de trein bekend zijn. Om vervolgens het directe energiegebruik te bepalen moet gecorrigeerd worden voor energieverliezen als gevolg van de distributie van elektriciteit en voor het energiegebruik van elektriciteitscentrales. De directe emissies van treinen kunnen worden berekend aan de hand van gegevens over de emissies per geleverde hoeveelheid elektriciteit van het Nederlandse elektriciteitscentralepark en gegevens over de herkomst van de geïmporteerde elektriciteit.

3 Beschouwde alternatieven

In de kosten-batenanalyse van het NEI en de daaraan ten grondslag liggende rapporten zijn een 'nulalternatief' (HSL-Ref.) en zes zogenoemde projectalternatieven onderzocht (NEI, 2000b). Vijf hiervan zijn opgenomen in de kabinetsnotitie van maart 2000, die ten grondslag ligt aan de diverse onderzoeken, projectalternatief 2 (zie paragraaf 3.2) is eraan toegevoegd door de projectgroep Zuiderzeelijn en is volledigheidshalve ook in dit rapport opgenomen. In het nulalternatief is reeds uitgegaan van de aanleg van de Hanzelijn. Dit is de spoorverbinding tussen Lelystad en Zwolle (zie Figuur 2). De zes projectalternatieven kunnen worden ingedeeld naar twee alternatieven waarbij wordt uitgegaan van bestaande spoorinfrastructuur (dus inclusief Hanzelijn) en van vier alternatieven waarbij wordt uitgegaan van de aanleg van de Zuiderzeelijn (ZZL). Deze nieuwe spoorverbinding loopt van Lelystad via Emmeloord naar Heerenveen en verder via Drachten naar Groningen (zie Figuur 2).



Figuur 2 *Tracé van de nieuw aan te leggen Zuiderzeelijn, de Hanzelijn en van de reeds bestaande spoorverbindingen tussen Midden- en Noord-Nederland*

3.1 Het nulalternatief (HSL-Ref.)

Het referentienetwerk 2010 van Railned is gebruikt als nulalternatief, waarbij ervan is uitgegaan dat de dienstregeling in latere jaren gelijk blijft. In dit nulalternatief is de aanleg van de Hanzelijn reeds opgenomen omdat de basis voor het nulalternatief namelijk het Meerjarenprogramma Infrastructuur en Transport (MIT) 1999/2003 is. De infrastructuurprojecten zoals die voorzien zijn tot 2010 zijn hier in opgenomen, waarbij aangetekend moet worden dat nog niet voor alle projecten de definitieve besluitvorming heeft plaatsgevonden.

In het nulalternatief rijdt vanaf Schiphol eenmaal per uur een conventionele intercitytrein via de Hanzelijn naar Leeuwarden en eenmaal per uur een conventionele intercitytrein via de Hanzelijn naar Groningen. Tevens rijdt eenmaal per uur de conventionele intercitytrein tussen Utrecht en Zwolle (Veluwelijn) door naar Groningen. Naast intercitytreinen rijden er tussen Schiphol en Zwolle tweemaal per uur sneltreinen. Er rijden geen sneltreinen tussen Zwolle en Groningen of Leeuwarden. In het referentienetwerk van Railned wordt tevens uitgegaan van de aanleg van de HSL-Zuid, waarbij is verondersteld dat deze HSL na Schiphol nog doorrijdt tot Amsterdam-WTC.

3.2 De projectalternatieven

Projectalternatieven zijn combinaties van tracé, techniek (type treinen) en dienstregelingen. In deze paragraaf worden van alle projectalternatieven alleen de veranderingen ten opzichte van het nulalternatief besproken. Voor een uitgebreider overzicht van de projectalternatieven inclusief de veronderstelde dienstregeling wordt verwezen naar de vervoerwaardestudie van het NEI (NEI, 2000a).

1. **HZL-IC+** (Hanzelijn; InterCity+)
Geen verschil met het nulalternatief met uitzondering van het gegeven dat op de trajecten Schiphol-Zwolle (via de Hanzelijn) en Zwolle-Leeuwarden/Groningen geen conventionele intercitytreinen maar snellere IC+-treinen rijden (200 km/h i.p.v. 140 km/h).
2. **HZL-HSL** (Hanzelijn; HogeSnelheidsLijn)²
Tussen Schiphol en Groningen (via de Hanzelijn) rijdt eenmaal per uur een Hoge Snelheidstrein (HSL) met een maximum snelheid van 260 km/h i.p.v. een conventionele intercity. Dit is ook het geval tussen Schiphol en Leeuwarden. De bestaande infrastructuur wordt hiertoe opgewaardeerd. De HSL stopt in Schiphol, Amsterdam-WTC, Almere en Zwolle en rijdt dan direct door naar Groningen of Leeuwarden. De intercity Amersfoort-Zwolle (Veluwelijn) werd in het nulalternatief reeds eenmaal per uur doorgetrokken naar Groningen. In dit alternatief wordt de Veluwelijn ook eenmaal per uur doorgetrokken naar Leeuwarden om ook de tussengelegen stations Steenwijk en Heerenveen te bedienen.
3. **ZZL-IC+** (Zuiderzeelijn; InterCity+)³
In dit alternatief is verondersteld dat, naast de Hanzelijn, ook de Zuiderzeelijn wordt aangelegd. Deze verbindt Lelystad direct met Emmeloord en loopt door tot Heerenveen. Vervolgens loopt de Zuiderzeelijn via Drachten door naar Groningen. In dit alternatief rijden tweemaal per uur snelle intercitytreinen tussen Schiphol en Zwolle (via Hanzelijn) en rijden er per uur twee snelle intercity's (max. 200 km/h) via de Zuiderzeelijn vanuit

² Dit alternatief was niet opgenomen in de kabinetsnotitie van maart 2000, maar is door de projectorganisatie Zuiderzeelijn toegevoegd.

³ In NEI (2000a) en NEI (2000b) wordt dit alternatief ZZL-IC genoemd, uit de berekeningen blijkt echter dat het NEI is uitgegaan van IC+-treinen die maximaal 200 km/h rijden.

Almere direct naar Heerenveen en Groningen (geen stops in Emmeloord en Drachten). Ook in dit alternatief wordt, net als in HZL-HSL, eenmaal per uur de intercity Amersfoort-Zwolle (Veluwelijn) doorgetrokken naar Leeuwarden. Verder rijdt in dit alternatief tweemaal per uur een sneltrein via de Zuiderzeelijn van Lelystad naar Groningen. Deze sneltreinen stoppen op alle tussengelegen stations (Emmeloord, Heerenveen, Drachten).

4. **ZZL-HSL** (Zuiderzeelijn; HogeSnelheidsLijn)
Dit alternatief is vergelijkbaar met de ZZL-IC+ variant, behalve dat de intercities die over de Zuiderzeelijn tussen Schiphol en Groningen rijden worden vervangen door hogesnelheidstreinen (HSL).
5. **ZZL-MZB** (Zuiderzeelijn; MagneetZweeftrein - sneltreinvariant)
In dit alternatief rijdt tweemaal per uur een 'snelle' magneetzweeftrein die alleen stopt in Schiphol, Amsterdam WTC, Almere, Heerenveen en Groningen. Daarnaast rijdt er tweemaal per uur een 'langzamere' MZB die stopt op alle zes tussengelegen stations. Verder rijdt er in de spits tweemaal per uur een spitsshuttle (ook magneettrein) tot aan Almere. Naast de magneetzweeftrein rijdt er over de Hanzelijn tweemaal per uur een intercity van Schiphol naar Zwolle. Het sneltreinennetwerk is identiek aan het nulalternatief (niet noordelijker dan Zwolle dus).
6. **ZZL-MZM** (Zuiderzeelijn; MagneetZweeftrein - metrovariant)
Identiek aan ZZL-MZB met uitzondering van de magneetzweeftreinen. In plaats van twee typen magneetzweeftreinen gaat dit alternatief uit van zes 'metro-achtige' magneetzweeftreinen per uur tussen Schiphol en Groningen die op alle zes tussengelegen stations van de Zuiderzeelijn stoppen. De spitsshuttle komt in dit alternatief te vervallen.

Tabel 1 geeft voor het nulalternatief en voor de zes projectalternatieven een samenvatting van enkele operationele uitgangspunten. Daarnaast staan in Tabel 1 de operationele kenmerken van drie sneltreinverbindingen die in zowel het nulalternatief als in de zes projectalternatieven worden ingezet.

Tabel 1 Operationele uitgangspunten voor de snelste treinen tussen Schiphol en Noord-Nederland in de verschillende projectalternatief zoals gegeven in NEI (2000b)

tracé: treintype:	HZL snel- trein	HZL inter- city	HZL IC+	HZL HSL	ZZL IC+	ZZL HSL	ZZL MZ snel	ZZL MZ stop
toegepast in projectalternatief:	nul	nul	1	2	3	4	5	5,6 ^{a)}
maximum snelheid (km/h)	140	140	200	260	200	260	400	400
reisduur Schiphol-Groningen (uur) ^{b)}	-	2,1	1,7	1,2	1,5	1,2	0,8	1,0
reistijdwinst Schiphol-Groningen t.o.v. HZL-IC (min)	-	-	21	50	35	51	74	64
gemiddelde trajectnelheid (km/h)	94	103	123	172	125	153	223	186
aantal stops tussen Schiphol en Groningen	-	4	4	3	3	3	3	6
gemiddelde afstand tussen stops (km)	18	42	42	53	47	47	47	27
gemiddelde tijd tussen stops (min) ^{c)}	10	23	19	17	21	17	11	7

a) In projectalternatief 5 (ZZL-MZB) rijden zowel snelle als langzamere magneetzweeftreinen.

b) De sneltrein rijdt in het nulalternatief alleen tussen Schiphol en Zwolle.

c) gemiddelde tijd tussen stops, afgeleid uit NEI (2000b) bij een veronderstelling van 2 minuten haltetijd (Mnich et al., 1998)

4 Uitgangspunten berekeningen

Dit hoofdstuk geeft de belangrijkste uitgangspunten voor de berekeningen.

4.1 Scenario's

De berekeningen zijn uitgevoerd in de context van twee macro-economische scenario's van het CPB (CPB, 1997). Voor emissies ten gevolge van electriciteitsopwekking is aangesloten bij de Nationale Milieuverkenning 5 (RIVM, 2000) (MV5). In Gijsen en Spakman (2001) wordt nader ingegaan op de emissies ten gevolge van electriciteitsopwekking. Energiegebruik en emissies van personenauto's zijn eveneens gebaseerd op de MV5. Voor een nadere toelichting op de verkeersscenario's in de MV5: zie Feimann et al. (2000).

4.2 Zichtperiode

Het zichtjaar is van belang, onder meer omdat factoren voor energiegebruik en emissies daarvan afhangen (zie ook hoofdstuk 2). Zo worden emissie-eisen voor personenauto's regelmatig in EU-kader aangescherpt. Verder is de mate waarin auto's die aan bepaalde eisen voldoen, penetreren in het personenautopark eveneens afhankelijk van het zichtjaar.

Conform de KBA is als zichtjaar 2020 genomen. Tevens is aangegeven in welke mate in 2030 ten opzichte van 2020 wijzigingen in energie- en emissiefactoren optreden.

4.3 Beleidsveronderstellingen

Energiegebruik van en emissies door zowel auto's als electriciteitsopwekking, en daarmee treinen, zijn afhankelijk van het toekomstige regeringsbeleid. In dit rapport is aangesloten bij de MV5, waarin de effecten van 'vastgesteld beleid' zijn doorgerekend. Voor personenauto's is in de MV5 uitgegaan van een aanscherping van de normen voor uitlaatgasemissies in 2000 (Euro3) en in 2005 (Euro4). Verder is in het EC-scenario van de MV5 een effect toegekend aan convenant van de Europese Commissie met de Europese, Koreaanse en Japanse koepelorganisaties van automobiefabrikanten. In het GC-scenario is daarentegen geen effect toegekend aan dit convenant. Voor autobussen is uitgegaan van een aanscherping van de normen voor uitlaatgasemissies in 2000 (Euro3), 2005 (Euro4) en 2008 (Euro5). Voor de beleidsveronderstellingen die van invloed zijn op de efficiëntie van en de emissies door electriciteitsopwekking wordt verwezen naar Van Wee et al. (2000) en Gijsen en Spakman (2001).

4.4 Veronderstellingen over dienstregeling en vervoerwaarde

Voor de berekeningen van het effect van de projectalternatieven op energiegebruik en emissies is gebruik gemaakt van de gegevens in de Vervoerwaarde Studie Zuiderzeelijn (NEI, 2000a). Bijlage 3 geeft alle gebruikte volumegegevens uit deze NEI-rapportage.

4.5 Veronderstellingen over treinen

Het energiegebruik en de emissies per zitplaatskilometer van de verschillende treintypen bij de verschillende operationele omstandigheden uit Tabel 1 zijn berekend met het model PRORIN (Gijsen, in voorbereiding). De projectorganisatie Zuiderzeelijn heeft gedetailleerde berekeningen uitgevoerd van het energiegebruik per zitplaatskilometer van de snelste treinen in de verschillende projectalternatieven. De resultaten van deze berekeningen zijn door het NEI gebruikt in de KBA (zie NEI, 2000b). Het RIVM heeft echter geen inzicht kunnen verkrijgen in de achtergronden bij de berekeningen en is daardoor niet in staat de (verschillen in) uitkomsten te analyseren. Bijlage 4 besteedt aandacht aan de verschillen tussen NEI en RIVM voor wat betreft emissiefactoren van verschillende treintypen.

Het model PRORIN berekent vanuit technische, operationele en logistieke karakteristieken het energiegebruik aan het wiel. Vervolgens wordt de benodigde hoeveelheid elektriciteit aan de bovenleiding van de trein berekend waarna aan de hand van de gemiddelde rendementen van elektriciteitsdistributie en -productie het energiegebruik van de elektriciteitscentrale wordt bepaald.

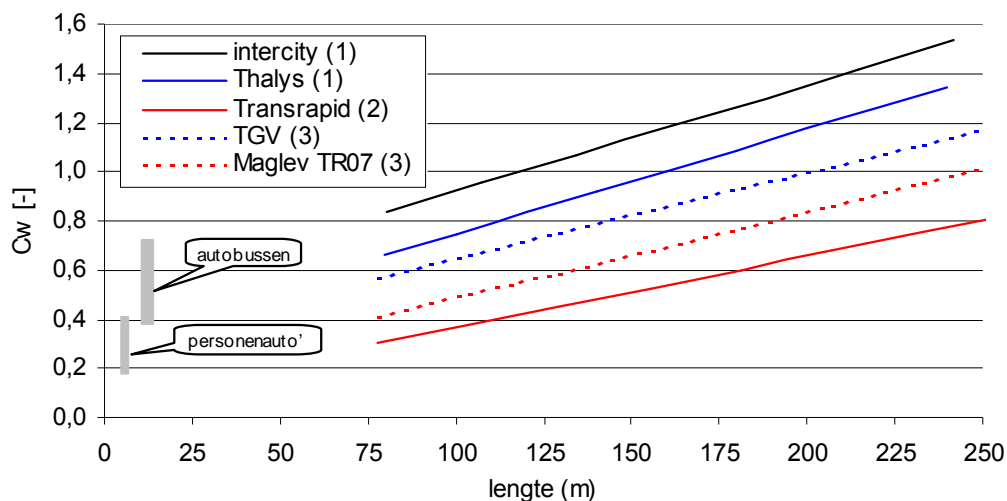
De technische eigenschappen van een magneetzwefstrein zijn gelijk gesteld aan die van de Transrapid. Deze rijdt momenteel op een proefbaan in Duitsland. De technische eigenschappen van de Transrapid zijn overgenomen uit een studie door Mnich et al. (1998), die zich baseren op gegevens van Siemens AG. Siemens is één van de participanten in het Transrapid consortium dat zich bezighoudt met de ontwikkeling en marketing van Transrapid magneetzwefstrein. De C_w -waarde van de Transrapid, ookwel luchtweerstandscoefficiënt genoemd, bepaald samen met het frontale oppervlak A de luchtweerstand⁴. Volgens de Siemens AG bedraagt de C_w -waarde van de Transrapid ongeveer 0,4 bij een treinlengte van circa 100 meter en ongeveer 0,7 bij een treinlengte gelijk aan die van de HSL (circa 200 meter). Bij een gelijke lengte is de C_w -waarde van een Transrapid 40 tot 50% lager dan die van een HSL (Dijkhuizen, 2000)(Gijsen, in voorbereiding). Vermoedelijk is het ontbreken van wielstellen en stroomafnemer bij de Transrapid de oorzaak voor de relatief lage luchtweerstand. Desalniettemin lijkt door door Transrapid gegeven luchtweerstand van 0,4 bij een treinlengte van 100 meter aan de lage kant, mede gezien het feit dat de gemiddelde personenauto op dit moment een C_w -waarde heeft variërend tussen 0,2 en 0,4 en autobussen tussen 0,4 en 0,7. Een studie door Hopkins et al. (1999) komt tot een hogere luchtweerstandscoefficiënt voor een Transrapid dan Siemens AG, namelijk circa 0,5 bij een treinlengte van 100 meter. De luchtweerstandscoefficiënt van de Franse hogesnelheidstrein TGV is volgens Hopkins et al. echter circa 15% lager de luchtweerstandscoefficiënt van een hogesnelheidstrein volgens Lukaszewicz (1995). Figuur 3 geeft de C_w -waarden van verschillende treintypen bij variërende treinlengte evenals de C_w -waarde van personenauto's en autobussen.

In de berekeningen in dit rapport wordt voor de Transrapid uitgegaan van de gegevens van Siemens en voor de hogesnelheidstrein van de gegevens van Lukaszewicz (1995). In de gevoeligheidsanalyse van paragraaf 6.4 wordt voor de Transrapid ook de hogere C_w -waarde van Hopkins et al. (1999) gebruikt.

Voor de vergelijking tussen MZ en HSL wordt uitgegaan van een gelijk aantal zitplaatsen. Zoals te zien in Tabel 2 is het aantal zitplaatsen per treinlengte bij de Transrapid circa 2 maal zo groot als bij de Thalys. Voor een deel wordt dit verklaard doordat per rij 6 stoelen aanwezig

⁴ De C_w -waarde van een voorwerp met hetzelfde frontale oppervlak (oppervlak loodrecht op de windrichting) met lengte 0 heeft een C_w -waarde gelijk aan 1.

zijn en voor een ander deel door het ontbreken van motorwagens. Er is iets voor te zeggen om niet uit te gaan van een gelijk aantal zitplaatsen maar van een gelijk binnenoppervlak om op die manier verschillen in treincomfort (oppervlak per zitplaats) te elimineren. Aangezien het oppervlak per zitplaats van een Transrapid circa 20% lager is dan die van een Thalys of TGV (zie Tabel 2) zou de Transrapid in de vergelijking circa 20% langer moeten worden genomen waardoor ook de luchtweerstandscoefficiënt met ongeveer 20% zou toenemen.



Figuur 3 Verband tussen treinlengte en C_w -waarde voor verschillende treintypen (1 = Lukaszewicz, 1995; 2 = Mních et al., 1998; 3 = Hopkins et al., 1999)

Tabel 2 geeft de veronderstellingen voor de technische, operationele en logistieke eigenschappen van de verschillende treintypen. Alle treinalternatieven hebben ongeveer een gelijk aantal zitplaatsen. Het gemiddeld aantal zitplaatsen van een intercity is overgenomen uit Gijsen (in voorbereiding) en komt overeen met de jaargemiddelde waarde die de NS opgeeft. De technische eigenschappen van sneltreinen zijn gelijk gesteld aan die van intercity's (IC) omdat sneltreindiensten voor een groot deel met intercitymaterieel worden uitgevoerd. De uitrol- en/of remtijd voorafgaand aan een stop bedraagt voor een sneltrein en intercity circa 2 minuten. Verondersteld is dat de uitrol/remtijd lineair toeneemt met de maximum snelheid zodat de eindvertraging voor alle treintypen gelijk is (ca. $0,3 \text{ m/s}^2$). Voor de berekeningen aan de IC+ en de HSL zijn de technische eigenschappen van een Thalys als uitgangspunt genomen. Er is derhalve impliciet verondersteld dat een IC+ en een HSL bij gelijke operationele omstandigheden (snelheid, afstand tussen stops) niet van elkaar verschillen voor wat betreft energiegebruik per trein- en zitplaatskilometer.

Om het energiegebruik van de Transrapid te kunnen berekenen is het model PRORIN uitgebreid met een berekening van het energiegebruik voor het laten zweven van de trein (energievoorziening boordnet). De formules voor deze berekening zijn afkomstig uit Mních et al. (1998). Het energiegebruik voor het zweven neemt af naarmate de snelheid toeneemt. Figuur 4 toont het aandeel van het boordnet-energie gebruik in het totale primaire energiegebruik van een Transrapid (inclusief energieverliezen elektriciteitsproductie en-distributie).

Het elektriciteitsverbruik aan de bovenleiding van alle treintypen is in de zichtjaren gelijk verondersteld aan dat in 1998, ofwel: verondersteld is dat er de komende decennia geen technologische ontwikkelingen plaatsvinden die het elektriciteitsverbruik van treinen doen

verlagen. Er zijn wel ontwikkelingen in de elektriciteitsproductie verondersteld. Zie daarvoor paragraaf 4.8.

Tabel 2 Technische en operationele eigenschappen van treintypen (gemiddelden)

		IC/ST	IC+	HSL	MZ
gewicht	1000 kg	288	385	385	198
lengte	meter	161	200	200	104
C_w	-	1,18	1,17	1,17	0,38
A	m ²	12,5	11,8	11,8	15,5
$C_w * A$ ^{a)}	-	15	14	14	6
zitplaatsen	-	366	377	377	336
vloeroppervlak per zitplaats ^{b)}	m ²	1,3	1,4	1,4	1,1
maximum snelheid	km/h	140	200	260	400
tijd tot max. snelheid ^{c)}	min	2	3	4	4
uitrol en/of remtijd ^{d)}	min	2	3	4	3
afstand tussen stops ^{e)}	km	18/42	42/47	47/53	27/47

a) maat voor de luchtweerstand, ookwel luchtweerstandsoppervlak genoemd

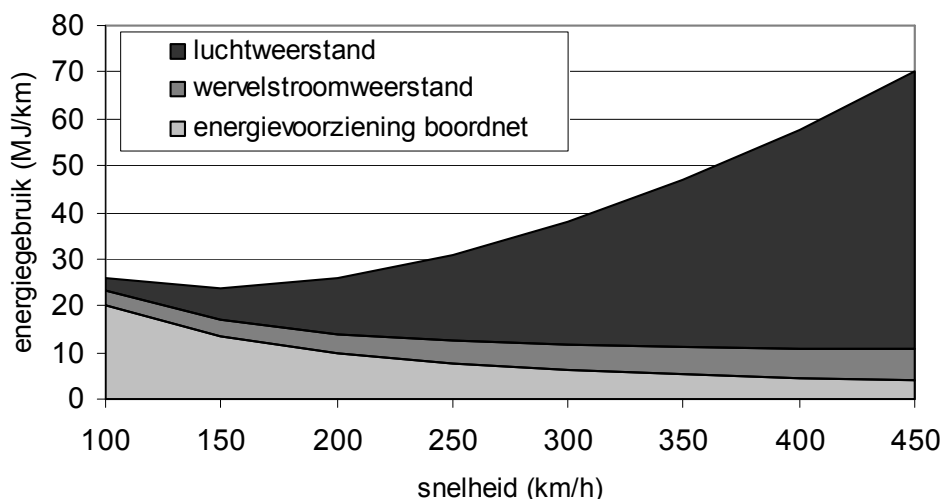
b) betreft een fictieve waarde; berekend door het buitenoppervlak (lengte * breedte) te delen door het aantal zitplaatsen, het werkelijke oppervlak per zitplaats is kleiner. Bij de HSL en de IC+ is de lengte vermindert met de lengte van twee motorwagens waar zich geen zitplaatsen in bevinden.

c) De magneetzweeftrein kan sneller accelereren doordat er geen sprake is van wielslip die de maximaal haalbare acceleratie bij conventionele treinen beperkt. De tijden voor het versnellen van IC+, HSL en MZ zijn afkomstig uit Mnich et al. (1998), de versnellingsstijd voor de conventionele trein is gebaseerd op eigen waarnemingen.

d) Op basis van eigen waarnemingen is vastgesteld dat sneltreinen (ST) en intercity's (IC) circa 2 minuten voor de stop beginnen met uitrollen en/of remmen. De gemiddelde eindvertraging is daarmee 0,32 m/s² en is voor alle andere treinen op rails constant verondersteld. Voor MZ een hogere remvertraging van 0,7 m/s² verondersteld (Mnich et al., 1998)

e) zie Tabel 1

bronnen: Gijsen (in voorbereiding), Lukaszewicz (1995), Mnich et al. (1998), Transrapid (2001)



Figuur 4 Onderverdeling van het primair energiegebruik⁵ per treinkilometer van een Transrapid (4 secties) naar luchtweerstand, wervelstroomweerstand en energievoorziening boordnet (= zweefenergie) bij constante snelheid (Mnich et al. 1998)

⁵ Inclusief elektriciteitsproductie en -distributie

Daarmee lijkt te worden voorbijgegaan aan de mogelijke terugwinning van remenergie dat met op trajecten met veel stops veel energiebesparing kan opleveren. In principe geldt dat hoe sneller kan worden afgeremd hoe meer energie er kan worden teruggewonnen. Hoe korter de remtijd hoe lager immers de energie die tijdens het remmen verloren gaat aan luchtweerstand en rolweerstand. Bij de terugwinning werken de elektromotoren als generatoren die tijdens het remmen worden aangedreven door de wielen en op die manier energie opwekken. Deze energie kan vervolgens worden teruggeleverd aan de bovenleiding kan dan door andere treinen worden gebruikt. Deze technologie zou het elektriciteitsverbruik van treinen in theorie tot maximaal 50% kunnen verlagen indien de teruggeleverde energie volledig wordt gebruikt door andere treinen⁶. Bij het huidige spanningsniveau van de bovenleiding (1500 Volt gelijkspanning) blijken de mogelijkheden voor terugwinning echter beperkt (Gijsen, in voorbereiding).

Redenen hiervoor zijn dat:

1. een teruglevering van energie al snel leidt tot een onacceptabel hoog spanningsniveau op de bovenleiding³;
2. de teruggeleverde energie alleen kan worden gebruikt door een zich dicht in de buurt bevindende trein. Teruglevering aan het elektriciteitsnet (zodat andere elektriciteitsgebruikers daarvan gebruik kunnen maken) is niet mogelijk doordat het spanningsniveau van het net zeer veel hoger is dan die van de bovenleiding (Gijsen, in voorbereiding);
3. in het geval van treinen op rails komen alleen de aangedreven wielen in aanmerking voor energierugwinning. Aangezien bij bijvoorbeeld een intercity trein slechts circa 30% van het aantal wielen aangedreven wordt (NS, 1998) kan met alleen de elektromotoren maar 30% van de maximale remkracht worden opgebracht. Meer remkracht zou immers leiden tot wielslip. Omdat de remvertraging door de elektrogeneratoren te gering is moet dus worden bijgeremd met de wielremmen hetgeen een 'vernietiging' van energie inhoudt;
4. er is niet altijd een andere trein aanwezig zodat de energie niet altijd kan worden teruggeleverd maar soms in weerstanden moet worden omgezet in warmte (= energieverlies).

Uit een studie door Railned (1996) blijkt dat door terugwinning van remenergie bij het huidige spanningsniveau van 1500 Volt maximaal circa 6% energiebesparing kan worden gerealiseerd.

Een bovenleidingspanning van 25 kV wisselspanning, waar voor de Betuweroute en de hogesnelheidslijnen vermoedelijk gebruik van zal worden gemaakt, vergroot de potentie van energierugwinning. Volgens Railned (1996) kan bij stoptreinen een besparing tot maximaal 40% worden gerealiseerd en bij intercity's (grotere afstand tussen haltes) maximaal 20%. Dit komt omdat in dit geval ook veel verder verwijderde treinen van de teruggeleverde energie gebruik kunnen maken en het eerder genoemde bezwaar van een te hoog spanningsniveau niet kan voorkomen⁷. Wel treedt er extra energieverlies op doordat de energie moet worden omgezet in een transformator die de elektriciteit transformeert het spanningsniveau van de trein naar die van de bovenleiding.

Bij magneettreinen die ook gebruik maken van hoog-voltage wisselspanning kan theoretisch wel 100% van de maximale remkracht omzetten in energie doordat het probleem van de wrijving tussen wiel en rail niet speelt. Uit simulaties door Mnich et al. (1998) blijkt dat het effect van terugwinning van remenergie bij de Transrapid op het traject Hamburg-Berlijn 6 tot

⁶ Schriftelijke informatie van P. Lukaszewicz van KTH te Stockholm, Zweden (1-3-2001) en W.-D. Weigel van Siemens AG te Erlangen, Duitsland (28-2-2001).

⁷ De onderstations (transformatoren die langs het spoor staan en de netspanning transformeren naar de bovenleidingspanning) staan verder uit elkaar omdat de energieverliezen per meter bovenleiding bij 25 kV wisselspanning lager zijn dan bij 1500 V gelijkspanning.

8% bedraagt afhankelijk van de afstand tussen stops (75 tot 300 km). Uit berekeningen met PRORIN (Gijzen, in voorbereiding) blijkt dat de magneetzweeftrein op kortere afstanden (ca. 25 km) tot wel 35% energie kan besparen door het terugwinnen van remenergie⁸. Op de een afstand van 50 km is de besparing circa 25%. Hierbij is verondersteld dat de terugleverende trein in alle gevallen de energie 'kwijt kan' aan een andere trein en in de andere gevallen de energie moet 'vernietigen' in weerstanden. Het is echter onzeker of de teruggeleverde energie in de praktijk ook daadwerkelijk door andere treinen kan worden gebruikt. Daarom is in de onderhavige studie verondersteld dat de teruglevering van van remenergie geen significant effect heeft op het energiegebruik van magneetzweeftreinen. In de gevoeligheidsanalyse in paragraaf 6.4. wordt wel rekening gehouden met energierugwinning bij magneetzweeftreinen.

4.6 Veronderstellingen over bezettingsgraden van treinen

De projectorganisatie Zuiderzeelijn heeft gedetailleerde berekeningen uitgevoerd van de bezettingsgraden van de snelste treinen in de verschillende projectalternatieven. De resultaten van deze berekeningen kwamen voor het NEI beschikbaar nadat het NEI de berekeningen voor de KBA had uitgevoerd. Het NEI is uitgegaan van een bezettingsgraad van 70% voor alle treintypen in zowel het nulalternatief als in de zes projectalternatieven. Aangezien de berekeningsresultaten van de projectorganisatie Zuiderzeelijn niet voor het RIVM beschikbaar waren, heeft het RIVM op basis van de Vervoerwaardestudie (NEI, 2000a) indicatieve berekeningen van de bezettingsgraden uitgevoerd. Voordat in deze paragraaf aandacht wordt besteed aan deze berekeningen wordt allereerst een algemene beschouwing gegeven van de determinanten die de jaargemiddelde bezettingsgraad van treinen op een bepaald traject bepalen.

4.6.1 Algemene beschouwing over bezettingsgraad

De bezettingsgraad van een trein wordt in het algemeen bepaald door de mate waarin het vervoersaanbod (aantal stoelen) de variaties in de vervoersvraag (reizigersaanbod) volgt. De variatie in de vervoersvraag treedt zowel ruimtelijk op als in de tijd. Allereerst wordt ingegaan op de ruimtelijke variatie.

Ruimtelijke variatie

Met ruimtelijke variatie wordt de verhouding tussen het aantal reizigers op het drukste en rustigste deel van het traject bedoeld. Dit wordt ookwel de asymmetrie van de vervoersstroom genoemd. Hoe groter deze asymmetrie, hoe lager de trajectgemiddelde bezettingsgraad zal zijn. Figuur 4 geeft voor een traject met een asymmetrische vervoersstroom schematisch de verandering van de vervoersvraag (aantal reizigers) weer evenals de verandering van het vervoersaanbod (aantal treinstellen). Door het vervoersaanbod gedurende het traject te variëren (aan- en afkoppelen van treinstellen) zal de trajectgemiddelde bezettingsgraad toenemen. Een bezettingsgraad van exact 100% kan echter om meerdere redenen zelden worden bereikt, omdat:

⁸ Hierbij is verondersteld dat van de totale teruggeleverde kinetische energie (aan de wielen van de terugleverende trein) ca. 70% aan de wielen van de afnemende trein beschikbaar komt (conform schriftelijke mededeling van W.-D. Weigel van Siemens, 28-2-2001). In deze 70% zijn de energieverliezen verdisconteerd van 1) de omzetting in de generator naar elektrische energie (ca. 85%), 2) de distributie van elektriciteit van terugleverende naar afnemende trein (ca. 90%) en 3) van de omzetting van elektriciteit aan de bovenleiding naar energie aan de wielen van afnemende trein (ca. 85%).

1. het vervoersaanbod (zitplaatsen) op het drukste deel van het traject nooit precies gelijk kan zijn aan de vervoersvraag (reizigers). Dit komt omdat het variëren van het vervoersaanbod in stappen van één treinstel gebeurt. Stel dat een vervoerder met drie treinstellen rijdt dan zal de bezettingsgraad op het drukste deel van het traject gemiddeld maximaal 83% kunnen zijn. In het (voor de vervoerder) slechtste geval bedraagt het aantal reizigers 1 meer dan het aantal zitplaatsen in twee treinstellen maar moet de vervoerder met drie treinstellen blijven rijden⁹. De bezettingsgraad is in dat geval circa 67%. In het voor de vervoerder optimale geval zijn de zitplaatsen van alle drie de treinstellen voor 100% bezet. De werkelijkheid ligt vermoedelijk in het midden (83%). Hoe kleiner het aantal treinstellen van de trein op het drukste deel van het traject, hoe lager de maximaal haalbare gemiddelde bezettingsgraad op dit deel van het traject (zie trajectdeel 1 in figuur 4);
2. het afkoppelen van treinstellen vindt idealiter pas plaats indien na afkoppeling de bezettingsgraad op het navolgende trajectdeel niet hoger is dan 100% (op station C en F in figuur 4). In het voorbeeld van figuur 4 zal na afkoppeling op station C de bezettingsgraad op trajectdeel 3 en 4 inliggen tussen de 100% en 50% (gemiddeld 75%). Na afkoppeling op station F zal de bezettingsgraad op trajectdeel 6 en 7 inliggen tussen 100% en 0% (gemiddeld 50%);
3. om logistieke redenen worden treinstellen niet op alle tussenliggende stations afgekoppeld omdat daar bijvoorbeeld geen tijd en/of ruimte voor is. In het voorbeeld van figuur 4 wordt er pas bij station F een tweede treinstel afgekoppeld. Afkoppeling bij station E zou uit oogpunt van vraag/aanbod verhoudingen optimaler zijn;
4. het station waar heengaande treinen een treinstel kunnen afkoppelen (omdat het overschot aan zitplaatsen groot genoeg is) komt niet altijd overeen met het station waar teruggaande treinen treinstellen moeten aankoppelen (omdat op het volgende trajectdeel extra zitplaatsen nodig zijn). Dit komt omdat de vervoerstromen heen en terug qua kwantiteit van elkaar verschillen of omdat de asymmetrie van de vervoerstromen heen en terug verschilt. Daarnaast geldt voor langere trajecten dat een trein in de spits vertrekt van het beginstation en na de spits op het eindstation arriveert, of andersom. Hierdoor moet de plaats van aan- en afkoppelen idealiter ook in de tijd variëren. Deze aspecten verlagen de maximaal haalbare trajectgemiddelde bezettingsgraad.

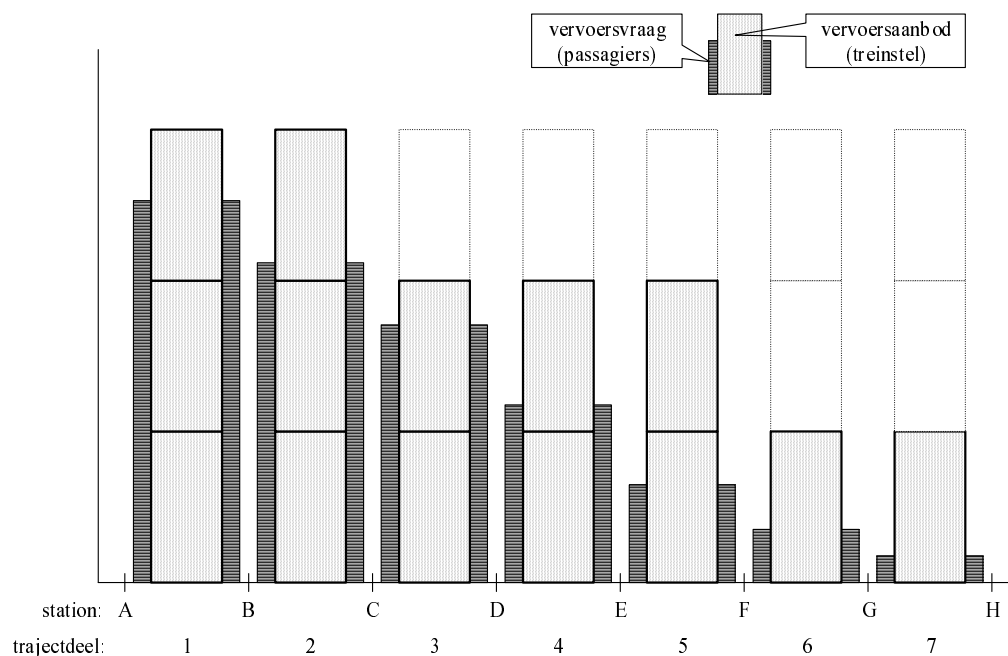
Variatie in de tijd

Naast variatie in de vervoersvraag over de verschillende delen van een traject varieert de vervoersvraag in de tijd. Een voorbeeld van deze variatie is het verschil tussen spits en dal. In de spits is het reizigersaanbod in het algemeen groter dan in het dal. Om de bezettingsgraad in het dal zo hoog mogelijk te laten zijn rijden er in het dal kortere treinen dan in de spits. Ook in dit geval geldt wederom dat het voor een vervoerder niet mogelijk is het vervoersaanbod volledig af te stemmen op de in de tijd variërende vraag. In veel gevallen is het aantal reizigers in de daluren lager dan het aantal zitplaatsen van de kleinste mogelijke trein. Daarnaast moet de vervoerder na afloop van de spits de inmiddels overbodige treinstellen vóór de volgende spits weer op de juiste plaats zien te krijgen hetgeen betekent dat treinen in het dal soms een overcapaciteit hebben.

Naast de verdeling van de vervoerstromen over de dag speelt de verdeling van de vervoerstromen over de werkdagen in de week en de verdeling over de maanden in het jaar (door o.a. weersinvloeden) een rol in de uiteindelijke jaargemiddelde bezettingsgraad op een traject. Aangenomen dat drukste werkdag van de drukste maand van het jaar bepalend is voor de dienstregeling, is de bezettingsgraad op alle andere dagen in het jaar dus lager. Hoeveel lager hangt af van het verschil tussen de vervoersvraag op de drukste dag van het jaar en de

⁹ ervan uitgaande dat de vervoerder alle reizigers een zitplaats wil bieden

gemiddelde vervoersvraag in een jaar. Verder speelt de groei van het reizigersvervoer op de langere termijn een rol in de bezettingsgraad. Wanneer de vervoerder een hoge groei voorziet zou het aanbod de vraag in de eerste jaren kunnen overtreffen met name vanuit de wens om niet ieder jaar de dienstregeling te hoeven veranderen.



Figuur 5 Schematische weergave van variatie in vervoersvraag en -aanbod op een traject met een asymmetrische vervoersvraag

Een ander belangrijk aspect betreft de noodzaak tot reservering. Treinen waarvoor vooraf moet worden gereserveerd hebben in het algemeen een hogere bezettingsgraad dan treinen waarvoor niet hoeft te worden gereserveerd. Zo blijkt de bezettingsgraad van de TGV sud-est 72% te bedragen (Marlet en Van Woerkens, 2000) terwijl de bezettingsgraad van de Nederlandse intercitytreinen circa 45% bedraagt (Van den Brink en Van Wee, 1997). Door de reservering wordt de spits als het ware over een groter deel van de dag worden uitgesmeerd en kan de zitplaatscapaciteit van de trein lager zijn dan in het geval er geen reservering noodzakelijk is. Bovendien kan de vervoerder het vervoersaanbod zo goed mogelijk aanpassen aan de vraag.

4.6.2 Bezettingsgraad toegepast in RIVM-berekeningen

Het vervoer tussen Schiphol en het noorden is zeer asymmetrisch: de vervoersstroom op het zuidelijke deel van de verbinding is aanzienlijk 'dikker' dan op het noordelijke deel. Zo reizen er in het nulalternatief in 2010 over de Hanzelijn tussen Groningen en Assen gemiddeld 65% minder reizigers dan tussen Schiphol en Almere (NEI, 2000a). Verondersteld dat deze asymmetrie in de spits identiek is, kan op basis van de Vervoerwaarde Studie van het NEI worden berekend dat de bezettingsgraad in de spits van de intercity's in het nulalternatief niet hoger kan zijn dan circa 60%. In deze berekening is verondersteld dat tussen Schiphol en het noorden onderweg geen treinstellen worden afgekoppeld en dat op het drukste deel van het traject (tussen Amsterdam-WTC en Almere) de zitplaatsen van de trein altijd voor 100% bezet zijn. Dit is echter een theoretische situatie: zoals in de vorige paragraaf reeds is aangegeven zal deze bezettingsgraad in het algemeen niet 100% kunnen zijn wanneer ervan wordt uitgegaan

dat de vervoerder aan alle reizigers ten alle tijde een zitplaats wil bieden. Voor een intercity met 9 bakken (drie treinstellen van drie bakken), hetgeen een veel voorkomende treinconfiguratie is in de spits, is deze maximale bezettingsgraad 94%¹⁰. De gemiddelde bezettingsgraad in de spits op het gehele traject Schiphol-Groningen wordt hiermee geen 63% maar 59%¹¹.

Voor de overige projectalternatieven zijn voor de snelste vervoerwijzen ook op bovenstaande wijze de maximaal haalbare trajectgemiddelde bezettingsgraden in de spits berekend. Daarbij is gecorrigeerd voor het aantal zitplaatsen per wagon. Zo heeft de magneetzweeftrein per wagon circa 50% meer zitplaatsen dan een conventionele intercity. Een HSL heeft daarentegen circa 35% minder zitplaatsen per wagon in vergelijking tot een conventionele intercity. Voor de berekeningen is daarom verondersteld dat op het drukste deel van het traject de magneetzweeftrein uit maar 6 wagons in plaats van 9 bestaat¹². De HSL bestaat op het drukste deel uit 14 wagons. Tabel 3 geeft de gebruikte gegevens.

Tabel 3 Verondersteld gemiddeld aantal zitplaatsen per wagon voor verschillende treintypen op het drukste deel van het traject in de spits

	aantal wagons	aantal zitplaatsen	treinlengte	zitplaatsen per meter	zitplaatsen per wagon
intercity conventioneel ('Koploper 3')	9	549	242 m	1,9	61
hogesnelheidstrein ('Thalys')	14	566	280 m	2,0	40
magneetzweeftrein ('Transrapid')	6	540	153 m	3,5	90

bronnen: Gijsen (in voorbereiding), SNCF (2001), Transrapid (2001), Mnich et al. (1998)

De maximaal haalbare bezettingsgraad van de magneetzweeftrein op het drukste deel van het traject zal hierdoor geen 94% bedragen maar circa 92%. Voor de HSL bedraagt de maximaal haalbare bezettingsgraad geen 94% maar 96%. Tabel 4 geeft de resultaten.

Het feit dat de vervoerstream in de daluren kleiner is dan in de spits zal leiden tot een lagere bezettingsgraad dan de hiervoor berekende waarde van 59%. Treinen zitten namelijk in het algemeen buiten de spits, zelfs op het drukste deel van het traject, niet vol ook al zijn de treinen buiten de spits korter dan in de spits. De NS geeft voor het jaar 1995 een bezettingsgraad van 52% in de spits (van alle treinen tezamen) en van 36% in het dal. De daggemiddelde bezettingsgraad lag in dat jaar op 38% (Van den Brink en Van Wee, 1997). Het hiervoor berekende theoretische maximum kan worden gezien als de bezettingsgraad in de spits. Er is immers verondersteld dat op een deel van het traject de bezettingsgraad de 100% bereikt. Wanneer wordt verondersteld dat de verhouding tussen de daggemiddelde bezettingsgraad (38%) en die in de spits (52%) ook voor alle treintypen zal gelden op het traject tussen Schiphol en het noorden, kan de daggemiddelde bezettingsgraad in de verschillende projectalternatieven indicatief worden vastgesteld (zie Tabel 4).

¹⁰ De NS heeft zowel driebaks- als vierbakstreinstellen zodat een configuratie met acht bakken mogelijk is.

¹¹ Wanneer we zouden zijn uitgegaan van een trein bestaande uit 6 bakken in de spits dan zou de maximale bezettingsgraad 57% hebben bedragen.

¹² Uit NEI (2000a) blijkt dat de baanvakbelasting (aantal reizigers per uur) in de spits in het projectalternatief ZZL-MZM op het drukste trajectdeel (WTC-Almere) 3.500 bedraagt in EC-2020. Aangezien er 6 treinen per uur rijden komt dit overeen met circa 580 reizigers per trein ofwel ruim 6 wagons.

Tabel 4 Bezettingsgraden in verschillende alternatieven; eigen berekening en waarden zoals toegepast in de kosten-batenanalyse van NEI

alternatief	type trein	trajectgemiddelde bezettingsgraad	
		spits ^{a)}	etmaal ^{b)} (na correctie spits-dal)
HZL-Ref	intercity	59%	42%
HZL-IC+	IC+	55%	40%
HZL-HSL	HSL	70%	50%
ZZL-IC+	IC+	56%	40%
ZZL-HSL	HSL	68%	48%
ZZL-MZB	zweeftrein	61%	44%
ZZL-MZM	zweeftrein	65%	46%

a) verondersteld is dat de bezettingsgraad plaatselijk niet groter zal zijn dan 100% en dat onderweg geen treinstellen worden afgekoppeld.

b) maximum in de spits vermenigvuldigd met het verschil tussen de daggemiddelde bezettingsgraad (38%) en de bezettingsgraad in de spits (52%) voor alle treinen in 1995 (Van den Brink en Van Wee, 1997)

In de in Tabel 4 weergegeven bezettingsgraad (na correctie voor spits-dal) is echter nog geen rekening gehouden met de niet-homogene verdeling van reizigers over een werkweek en over het jaar. De bezettingsgraden in Tabel 4 gelden voor de drukste werkdag in de drukste maand van het jaar, die immers bepalend is voor de dienstregeling. Op alle andere dagen is het reizigeraanbod in het algemeen lager¹³ en, ervan uitgaande dat de dienstregeling en de treinlengte op deze minder drukke dagen niet wordt aangepast, ook de bezettingsgraad. De Nederlandse Spoorwegen bleek hierover geen informatie te verstrekken. De door het RIVM gehanteerde bezettingsgraden vormen om voorgaande reden een bovengrens.

Volgens de NS bedroeg de jaargemiddelde bezettingsgraad van alle Nederlandse (conventionele) treinen op het Nederlandse spoortracé in 1999 circa 31% (NS, 2000). Uit Merlet en Van Woerkens (2000) blijkt verder dat de bezettingsgraden van Europese hogesnelrelijnen tussen de 50 en ruim 72% inliggen, waarbij nog wordt opgemerkt dat het hier om treinen met zitplaatsreservering gaat.

4.7 Veronderstellingen over personenauto's en autobussen

Het energiegebruik en de emissies per voertuigkilometer van personenauto en bussen in 2010, 2020 en 2030 is afkomstig uit de MV5 (Feimann et al., 2000). Uitgegaan is van gewogen gemiddelde waarden over alle wegtypen. In de MV5 is verondersteld dat de gemiddelde personenauto tussen 2000 en 2020 20 tot 25% zuiniger wordt door enerzijds autonome technologische ontwikkelingen en anderzijds door het effect van het convenant dat de Europese Commissie heeft gesloten met de koepelorganisaties van Europese, Koreaanse en Japanse automobielfabrikanten (Feimann et al., 2000). Na 2020 wordt, door het vooralsnog ontbreken van verdergaande maatregelen, geen verdere daling van het brandstofverbruik door personenauto's verwacht. Door de aanscherping van emissienormen emitteert een gemiddelde personenauto in het park in 2020 naar verwachting circa 85% minder NO_x per voertuigkilometer dan in 2000. De daling van de SO₂-emissie per voertuigkilometer bedraagt in dezelfde periode naar verwachting circa 75%. Deze daling is voor een deel het gevolg van de verlaging van het brandstofverbruik en voor een ander deel het gevolg van de verlaging van

¹³ Het NEI gaat ervan uit dat op weekend- en feestdagen het aantal reizigerkilometers 70% lager is dan op werkdagen (NEI, 2000b). Op basis van het Onderzoek VerplaatsingsGedrag (OVG) van het CBS (1999) blijkt dat het aantal reizigerkilometers op weekenddagen in 1999 circa 50% lager was dan op werkdagen.

het wettelijk toegestane maximum zwavelgehalte van benzine en diesel (zie Feimann et al., 2000). Verondersteld is verder dat personenauto's gemiddeld 1,6 inzittenden hebben (Tabel 5).

Voor autobussen is in de MV5 verondersteld dat eventuele verbeteringen van het brandstofverbruik tussen 2000 en 2030 moeten worden opgeofferd aan een verlaging van de uitlaatgasemissies. De NO_x-emissie per kilometer door autobussen in het park neemt tussen 2000 en 2020 door Europese emissienormen in het EC-scenario met 70% af en in het GC-scenario met 50% (zie Feimann et al., 2000). De SO₂-emissie per autobuskilometer neemt, om dezelfde reden als bij personenauto's, met 85% af tussen 2000 en 2030. De bezetting van autobussen is gelijk gesteld aan die in het streekvervoer in 1995, namelijk 12 reizigers (Van den Brink en Van Wee, 1997) (zie Tabel 5).

Tabel 5 Veronderstellingen personenauto's en autobussen

		EC-2020		EC-2030		GC-2020		GC-2030	
		auto	autobus	auto	autobus	auto	autobus	auto	autobus
energie	MJ/km	1,91	11,91	1,92	11,91	2,12	11,99	2,13	11,99
CO ₂ -emissie	g/km	137	873	137	873	153	879	153	879
NO _x -emissie	g/km	0,11	3,22	0,11	3,22	0,12	5,39	0,11	5,39
SO ₂ -emissie	mg/km	4	28	4	28	4	28	4	28
bezetting	aantal pass.	1,6	12	1,6	12	1,6	12	1,6	12
energie	MJ/rkm	1,2	1,0	1,2	1,0	1,3	1,0	1,3	1,0
CO ₂ -emissie	g/rkm	86	73	86	73	95	73	96	73
NO _x -emissie	g/rkm	0,07	0,27	0,07	0,27	0,07	0,45	0,07	0,45
SO ₂ -emissie	mg/rkm	2,4	2,3	2,3	2,3	2,7	2,3	2,6	2,3

bron: Feimann et al. (2000)

4.8 Veronderstellingen over elektriciteitsproductie

Naast veronderstellingen over de eigenschappen van treinen en de wijze van gebruik, zijn voor een berekening van energiegebruik en emissies door elektrische treinen veronderstellingen nodig over de wijze van elektriciteitsproductie. Tabel 6 geeft de gemiddelde emissies per hoeveelheid door de centrale geproduceerde elektriciteit in 1998, 2010, 2020 en 2030. De emissies per hoeveelheid aan de bovenleiding afgenomen elektriciteit is circa 15% hoger als gevolg van energieverliezen door distributie (zie Gijsen, in voorbereiding).

Tabel 6 Emissies per geleverde hoeveelheid door de centrale geproduceerde elektriciteit.

		1998	2010		2020		2030	
			EC	GC	EC	GC	EC	GC
CO ₂	kg/kWh	0,53	0,30	0,36	0,27	0,29	0,25	0,27
SO ₂	g/kWh	0,18	0,07	0,09	0,05	0,03	0,02	0,01
NO _x	g/kWh	0,67	0,25	0,27	0,20	0,17	0,17	0,16

bron: Gijsen en Spakman (2001)

5 Factoren energiegebruik en emissies per variant

Dit hoofdstuk geeft de resultaten van onze berekeningen voor het energiegebruik en de emissies per reizigerkilometer van verschillende treintypen in verschillende projectalternatieven. Allereerst wordt de situatie in 2020 gegeven, daarna volgt een doorkijkje tot 2030. De laatste paragraaf van dit hoofdstuk is gewijd aan de onzekerheden in de gerapporteerde energie- en emissiefactoren. Met behulp van enkele gevoeligheidsanalyses wordt een indicatie van deze onzekerheden gegeven.

5.1 Situatie in 2020

Voor alle treintypen uit Tabel 2 is het energiegebruik aan de bovenleiding berekend. Dit energiegebruik aan de bovenleiding onafhankelijk van zichtjaar en scenario verondersteld. Wel is het energiegebruik afhankelijk van de gemiddelde afstand tussen twee stops en deze verschilt tussen de projectalternatieven. Tabel 7 geeft de resultaten. Bijlage 5 geeft het primaire energiegebruik (inclusief elektriciteitsproductie en –distributie) bij andere maximum snelheden en andere afstanden tussen stops.

Tabel 7 *Energiegebruik en emissies per reizigerkilometer voor de verschillende trein-alternatieven in 2020, vergelijking met uitgangpunten in KBA (NEI, 2000b)*

trace: treintype:		HZL ST ^{a)}	HZL IC ^{a)}	HZL IC+	HZL HSL	ZZL IC+	ZZL HSL	ZZL MZ snel	ZZL MZ stop
in projectalternatief:		nul	nul	1	2	3	4	5	5, 6 ^{d)}
gemid. afstand tussen stops	km	18	42	42	53	47	47	47	27
maximum snelheid	km/h	140	140	200	260	200	260	400	400
RIVM: EC-2020									
electriciteit (bovenleiding)	Wh/zkm ^{b)}	27	21	39	55	38	56	65	74
electriciteit (bovenleiding)	Wh/rkm ^{c)}	64	50	97	110	93	118	149	159
energie (E-centrale)	MJ/rkm	0,44	0,34	0,68	0,76	0,64	0,82	1,04	1,11
CO ₂ -emissie	g/rkm	20	15	30	34	29	36	46	49
NO _x -emissie	mg/rkm	15	12	23	26	22	28	35	38
SO ₂ -emissie	mg/rkm	3	3	5	6	5	6	8	9
RIVM: GC-2020									
electriciteit (bovenleiding)	Wh/zkm ^{b)}	27	21	39	55	38	56	65	74
electriciteit (bovenleiding)	Wh/rkm ^{c)}	64	50	97	110	93	118	149	159
energie (E-centrale)	MJ/rkm	0,42	0,33	0,65	0,73	0,62	0,78	0,99	1,06
CO ₂ -emissie	g/rkm	22	17	33	37	31	40	50	54
NO _x -emissie	mg/rkm	13	10	19	22	18	23	30	31
SO ₂ -emissie	mg/rkm	3	2	4	4	4	5	6	6

- a) In het nulalternatief rijden sneltreinen tussen Schiphol en Zwolle die vaker stoppen, intercitytreinen rijden tussen Schiphol en het noorden.
- b) electriciteitsverbruik aan de bovenleiding per zitplaatskilometer
- c) electriciteitsverbruik aan de bovenleiding per reizigerkilometer
- d) In alternatief 5 (ZZL-MZB) komen zowel magneetweefsneltreinen als magneetweefstoptreinen voor.

Uit Tabel 7 blijkt dat voor gelijke afstand tussen stops (42 km) het energiegebruik (en daarmee de emissies) per zitplaatskilometer van een conventionele intercity (IC) bijna 50% lager is dan dat van een IC+. Het effect van de lagere luchtweerstand van de IC+ wordt tenietgedaan door enerzijds de hogere snelheid en anderzijds het hogere gewicht per zitplaats van een IC+. Een HSL gebruikt bijna 50% meer energie per zitplaatskilometer dan een IC+ bij dezelfde afstand tussen stops (vergelijk ZZL-HSL en ZZL-IC+). Het energiegebruik per zitplaatskilometer van

een magneetzweefsneltrein (MZ_{snel}) blijkt bij een ongeveer identieke afstand tussen stops (ca. 45 km) circa 3 maal zo hoog als dat van een conventionele intercity (HSL-IC) terwijl de reistijdwinst van de MZ_{snel} (via de Zuiderzeelijn) ten opzichte van de conventionele intercity (via de Hanzelijn) tussen Schiphol en Groningen circa ruim 5 kwartier bedraagt (ca. 60% reductie). Het hogere energiegebruik komt enerzijds door de veel hogere maximum snelheid en anderzijds door de veel hogere beginversnelling en eindvertraging die nodig zijn om de in NEI (2000a) gegeven dienstregeling te realiseren. De hogere snelheid van de MZ_{snel} wordt deels gecompenseerd door een lagere luchtweerstand (geen stroomafnemer, geen wielstellen), het ontbreken van rolweerstand en een lager gewicht per zitplaats (zie Tabel 2). Doordat de MZ_{snel} daarentegen sneller remt en dus minder gebruik maakt van de massatraagheid, gebruikt de MZ_{snel} gedurende een groter gedeelte van het traject elektriciteit in vergelijking tot de IC.

Ter vergelijking geeft Tabel 8 het energiegebruik en emissies per reizigerkilometer voor de personenauto en de autobus. Voor zowel personenauto als autobus zijn gemiddelde waarden gebruikt voor het Nederlandse personenauto- en autobuspark in 1998. Voor personenauto is een gemiddelde bezetting van 1,6 personen verondersteld, voor bussen een bezetting van 12 reizigers (ca. 25%).

Tabel 8 Energiegebruik en emissies per reizigerkilometer voor trein, personenauto en autobus in 2020

2020		EC-scenario				GC-scenario			
		convent. trein ^{a)}	snelle trein ^{a)}	auto	auto-bus	convent. trein ^{a)}	snelle trein ^{a)}	auto	auto-bus
energie	MJ/rkm	0,3 – 0,4	0,6 – 1,1	1,2	1,0	0,3 – 0,4	0,6 – 1,1	1,3	1,0
CO ₂ -emissie	g/rkm	15 – 20	29 – 49	86	73	17 – 22	31 – 54	95	73
NO _x -emissie	mg/rkm	12 – 15	22 – 38	70	268	10 – 13	18 – 31	72	449
SO ₂ -emissie	mg/rkm	3	5 – 9	2	2	2 – 3	4 – 6	3	2

a) zie Tabel 7

bronnen: Feimann et al. (2000), Van den Brink en Van Wee (1997)

Uit Tabel 8 blijkt dat de CO₂-emissie per reizigerkilometer door de auto een factor 4 tot 6 hoger is in vergelijking met de conventionele trein en een factor 2 tot 3 hoger in vergelijking met de snelle trein. De CO₂-emissie door een autobus is ongeveer een factor 4 tot 5 hoger in vergelijking met de conventionele trein. De SO₂-emissie door auto en autobus zijn daarentegen gelijk aan of lager dan de SO₂-emissie door de conventionele en snelle trein, de NO_x-emissie door beide daarentegen aanzienlijk hoger. Bij de getallen in Tabel 8 dient wel te worden opgemerkt dat er voor de trein en de bus geen rekening is gehouden met eventueel voor- en natransport en omrijden. Het meenemen van deze aspecten verhoogt de emissies van treinen en bussen (zie Van den Brink en Van Wee, 1997). Verder zijn de getallen in Tabel 8 gemiddelde waarden voor zowel de samenstelling van het personenauto- en autobuspark naar milieuklassen, brandstofsoorten en leeftijden als gemiddelde waarden voor de bezettingsgraad. Vergelijking van een benzine-personenauto met 4 inzittenden met een laag bezette trein leidt vermoedelijk tot andere conclusies. Als laatste wordt nog opgemerkt dat dieseltreinen niet zijn inbegrepen in de getallen voor conventionele treinen. Diesel stoptreinen emitteren per passagierkilometer ongeveer 15 maal zoveel NO_x en 2 maal zoveel SO₂ als elektrische stoptreinen terwijl de CO₂-emissie ongeveer vergelijkbaar is (Van den Brink en Van Wee, 1997).

5.2 Situatie in 2030

Tussen 2020 en 2030 nemen de CO₂-emissies van treinen, conform Tabel 6, met circa 5% af, de NO_x-emissies met 5 tot 15% en de SO₂ met 55 tot 70%. Deze reducties worden verklaard door emissiereducties in de elektriciteitsproductiesector als gevolg van de verschuiving van kolen naar aardgas en de groei van WarmteKrachtKoppeling (WKK) (Gijsen en Spakman, 2001). Technische verbeteringen aan treinen die het elektriciteitsverbruik per zitplaatskilometer verlagen (niet verondersteld in dit rapport), kunnen bovenstaande emissiereducties nog doen vergroten. Hetzelfde geldt voor de verhoging van de bezettingsgraad van treinen.

De emissiereducties (per reizigerkilometer) voor personenauto's tussen 2020 en 2030 bedraagt volgens (Feimann et al., 2000) 0% voor CO₂, 2 tot 3% voor NO_x en circa 5% voor SO₂. De CO₂-, NO_x- en SO₂-emissies per reizigerkilometer door personenauto's stijgen daarmee in 2030 in bijna alle gevallen uit boven die door zowel conventionele als snelle treinen (zie Tabel 9. Ook bij Tabel 9 dienen dezelfde kanttekeningen te worden gemaakt als bij Tabel 8 (zie de voorgaande paragraaf).

Tabel 9 *Energiegebruik en emissies per reizigerkilometer voor trein, personenauto en autobus in 2030*

2030	EC-scenario				GC-scenario				
	convent. trein	snelle trein	auto	auto-bus	convent. trein	snelle trein	auto	auto-bus	
energie	MJ/rkm	0,3 – 0,4	0,6 – 1,0	1,2	1,0	0,3 – 0,4	0,6 – 1,0	1,3	1,0
CO ₂ -emissie	g/rkm	15 – 19	27 – 47	86	73	16 – 20	29 – 50	96	73
NO _x -emissie	mg/rkm	10 – 13	19 – 32	68	268	9 – 12	17 – 30	70	449
SO ₂ -emissie	mg/rkm	1 – 2	2 – 4	2	2	1	1 – 2	3	2

bronnen: Feimann et al. (2000), Van den Brink en Van Wee (1997)

5.3 Onzekerheden in energie- en emissiefactoren

De in deze studie gebruikte emissiefactoren voor de verschillende treinalternatieven zijn omgeven met onzekerheden. Een relatief kleine onzekerheid is het veronderstelde gemiddelde aantal zitplaatsen. In de studie is uitgegaan van een gemiddelde trein met ongeveer 350 zitplaatsen. Zijn de treinen in werkelijkheid bijvoorbeeld 25% langer dan neemt het energiegebruik per reizigerkilometer met circa 5% af (Van den Brink en Gijsen, 2001). Aanzienlijk onzekerder zijn de veronderstellingen over de uitroltijd. De uitroltijd is de tijd tussen het uitschakelen van de aandrijving en het tot stilstand komen van de trein op een station. In deze studie is verondersteld dat de eindvertraging van conventionele treinen na uitschakeling van de aandrijving circa 0,3 m/s² bedraagt. Uitgaande van een snelheid van 140 km/h komt de uitroltijd hiermee op circa 2 minuten. Verhoging van de uitroltijd leidt in het algemeen tot een relatief grote verlaging van het energiegebruik per treinkilometer. De reistijd tussen twee stops neemt door een verhoging van de uitroltijd wel toe. Zo leidt een verhoging van de uitroltijd voor sneltreinen van 2 minuten naar 4 minuten tot een verlaging van het energiegebruik met circa 15% terwijl de reistijd toeneemt met circa 2%.

Zoals in paragraaf 4.5 is aangegeven zijn voor de luchtweerstandscoefficiënt van hogesnelheidstreinen en magneetzwefstreinen twee nogal uiteenlopende bronnen gevonden. Met name voor langere afstanden en hoge snelheden wordt de luchtweerstand een dominante factor in het energiegebruik van treinen. Een verhoging van de luchtweerstand van

magneetweeftreinen met 25% verhoogt het energiegebruik bij een constante snelheid van 400 km/h met ongeveer 20%.

In paragraaf 4.5 is ook aangegeven dat de mate van terugwinning van remenergie, zoals die in de praktijk zal worden gerealiseerd, onzeker is. Terugwinning van remenergie is met name voor magneetweeftreinen een optie omdat magneetweeftreinen een grote remvertraging kunnen realiseren. Hoe hoger de remvertraging hoe meer energie er kan worden teruggewonnen. In het meest optimale geval kan tot circa 50% van de aan de bovenleiding afgenomen energie weer aan de bovenleiding worden teruggeleverd tijdens het remmen. Zie voor meer details paragraaf 4.5.

Een andere onzekerheid in de berekeningen betreft de bezettingsgraden van treinen. In deze studie wordt uitgegaan van jaargemiddelde bezettingsgraden tussen de 40 en 50%. Deze waarden zijn afgeleid uit NEI (2000a) onder de veronderstelling dat treinen onderweg niet worden verkort of verlengd. Is dit wel het geval dan kunnen de bezettingsgraden hoger worden. Daarentegen is in onze berekening uitgegaan van de drukste dag van het jaar en zal de jaargemiddelde bezettingsgraad lager zijn wanneer ervan wordt uitgegaan dat de dienstregeling wordt gedimensioneerd op de drukste dag van het jaar.

Omdat de aannames over uitroltijd, luchtweerstandscoefficiënt, energierterugwinning en de bezettingsgraad grote invloed hebben op de eindresultaten worden deze meegenomen in de gevoeligheidsanalyse van paragraaf 6.4.

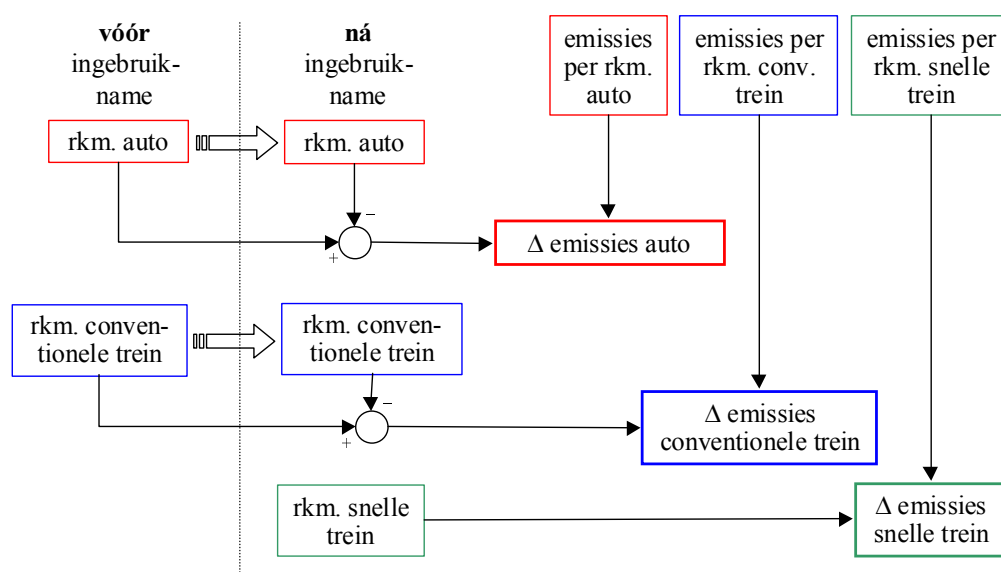
6 Effecten projectalternatieven op energiegebruik en emissies

Dit hoofdstuk geeft ten opzichte van het referentienetwerk de veranderingen in de CO₂, NO_x en SO₂-emissie op Nederlands grondgebied ten gevolge van de verschillende projectalternatieven zoals beschreven in hoofdstuk 3. Voor de berekening van de veranderingen in emissies door bijvoorbeeld de ingebruikname van een snelle trein bestaan in het algemeen twee verschillende methodieken. De ene methodiek, in de overhavige studie de gemiddelde waarden methodiek genoemd, berekent de effecten van de ingebruikname op basis van het aantal reizigerkilometers per nieuwe trein gecombineerd met gemiddelde emissies per reizigerkilometer. Deze methodiek is ook toegepast door het NEI in NEI (2000b). De andere methodiek beschouwt de werkelijke ofwel marginale veranderingen in het vervoerssysteem die het gevolg zijn van de ingebruikname. Beide methodieken in de volgende twee paragrafen toegelicht. De effecten van de projectalternatieven worden berekend met de gemiddelde waarden methodiek omdat voor het berekenen van de marginale veranderingen onvoldoende informatie beschikbaar is, hetgeen wordt toegelicht in paragraaf 6.2.

6.1 Gemiddelde waarden methodiek

6.1.1 Algemeen

Veelal worden de effecten van de ingebruikname van een snelle trein gekwantificeerd op basis van het totaal aantal reizigerkilometers per vervoerwijze in de situatie vóór en na de ingebruikname. De effecten op de emissies worden berekend door per vervoerwijze het verschil in reizigerkilometers vóór en na ingebruikname te vermenigvuldigen met de gemiddelde emissies per reizigerkilometer van de desbetreffende vervoerwijze. De gemiddelde emissies per reizigerkilometer wordt in de situatie na ingebruikname gelijkgesteld aan die voor ingebruikname (zie Figuur 6).

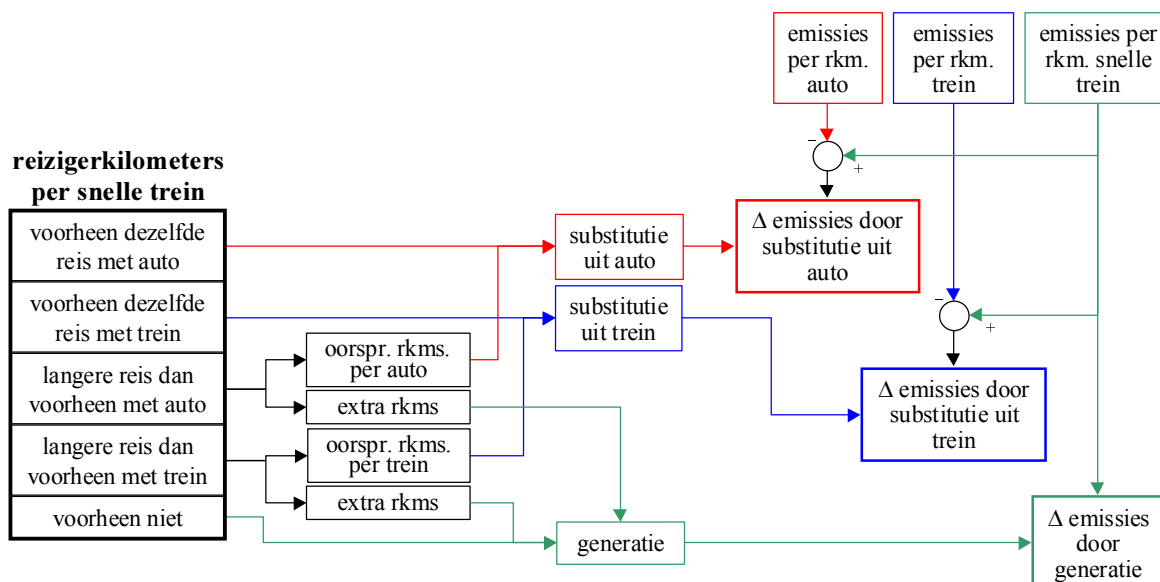


Figuur 6 Algemeen rekenschema van gemiddelde waarden methodiek

Op basis van Figuur 6 zou kunnen worden geconcludeerd dat het effect van de ingebruikname op het personenvervoer in heel Nederland bekend moet zijn alvorens de effecten berekend kunnen worden. Het kan echter ook eenvoudiger namelijk door alleen te kijken naar de samenstelling van de reizigerkilometers per snelle trein. Deze reizigerkilometers kunnen worden onderverdeeld naar drie categorieën:

1. kilometers door reizigers met ongewijzigde herkomst-bestemming die voorheen met de auto of de conventionele trein reisden (substitutie);
2. kilometers door reizigers die voorheen met de auto of de conventionele trein reisden en nu door de komst van de snelle trein meer kilometers afleggen (substitutie + generatie);
3. kilometers door reizigers die voorheen niet reisden (generatie).

Deze vereenvoudigde gemiddelde waarden methodiek berekent de effecten op de emissies door het aantal reizigerkilometers dat is gesubstitueerd van conventionele trein naar de snelle trein te vermenigvuldigen met het verschil in emissies per reizigerkilometer tussen conventionele en snelle trein (zie Figuur 7). Voor de van auto naar snelle trein gesubstitueerde reizigerkilometers wordt hetzelfde gedaan. De emissies door de generatie van reizigers wordt berekend door de gegenereerde reizigerkilometers te vermenigvuldigen met de emissies per reizigerkilometer van de snelle trein.



Figuur 7 Rekenschema van de gemiddelde waarden methodiek zoals toegepast in het onderhavige rapport (trein = conventionele sneltrain of intercity)

De gemiddelde waarden methodiek veronderstelt impliciet dat een verandering in het aantal reizigerkilometers voor een vervoerwijze niet van invloed is op de bezettingsgraad van die vervoerwijze en daarmee niet op de emissies per reizigerkilometer van die vervoerwijze. Bij een forse substitutie vanuit de conventionele trein naar de snelle trein neemt het aantal reizigers per conventionele trein af en ceteris paribus daarmee ook de bezettingsgraad. In eerste instantie zullen de emissies per reizigerkilometer voor de conventionele trein daardoor stijgen. De gemiddelde waarden methodiek gaat er echter van uit dat de exploitant van de conventionele trein op de langere termijn het vervoersaanbod (aantal treinen en lengte van treinen) zodanig aanpast aan de geslonken vraag zodanig dat de emissie per reizigerkilometer weer op hetzelfde niveau uitkomt als voor de ingebruikname van de snelle trein. Een andere impliciete veronderstelling van deze vereenvoudigde gemiddelde waarden methodiek is dat de ingebruikname van de snelle trein niet leidt tot generatie van reizigerkilometers per auto of

conventionele trein. De ingebruikname van een snelle trein tussen Schiphol en het noorden zou, ondanks een substitutie van auto naar snelle trein, per saldo tot een toename van het aantal autokilometers kunnen leiden. Mensen die in de Randstad wonen en werken kunnen in het noorden gaan wonen en met de snelle trein gaan forenzen. Voor privéreizen (met het gezin) naar de Randstad zullen zij echter wellicht de auto gebruiken.

6.1.2 Berekeningsresultaten

In deze paragraaf worden de berekeningsresultaten gepresenteerd zoals die zijn verkregen met de gemiddelde waarden methodiek van Figuur 7. De gegevens over aantallen gesubstitueerde en gegenereerde reizigerkilometers zijn overgenomen uit de vervoerwaardestudie van het NEI (2000a). Uit de twee prijsvarianten in NEI (2000a) is gekozen voor de basisprijsvariant (ongewijzigde tarieven ten opzichte van 2000; inflatie 2,5% per jaar). Tabel 10 geeft voor EC-2020 per projectalternatief de hoeveelheid uit conventionele trein en auto gesubstitueerde reizigerkilometers evenals de hoeveelheid gegenereerde reizigerkilometers (NEI, 2000a). In de berekeningen is verondersteld dat van alle uit conventionele treinen gesubstitueerde reizigerkilometers 1/3 afkomstig is van sneltreinen en 2/3 van intercity's. Voor projectalternatief 5 (ZZL-MZB) is verondersteld dat het totaal aantal reizigerkilometers met magneetzwefstreinen voor 50% voor rekening komt van magneetzwefsneltreinen en voor 50% voor rekening van magneetzwefstoptreinen. Bijlage 3 geeft dezelfde gegevens ook voor EC-2030, GC-2020 en GC2030. De gemiddelde emissiefactoren per reizigerkilometer voor de verschillende vervoerwijzen zijn gebaseerd op eigen berekeningen, zoals beschreven in het vorige hoofdstuk (zie Tabel 5 en Tabel 7).

Tabel 10 Aantal reizigerkilometers (* 1000) per etmaal op werkdagen per snelste vervoerwijze in EC-2020 (substitutie en generatie)

	reizigerkilometers per etmaal (* 1000)			TOTAAL	aandeel (%)		
	substitutie		generatie		substitutie		generatie
	conv. trein	auto			conv. trein	auto	
HZL-IC+	3.250	11	451	3.712	88%	0%	12%
HZL-HSL	4.193	0	1.252	5.445	77%	0%	23%
ZZL-IC+	2.114	60	624	2.798	76%	2%	22%
ZZL-HSL	1.902	0	1.302	3.204	59%	0%	41%
ZZL-MZB	2.960	33	2.493	5.486	54%	1%	45%
ZZL-MZM	2.339	114	4.051	6.504	36%	2%	62%

bron: NEI (2000a)

Tabel 11 en Tabel 12 geven voor het EC- en GC-scenario de berekende effecten op de emissies voor de verschillende projectalternatieven in zowel 2020 als 2030. Voor de opschaling van werkdag naar jaar is verondersteld dat het aantal reizigerkilometers in een jaar overeenkomt met 285 maal het aantal reizigerkilometers per werkdag (NEI, 2000b).

Tabel 11 Effecten op emissies van verschillende projectalternatieven in EC-2020 en EC-2030 (basisprijsvariant) ten opzichte van het referentienetwerk (op basis van gemiddelde waarden methodiek)

EC	CO ₂ (kton)		NO _x (ton)		SO ₂ (ton)	
	2020	2030	2020	2030	2020	2030
HZL-IC+	16	16	12	11	2,8	1,4
HZL-HSL	33	33	25	23	5,7	2,8
ZZL-IC+	11	11	10	9	2,2	1,0
ZZL-HSL	24	25	18	17	4,2	2,1
ZZL-MZB	60	61	46	42	10,6	5,1
ZZL-MZM	78	79	62	56	13,9	6,8

Uit Tabel 11 blijkt dat alle alternatieven tot een toename van de CO₂, NO_x en SO₂-emissies op Nederlands grondgebied leiden. De alternatieven met een IC+ leiden tot de geringste toename, de alternatieven met een magneetzwefstrein tot de grootste toename. De effecten in EC-2030 zijn voor CO₂ grofweg gelijk aan die in 2030, voor NO_x circa 10% lager en voor SO₂ circa 50% lager. De effecten in het GC-scenario zijn voor CO₂ bij benadering gelijk aan die in het EC-scenario (zie Tabel 12). Voor NO_x en SO₂ zijn de effecten op emissies lager dan in het EC-scenario met name omdat de elektriciteitsproductie in het GC-scenario schoner is dan in het EC-scenario (zie Tabel 6).

Tabel 12 Effecten op emissies van verschillende projectalternatieven in GC-2020 en GC-2030 (basisprijsvariant) ten opzichte van het referentienetwerk (op basis van gemiddelde waarden methodiek)

GC	CO ₂ (kton)		NO _x (ton)		SO ₂ (ton)	
	2020	2030	2020	2030	2020	2030
HZL-IC+	16	16	10	10	1,9	0,6
HZL-HSL	33	32	19	19	3,9	1,2
ZZL-IC+	11	11	7	7	1,5	0,4
ZZL-HSL	24	24	14	14	2,9	0,9
ZZL-MZB	60	59	35	35	7,2	2,2
ZZL-MZM	78	76	47	47	9,4	2,9

6.2 Marginale veranderingen methodiek

Zoals in de vorige paragraaf is aangegeven gaat de gemiddelde waarden methodiek er impliciet van uit dat, ongeacht de grootte van de substitutie van de conventionele trein naar de snelle trein, de emissies per reizigerkilometer van de conventionele trein niet wijzigen. Hetzelfde geldt voor de emissies per reizigerkilometer van de auto in het geval van de substitutie van auto naar snelle trein. Eén van de voorwaarden hiervoor is dat de wijzigingen in de vervoersvraag (reizigerkilometers) worden gevolgd door relatief even grote wijzigingen in het vervoersaanbod (zitplaatskilometers) zodat de bezettingsgraad van conventionele treinen en auto's gelijk blijft. In de praktijk zal aan deze noodzakelijke voorwaarde bijna nooit precies worden voldaan. De praktijk beweegt zich namelijk tussen de volgende twee uitersten:

- Het ene uiterste is de situatie dat het aantal zitplaatskilometers van conventionele treinen gelijk blijft. De gemiddelde bezettingsgraad van de conventionele treinen neemt dan af en dus nemen de emissies per reizigerkilometer van de conventionele trein toe;
- Het andere uiterste is de situatie dat het aantal zitplaatskilometers van conventionele treinen meer afneemt dan het aantal reizigerkilometers. De gemiddelde bezettingsgraad van de conventionele treinen neemt dan toe en de emissies per reizigerkilometer daardoor af. Dat zou kunnen wanneer de snelle trein met name spitsverkeer overneemt van de conventionele trein. De conventionele trein krijgt daardoor een gelijkmatiger over de dag verdeeld

reizigersaanbod te verwerken hetgeen vermoedelijk tot een toename van de bezettingsgraad zal leiden.

Zelfs als wel aan de voorwaarde van constante bezettingsgraad wordt voldaan, dan nog kunnen de emissies per reizigerkilometer van met name de conventionele trein veranderen als gevolg van de substitutie naar snelle trein. De afname van het aantal zitplaatskilometers, als reactie op de afname van het aantal reizigerkilometers, kan namelijk op verschillende manieren gestalte krijgen, namelijk door:

1. verminderen van het aantal treinen per etmaal;
2. andere veranderingen in de dienstregeling zoals het schrappen van onrendabele lijnen of het verkorten van lijnen (bijvoorbeeld voorheen van Schiphol tot Groningen, nu niet verder dan Lelystad);
3. verminderen van de gemiddelde treinlengte.

Wanneer de noodzakelijke afname van het aantal zitplaatskilometers wordt veroorzaakt door de afname van het aantal treinen per etmaal, dan zullen de emissies per reizigerkilometer niet veranderen. Hetzelfde geldt voor het verkorten of schrappen van lijnen. In beide gevallen kan de gemiddelde waarden methodiek zonder bezwaar toegepast worden. Wordt de noodzakelijke vermindering van het aantal zitplaatskilometers echter gerealiseerd door vermindering van de treinlengte, dan blijven de emissies per reizigerkilometer niet gelijk maar nemen toe. Het verminderen van de treinlengte leidt namelijk ceteris paribus tot een minder dan evenredige daling van het energiegebruik per treinkilometer. Dit betekent dat het energiegebruik per zitplaatskilometer van kortere treinen hoger is dan van langere treinen. Dit komt omdat de luchtweerstand niet alleen wordt bepaald door de wrijving van luchtdeeltjes met de zijkanten van de trein maar ook door de wrijving en botsing van luchtdeeltjes met de voorzijde van de trein. De eerste component van de luchtweerstand is lineair afhankelijk van de treinlengte. De tweede component is een constante en onafhankelijk van de treinlengte. Stel dat door de substitutie van de conventionele trein naar de snelle trein het aantal reizigerkilometers met conventionele treinen in Nederland met 50% zou afnemen en dat de vervoerder als reactie daarop de gemiddelde treinlengte zou halveren, dan nemen de gemiddelde emissies per reizigerkilometer van conventionele treinen met circa 30% toe (Gijsen, in voorbereiding). De wijze waarop de exploitant van de conventionele trein reageert op een verandering van de vervoersvraag is dus van belang voor het wel of niet kunnen toepassen van de gemiddelde waarden methodiek.

Op basis van de vervoerwaardestudie (NEI, 2000a) kan worden vastgesteld wat de marginale veranderingen zijn in het totaal aantal treinkilometers in Nederland voor zowel de conventionele treinen als de snelle treinen in het desbetreffende projectalternatief (zie Tabel 13). Met deze informatie, gecombineerd met de emissies per treinkilometer van de conventionele en de snelle treinen, zouden de marginale veranderingen in emissies door treinen kunnen worden vastgesteld. Echter, door de substitutie van de conventionele trein naar de snelle trein neemt het aantal reizigerkilometers per conventionele trein af. Hierop kan de exploitant van de conventionele trein onder andere reageren door het verminderen van de gemiddelde treinlengte hetgeen de emissies per treinkilometer zal doen verlagen. Zonder informatie over de verandering in de gemiddelde treinlengte van conventionele treinen kunnen de marginale veranderingen in treinemissies niet worden gekwantificeerd. Het NEI geeft hierover in de vervoerwaardestudie (NEI, 2000a) geen informatie.

Tabel 13 Aantal treinen per uur per richting tussen Schiphol en Groningen/Leeuwarden

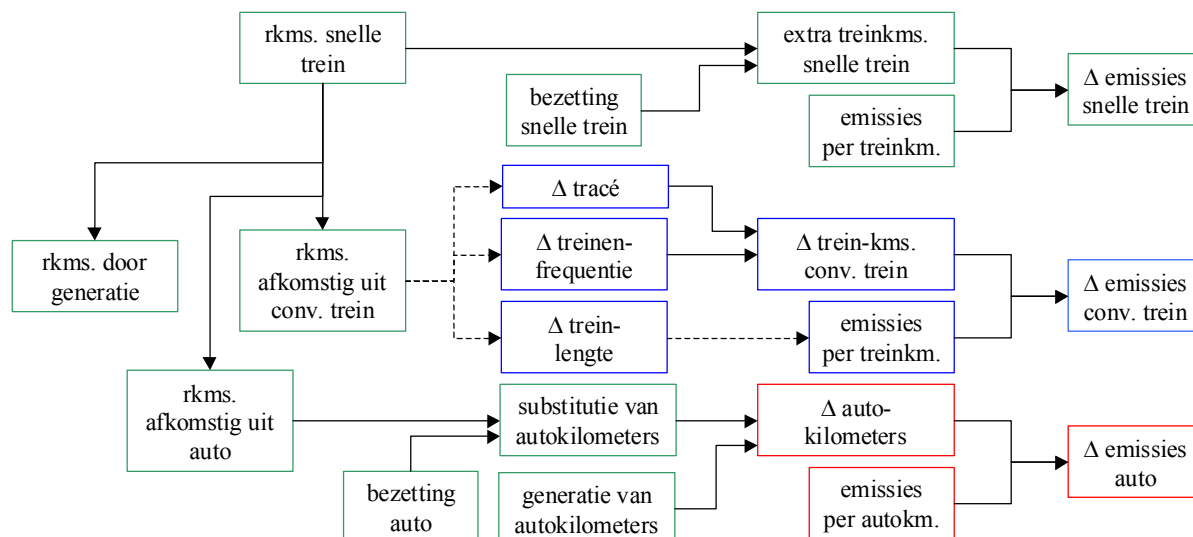
traject:	km:	HZL-Ref		HZL-IC+/HSL			ZZL-IC+		
		ST	IC	ST	IC	IC+/HSL	ST	IC	IC+
Schiphol – Almere	40	2	2	2	0	2	2	0	2
Almere – Zwolle	66	2	2	2	0	2	2	0	2
Almere – Groningen	146	0	0	0	0	0	2	0	2
Zwolle – Groningen	106	0	1	0	1	1	0	1	0
Zwolle – Leeuwarden	95	0	2	0	1	1	0	1	0
treinkilometers per uur		212	508	212	201	413	504	201	504

traject:	km:	ZZL-HSL			ZZL-MZM			ZZL-MZB			
		ST	IC	HSL	ST	IC	MZ stop	ST	IC	MZ stop	MZ snel
Schiphol – Almere	40	2	2	2	2	2	6	2	2	2	2/4 ^{a)}
Almere – Zwolle	66	2	2	0	2	2	0	2	2	0	0
Almere – Groningen	146	2	0	2	0	0	6	0	0	2	2
Zwolle – Groningen	106	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
Zwolle – Leeuwarden	95	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
treinkilometers per uur		504	413	372	212	413	1116	212	413	372	388

a) in de spits rijdt er 2 keer per uur een spitsshuttle tussen Schiphol en Almere

Ook voor de personenauto wordt in de gemiddelde waarden methodiek uitgegaan van onveranderde emissies per reizigerkilometer. Wat uit de vervoerwaardestudie van het NEI (NEI, 2000a) echter blijkt is dat het absolute aantal autokilometers in Nederland in enkele projectalternatieven stijgt ondanks dat een deel van de reizigerkilometers in de snelle trein (0 tot 2%) substitutie uit de auto betreft (zie bijlage 3). Een oorzaak hiervoor zou kunnen zijn dat door de snelle trein meer Randstedelingen zich zullen gaan vestigen in het noorden van het land. Deze mensen worden in het weekend meer afhankelijk van de auto en gaan wellicht ook regelmatig voor niet-zakelijke motieven met de auto naar de Randstad. Deze veranderingen worden niet meegenomen in de vereenvoudigde vorm van de gemiddelde waarden methodiek zoals beschreven in de vorige paragraaf.

De gemiddelde waarden methodiek stelt dus voorwaarden waar in de praktijk zeker niet altijd aan zal worden voldaan. Verder worden in de gemiddelde waarden methodiek de indirecte gevolgen voor het autogebruik niet meegenomen. Het verdient daarom aanbeveling om bij de berekening van milieu-effecten van de aanleg en ingebruikname van andere (snellere) vervoersvormen de marginale veranderingen te beschouwen. Figuur 8 presenteert een schema waarmee, uitgaande van het aantal reizigerkilometers met snelle treinen, de effecten op emissies kunnen worden uitgerekend van de ingebruikname van een snelle treinverbinding.



Figuur 8 Rekenschema marginale veranderingen methodiek (gestippelde lijn geeft beïnvloeding aan, getrokken lijn een rechtstreeks verband)

6.3 Vergelijking effecten met totale emissies in Nederland

Ten opzichte van de totale emissies door de sector verkeer en vervoer in Nederland in EC-2020 is de toename van emissies in de verschillende projectalternatieven zeer gering. Voor CO₂ bedraagt deze relatieve toename maximaal 0,2% en voor NO_x en SO₂ maximaal circa 0,1% (RIVM, 2000). Ten opzichte van de totale emissies in Nederland is de toename van emissies nog kleiner, namelijk 0,05% voor CO₂ en 0,03% voor NO_x en SO₂ (RIVM, 2000).

6.4 Gevoeligheidsanalyse

Deze paragraaf gaat in op de gevoeligheid van de uitkomsten voor de invoerparameters in de berekening. Omdat het variëren van alle invoerparameters een ondoenlijke zaak is, is gekozen voor het variëren van belangrijke parameters te weten: de uitroltijd van treinen, de bezettingsgraad en energierugwinning (alleen magneetzweeftreinen). De emissiefactoren en bezettingsgraad van personenauto's worden niet gevarieerd.

uitroltijd

De uitroltijd is in de berekeningen tot nu toe voor conventionele treinen gelijkgesteld aan 2 minuten en loopt op tot 6 minuten voor magneetzweeftreinen (zie Tabel 2). De gemiddelde tijd tussen twee stops is in onze berekeningen voor de meeste treintypen echter meestal iets lager dan de tijd in de door NEI veronderstelde dienstregeling (zie NEI, 2000a). Daarom is in deze gevoeligheidsanalyse de uitroltijd van de verschillende treinalternatieven verhoogd zodanig dat de berekende tijd tussen twee stops gelijk is aan de tijd zoals vermeld in Tabel 1. Het gebruik van deze hogere uitroltijden leidt tot een aanzienlijk lager energiegebruik per trein- en reizigerkilometer. Voorwaarden voor het hanteren van deze hogere uitroltijden zijn dat treinen vanaf het vertrekstation direct kunnen dooracceleren tot de maximum snelheid, dat onderweg geen oponthoud plaatsvindt en dat het in- en uitstappen op stations niet meer tijd in beslag neemt dan de in de onderhavige studie veronderstelde twee minuten.

luchtweerstandscoefficiënt Transrapid

De luchtweerstandscoefficiënt van de Transrapid magneetzweeftrein met lengte 104 meter is in de berekeningen gelijkgesteld aan 0,38, conform opgave door het consortium Transrapid

(Mnich et al. (1998). Hopkins et al. (1999) geven voor de C_w -waarde van een Transrapid van 104 meter een waarde 0,50.

energieterugwinning

Met name bij magneettreinen kan energie worden bespaard door het terugwinnen van remenergie (zie paragraaf 4.5). Omdat de potentie van energierecuperatie sterk wordt gereduceerd wanneer de trein maximaal uitrolt (omdat de energie dan immers door de lucht- en rolweerstand wordt omgezet in warmte en zo verloren gaat) wordt in de gevoeligheidsanalyse de terugwinning van remenergie niet meegenomen als er reeds maximaal uitrollen is verondersteld. Dit is het geval bij de MZ_{snel} . Bij de MZ_{stop} kan de uitroltijd niet worden vergroot omdat de tijd tussen twee stops reeds gelijk is aan de maximale tijd die in de vervoerwaardestudie van het NEI (2000a) wordt gegeven. Bij de MZ_{stop} wordt derhalve wel verondersteld dat met terugwinning van remenergie 35% energie kan worden bespaard. Deze besparing is afgeleid met het model PRORIN (Gijsen, in voorbereiding). Voorwaarde voor deze 35% energiebesparing is dat te allen tijde andere treinen de energie kunnen opnemen hetgeen moet worden gezien als een optimistische veronderstelling.

bezettingsgraad

In de berekeningen is uitgegaan van gemiddelde bezettingsgraden tussen de 40 en 50%. Deze bezettingsgraden zijn echter gebaseerd op de veronderstelling dat onderweg (tussen begin- en eindstation) geen treinstellen (kunnen) worden af- of aangekoppeld (zie paragraaf 4.6.2). Stel dat dit wel mogelijk is dan kan de trajectgemiddelde bezettingsgraad hoger worden. In deze gevoeligheidsanalyse is ervan uitgegaan dat de gemiddelde bezettingsgraad voor alle treintypen, inclusief de conventionele treintypen, in dat geval gelijk kan worden aan 70%. Aangezien het aantal reizigers per trein als een vaststaand gegeven mag worden beschouwd (in deze studie wordt immers uitgegaan van de vervoerwaardestudie van het NEI waarin aantal treinen per uur evenals aantal reizigers per uur gegeven zijn) betekent een stijging van de bezettingsgraad ook een vermindering van de treinlengte¹⁴. De toename van de bezettingsgraad verlaagt dus het energiegebruik per treinkilometer doordat de trein korter en minder zwaar wordt. Echter, de afname van de treinlengte leidt tot een verhoging van het energiegebruik per zitplaatskilometer. Dit komt omdat de luchtweerstand van de trein minder dan evenredig afneemt (zie voor de verklaring paragraaf 6.2).

Naast de berekening zoals gepresenteerd in paragraaf 6.1 worden in deze gevoeligheidsanalyse twee additionele berekeningen gedaan. De ene berekening, getiteld 'optimistisch voor snelle trein', gaat uit van een scenario dat het effect van de ingebruikname van de snelle trein op emissies minimaliseert. De andere berekening, getiteld 'pessimistisch voor snelle trein', gaat juist uit van een scenario dat tot een maximaal effect leidt. Tabel 14 geeft de aannames voor uitroltijd, luchtweerstandscoefficiënt Transrapid, terugwinning remenergie en bezettingsgraad van conventionele en snelle treinen in beide scenario's. Tevens staan in Tabel 14 de aannames in de reeds in paragraaf 6.1 gepresenteerde berekening. Dit scenario wordt op deze plaats 'meest realistisch' genoemd, ondanks dat sterke vermoedens bestaan dat de luchtweerstandscoefficiënt van de MZ te laag is.

¹⁴ De treinlengte is verminderd met de verhouding tussen de bezettingsgraad in het scenario 'realistisch' (tussen 40 en 50%) en de waarde 70%. In het geval van de conventionele trein met een bezettingsgraad van 40% in het scenario 'realistisch' zal de treinlengte in het scenario 'pessimistisch voor snelle trein' met circa 40% afnemen, immers door de toename van de bezettingsgraad van 40 naar 70% zal bij gelijkblijvend aantal reizigers het gemiddeld aantal zitplaatsen in de trein (en daarmee de gemiddelde treinlengte) met $(1 - 40/70) * 100\%$ afnemen.

Tabel 14 Scenario's voor uitroltijd, terugwinning remenergie en bezettingsgraad

scenario	uitroltijd (minuten)		C _w - waarde MZ	terugwinning remenergie		bezettingsgraad (%)	
	convent. treinen	snelle treinen		overige treinen	MZ stop	convent. treinen	snelle treinen
'optimistisch voor snelle trein'	2 ^{a)}	8 – 14	0,38	nee	ja	40 – 42 ^{b)}	70
'meest realistisch'	2 ^{a)}	3 – 6 ^{a)}	0,38	nee	nee	40 – 42 ^{b)}	40 – 50 ^{b)}
'pessimistisch voor snelle trein'	5 – 11	3 – 6 ^{a)}	0,50	nee	nee	70	40 – 50 ^{b)}

a) zie Tabel 2

b) zie Tabel 4

Tabel 15 geeft de gebruikte emissiefactoren voor het scenario 'optimistisch voor snelle trein' en Tabel 16 de emissiefactoren voor het scenario 'pessimistisch voor snelle trein'. Alleen de vetgedrukte getallen in beide tabellen zijn gewijzigd ten opzichte van het scenario 'meest realistisch'. De emissiefactoren zoals gebruikt voor het scenario 'meest realistisch' staan vermeld in Tabel 7.

Tabel 15 Emissiefactoren 'optimistisch voor snelle trein' in EC-2020 (wijzigingen ten opzichte van 'meest realisatische' scenario zijn vetgedrukt)

trace:		HZL	HZL	HZL	HZL	ZZL	ZZL	ZZL	ZZL
treintype:		ST ^{a)}	IC ^{a)}	IC+	HSL	IC+	HSL	MZ snel	MZ stop
in projectalternatief:		nul	nul	1	2	3	4	5	5, 6 ^{d)}
uitroltijd	minuten	2	2	13	8	14	11	6	3
bezettingsgraad	%	42%	42%	70%	70%	70%	70%	70%	70%
energieterugwinning		nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	ja
C _w -waarde MZ								0,38	0,38
elektriciteit (bovenleiding)	Wh/zkm ^{b)}	27	21	27	46	26	38	49	52
elektriciteit (bovenleiding)	Wh/rkm ^{c)}	64	50	38	65	38	54	70	74
energie (E-centrale)	MJ/rkm	0,44	0,34	0,26	0,45	0,26	0,37	0,49	0,51
CO ₂ -emissie	g/rkm	20	15	12	20	12	17	22	23
NO _x -emissie	mg/rkm	15	12	9	15	9	13	17	17
SO ₂ -emissie	mg/rkm	3	3	2	4	2	3	4	4

a) In het nulalternatief rijden sneltreinen tussen Schiphol en Zwolle die vaker stoppen, intercitytreinen rijden tussen Schiphol en het noorden.

a) electriciteitsverbruik aan de bovenleiding per zitplaatskilometer

b) electriciteitsverbruik aan de bovenleiding per reizigerkilometer

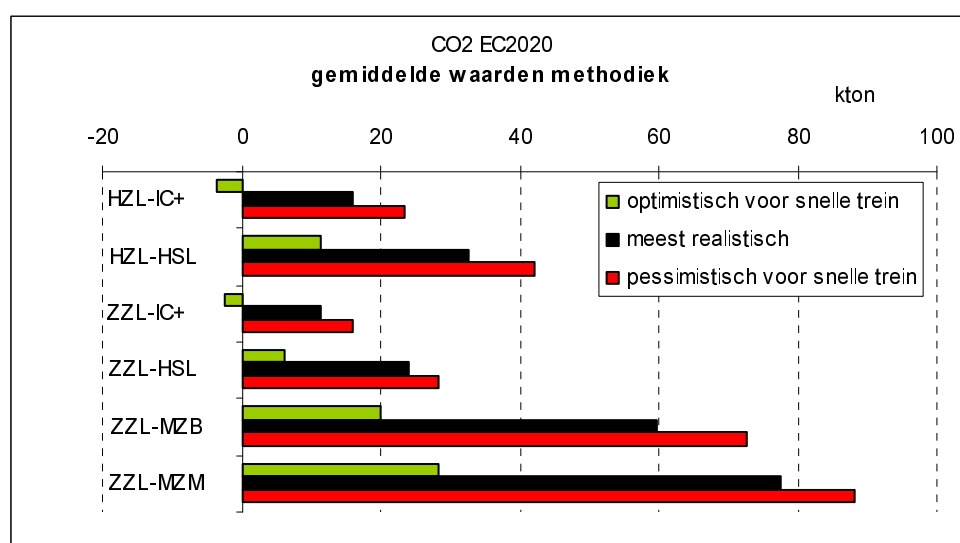
c) In alternatief 5 (ZZL-MZB) komen zowel magneetweefsneltreinen als magneetweefstoptreinen voor.

Tabel 16 *Emissiefactoren ‘pessimistisch voor snelle trein’ in EC-2020 (wijzigingen ten opzichte van ‘meest realistische’ scenario zijn vetgedrukt)*

trace:		HZL	HZL	HZL	HZL	ZZL	ZZL	ZZL	ZZL
treintype:		ST ^{a)}	IC ^{a)}	IC+	HSL	IC+	HSL	MZ	MZ
in projectalternatief:		nul	nul	1	2	3	4	5	5, 6 ^{d)}
uitroltijd	minuten	5	11	3	4	3	4	3	3
bezettingsgraad	%	70%	70%	40%	50%	40%	48%	44%	46%
energieterugwinning		nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee
C _w -waarde MZ								0,50	0,50
elektriciteit (bovenleiding)	Wh/zkm ^{b)}	23	18	39	55	38	56	72	78
elektriciteit (bovenleiding)	Wh/rkm ^{c)}	34	26	97	110	93	118	166	169
energie (E-centrale)	MJ/rkm	0,23	0,18	0,68	0,76	0,64	0,82	1,15	1,17
CO ₂ -emissie	g/rkm	10	8	30	34	29	36	51	52
NO _x -emissie	mg/rkm	8	6	23	26	22	28	39	40
SO ₂ -emissie	mg/rkm	2	1	5	6	5	6	9	9

- a) In het nulalternatief rijden sneltreinen tussen Schiphol en Zwolle die vaker stoppen, intercitytreinen rijden tussen Schiphol en het noorden.
b) electriciteitsverbruik aan de bovenleiding per zitplaatskilometer
c) electriciteitsverbruik aan de bovenleiding per reizigerkilometer
d) In alternatief 5 (ZZL-MZB) komen zowel magneetweefsneltreinen als magneetweefstoptreinen voor.

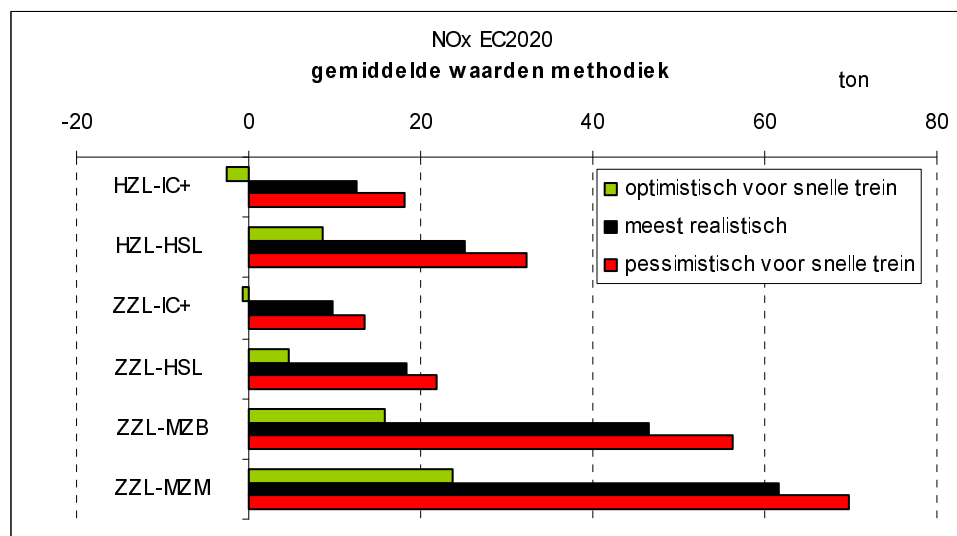
Met beide sets emissiefactoren zijn dezelfde berekeningen uitgevoerd als in paragraaf 6.1, dus met de gemiddelde waarden methodiek. Figuur 9 geeft de marginale effecten op de CO₂-emissie in EC-2020 voor de drie schattingen, Figuur 10 de effecten op de NO_x-emissie. Voor SO₂ is het beeld ongeveer gelijk aan dat voor NO_x.



Figuur 9 *Effecten op CO₂ in drie scenario's voor de uitroltijd, C_w-waarde MZ, energierugwinning en bezettingsgraad (gemiddelde waarden methodiek)*

Uit Figuur 9 blijkt dat het absolute verschil in effecten op CO₂ tussen de scenario's 'optimistisch voor snelle trein' en 'pessimistisch voor snelle trein' gerelateerd aan het scenario 'meest realistisch' maximaal 175% bedraagt. Opvallend is dat bij twee projectalternatieven met IC+-treinen de berekening 'optimistisch voor snelle trein' tot een afname van emissies leidt. De reden hiervoor is dat de IC+ in dit scenario (hoge bezettingsgraad, lange uitroltijd) lagere emissies per reizigerkilometer heeft dan de conventionele treinen (zie Tabel 15). De generatie van reizigerkilometers door de IC+ (10 tot 20% van het aantal IC+-reizigerkilometers) wordt

meer dan gecompenseerd door het emissieverlagende effect van substitutie van enerzijds conventionele trein naar snelle trein en anderszijds auto naar snelle trein.



Figuur 10 Effecten op NO_x in drie scenario's voor de uitroltijd, C_w-waarde MZ, energierugwinning en bezettingsgraad (gemiddelde waarden methodiek)

Uit Figuur 9 en Figuur 10 blijkt dat de spreiding in uitkomsten groot is. Desalniettemin kan voor de meeste projectalternatieven met een grote mate van zekerheid worden gesteld dat er een toename van emissies optreedt.

7 Indirect energiegebruik en emissies

7.1 Inleiding

Naast het gebruik van electriciteit gebruiken vervoermiddelen in het algemeen ook indirect energie door de produktie en het onderhoud van vervoermiddelen en door de aanleg en onderhoud van infrastructuur. Dit indirecte energiegebruik gaat gepaard met indirecte emissies. Dit indirecte energiegebruik en indirecte emissies worden in het algemeen niet meegenomen in studies naar de milieubelasting per vervoersprestatie door personen- en goederenvervoeren. Uit Bos (1998) blijkt echter dat, in het geval van het goederenvervoer, dit indirecte energiegebruik en emissies per tonkilometer in vergelijking tot het directe energiegebruik en de directe emissies per tonkilometer voor met name railvervoer aanzienlijk zijn. De resultaten blijken echter in sommige gevallen sterk afhankelijk van de gebruikte methodiek. Dit verklaart de grote spreiding in Tabel 17. Over het algemeen hebben constructie en onderhoud van infrastructuur een groter aandeel in de indirecte emissies dan productie en onderhoud van vervoermiddelen (Bos, 1998).

Tabel 17 *Indirecte emissies per tonkilometer in het goederenvervoer, absoluut en relatief ten opzichte van directe emissies*

	railtransport			wegtransport			binnenvaart		
	absoluut mg/tonkm		relatief t.o.v. direct	absoluut mg/tonkm		relatief t.o.v. direct	absoluut mg/tonkm		relatief t.o.v. direct
	range	gemid.		range	gemid.		range	gemid.	
CO ₂ (g)	10-50	27	27%	20-100	53	27%	5-40	20	57%
NO _x	50-100	75	8%	75-110	93	3%	10-25	18	7%
SO ₂	20-60	43	62%	40-80	65	33%	15-30	20	50%
CO	15-160	88	438%	35-80	58	6%	15-50	33	30%
VOS	3-10	7	65%	5-25	15	2%	1-2	2	3%
PM ₁₀	5-60	33	325%	10-30	20	5%	5-25	15	75%

bron: Bos (1998)

Uit Tabel 17 blijkt dat de indirecte CO₂-emissies (en daarmee ook energiegebruik) voor railtransport en wegtransport circa 25% van de directe CO₂-emissies bedragen. Voor de binnenvaart ligt dit percentage op circa 55%. Bij het railvervoer blijkt dat indirecte emissies soms aanzienlijk hoger zijn dan directe emissies. In het algemeen kan op basis van Tabel 17 worden gesteld dat de indirecte emissies door het railtransport in relatieve zin (t.o.v. directe emissies) hoger zijn dan die door het wegtransport of de binnenvaart.

Cijfers voor het personenvervoer geven een meer diffuus beeld: voor CO₂ en SO₂ zijn indirecte emissies in zowel absolute als relatieve zin lager voor het railtransport dan voor het wegtransport terwijl dit voor NO_x en CO andersom is (zie Tabel 18). Opvallend is verder dat ook bij reizigersvervoer over de weg voor SO₂ de indirecte emissie hoger blijkt te zijn dan de directe emissie. Bij het goederenvervoer over de weg was dit niet het geval. Vermoedelijk heeft dit te maken met het feit dat in het reizigersvervoer met name laagzwavelige benzine wordt aangewend terwijl in het goederenvervoer over de weg met name diesel wordt gebruikt. De zwavel in brandstoffen komt als SO₂ uit de uitlaat en diesel heeft een aanzienlijk hoger zwavelgehalte dan benzine.

Tabel 18 *Indirecte emissies per reizigerkilometer in het personenvervoer, absoluut en relatief ten opzichte van directe emissies*

	railtransport			wegtransport		
	absoluut (mg/passkm)		relatief t.o.v. direct	absoluut (mg/passkm)		relatief t.o.v. direct
	range	gemid.		range	gemid.	
CO ₂ (g)	15-18	16	23%	50-55	53	40%
NO _x	75	75	38%	190	190	15%
SO ₂	20-65	43	43%	65-90	78	204%
CO	100	100	1000%	220	220	5%

bron: Bos en Moll (1997)

De resultaten uit Tabel 17 en Tabel 18 zijn gemiddelde waarden voor Nederland in 1998 uitgaande van de destijds aanwezige infrastructuur en van de vervoersprestatie in dat jaar. Voor zowel railtransport als wegtransport zijn emissies door aanleg en infrastructuur door Bos (1998) toegedeeld aan personen- en goederenvervoer waarbij door het relatief hoge voertuiggewicht het onderhoud van autosnelwegen volledig voor rekening komt van vrachtvoertuigen. Verder is voor infrastructuur en vervoermiddelen een levensduur geschat variërend van 10 jaar voor vrachtwagens tot 50 jaar voor weg- en railinfrastructuur.

Bovenstaande gegevens kunnen zeker niet in alle situaties worden gebruikt: in het geval specifieke deelsegmenten van een vervoerwijze worden beschouwd kunnen de resultaten sterk afwijken. Internationaal wegtransport bijvoorbeeld maakt voornamelijk gebruik van het snelwegennet hetgeen het toerekenen van de emissies ten gevolge van het aanleggen van stedelijke infrastructuur arbitrair maakt. Ook in het geval van de aanleg van geheel nieuwe infrastructuur, zoals bijvoorbeeld voor de hogesnelheidstrein en magneetzwefstrein, gelden de gemiddelde waarden uit Tabel 17 en Tabel 18 niet. In het algemeen worden anno nu strengere eisen gesteld aan de ruimtelijke inpassing van infrastructuur dan zeg 30 jaar geleden waardoor het gebruik van tunnels en geluidschermen noodzakelijk wordt. Deze verhogen de indirecte emissies van nieuwe infrastructuur in vergelijking tot de in het verleden aangelegde infrastructuur. Daarentegen is het aandeel van de indirecte emissies lager naarmate de intensiteit op de infrastructuur hoger is. Wanneer de (verwachte) intensiteit op nieuwe infrastructuur hoger is dan gemiddeld dalen het aandeel van de indirecte emissies in de totale emissies.

7.2 Indirecte emissies aanleg Zuiderzeelijn

In deze paragraaf wordt indicatief een berekening gepresenteerd van het indirecte effect op de emissies van CO₂, NO_x en SO₂ van de aanleg van de Zuiderzeelijn. Hierbij wordt uitgegaan van de aanleg van traditionele railinfrastructuur omdat over het energiebeslag en de daarmee gepaard gaande emissies van de aanleg van infrastructuur voor magneetzwefstreinen geen informatie is gevonden. De deels verhoogde aanleg van de infrastructuur van de magneetzwefstrein zou het energiebeslag per kilometer kunnen verhogen. Daarentegen hoeven bij verhoogde aanleg geen viaducten en tunnels worden aangelegd en behoeven minder aanpassingen aan de ondergrond te worden verricht. Het saldo van beiden is niet bekend.

Op basis van Bos (1998) kan worden geconcludeerd dat de aanleg van railinfrastructuur circa 0,02 PJ energie per kilometer (enkelspoor) bedraagt¹⁵. Het betreft het totale energiebeslag in 1990 gedeeld door het totaal aantal kilometers spoor in 1990 (ca. 2780 km waarvan 1006

¹⁵ zie Bos (1998), pagina 99, figuur 3.13

enkelspoor). Wanneer wordt verondersteld dat deze infrastructuur 50 jaar meegaan dat de nieuwe Zuiderzeelijn (dubbelspoor) wordt aangelegd van Lelystad tot Groningen (circa 120 km), dan bedraagt het totale indirecte energiegebruik van de aanleg van de Zuiderzeelijn 0,1 PJ per jaar. Volgens Bos (1998) bedragen de totale indirecte emissies per kilometer enkelspoor 818 ton CO₂, 9 ton NO_x en 4 ton SO₂. Per jaar komt dit voor de Zuiderzeelijn neer op 4 kton CO₂, 44 ton NO_x en 21 ton SO₂.

De indirecte emissies zijn door Bos (1998) bepaald uitgaande van de emissies per kg grondstof in 1990. De werkelijke indirecte emissies van de aanleg van de Zuiderzeelijn zullen vermoedelijk lager zijn omdat de emissies van de productie van bouwmaterialen (bijv. staal) reeds op dit moment lager zijn en in de toekomst vermoedelijk nog lager zullen worden. Tevens zijn de NO_x- en SO₂-emissies ten gevolge van het transport van bouwmaterialen op dat moment lager dan in 1990 doordat vrachtauto's aanzienlijk minder NO_x emitteren en de brandstoffen aanzienlijk minder zwavel bevatten.

Op basis van onderliggende gegevens uit de Milieubalans 2000 (RIVM, 2000) en de Milieuverkenningen 5 (RIVM, 2000) is vastgesteld dat de NO_x- en SO₂-emissies per kilogram ruwstaal tussen 1990 en 2010 met respectievelijk 25 en 60% zullen dalen. De NO_x- en SO₂-emissies per kilometer door vrachtauto's dalen tussen 1990 en 2010 met respectievelijk 75% en 97%. De CO₂-emissies per kilogram staal en per vrachtautokilometer blijven grofweg gelijk tussen 1990 en 2010. Afhankelijk van het precieze aandeel van de staalproductie en het vervoer van bouwmaterialen in de totale indirecte emissies zijn de indirecte emissies per kilometer railinfrastructuur in 2010 tussen 25 en 75% lager voor NO_x en tussen de 60 en 97% lager voor SO₂ (zie Tabel 19).

Tabel 19 Indirecte en directe effecten per jaar aanleg Zuiderzeelijn

	CO ₂ [kton]	NO _x [ton]	SO ₂ [ton]
indirecte effect ^{a)} in 1990	ca. 5	ca. 50	ca. 20
indirecte effect in 2010 ^{b)}	ca. 5	ca. 10 – 40	ca. 1 – 10
directe effecten ^{c)}			
ZZL-IC+	10 – 11	7 – 9	0,4 – 2,1
ZZL-HSL	23 – 24	14 – 18	0,9 – 4,1
ZZL-MZB	57 – 58	34 – 44	2,1 – 10,0
ZZL-MZM	75 – 78	47 – 61	2,9 – 13,9

a) uitgaande van conventionele railinfrastructuur (bron: Bos, 1998); resultaten voor met name NO_x en SO₂ hebben een hoge mate van onzekerheid

b) grove schatting op basis van emissiereductie in staalproductie en gebruik van vrachtauto's tussen 1990 en 2010 (bronnen: RIVM, 2000; RIVM, 2000a); resultaten voor met name NO_x en SO₂ hebben een hoge mate van onzekerheid

c) bandbreedte van de 'meest realistische' resultaten voor EC-2020, EC-2030, GC-2020 en GC-2030

Het indirecte effect op de CO₂-emissies is maximaal gelijk aan ongeveer de helft van het directe effect. De verhouding tussen het indirecte effect en het directe effect is voor NO_x en SO₂ veel groter dan voor CO₂. Voor zowel NO_x als SO₂ geldt dat het indirecte effect van dezelfde orde van grootte is als het directe effect.

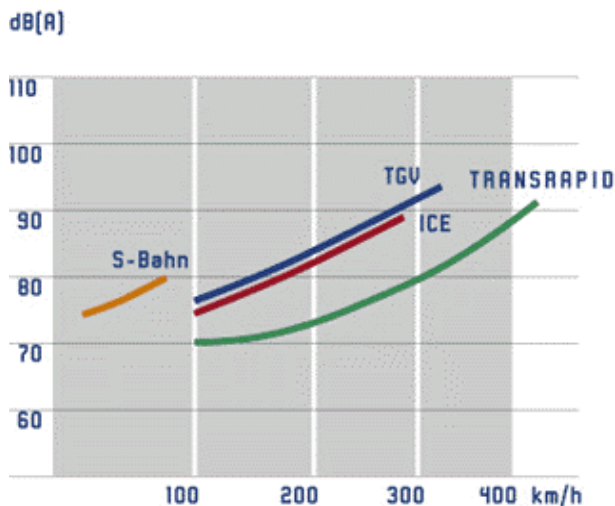
8 Geluidhinder

De verschillende alternatieven veroorzaken geluidbelasting in de omgeving. Dit heeft negatieve effecten op mens en dier. Om uitspraken over de effecten in woonomgeving, stiltegebieden en natuur te kunnen doen wordt hier allereerst nader ingegaan op een aantal (theoretisch) relevante aspecten bij geluidsbron (sneltrain, HSL, magneetzweftrain) en ontvanger. Voor de kwantificering van de uiteindelijk te verwachten effecten bij de verschillende alternatieven is wegens gebrek aan achterliggende gegevens uitsluitend geput uit onderzoek uitgevoerd in opdracht van de projectgroep Zuiderzeelijn.

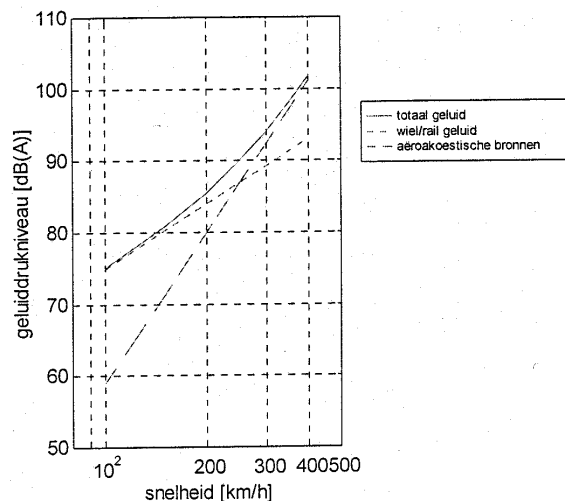
8.1 Geluidemissies

Zoals bij alle voertuigen is ook bij de in de verschillende alternatieven voorziene treintypes de geluidemissie afhankelijk van de snelheid. Uit Figuur 3 blijkt dat de magneetzweftrain in vergelijking met de HSL bij de voorziene maximumsnelheden (resp. 400 en 260 km/h) iets hogere geluidemissies heeft (resp. 91 dB(A) en 87 dB(A)). Bij deze metingen bestond de magneetzweftrain overigens uit slechts 2 rijtuigen, de HSL uit 12. Bij normale bedrijfsvoering zouden de emissies van de magneetzweftrain enkele dB(A)'s hoger uitkomen.

Daarnaast is de aard van het geluid verschillend voor de verschillende alternatieven. Bij de intercity overheerst het rolgeluid. Bij de HSL dragen rolgeluid en aëroakoestisch geluid (vooral veroorzaakt door de pantograaf) ongeveer in gelijke mate bij aan het totaalgeluid bij een snelheid van 260 km/h (zie Figuur 4). Bij hogere snelheden overheerst het aëroakoestisch geluid, vooral veroorzaakt door de pantograaf. Bij de magneetzweftrain overheerst het aëroakoestisch geluid, vooral afkomstig van de boeg.



Figuur 11 Geluidbelasting door verschillende treinvarianten op 25 meter en 3,5 m hoogte (bron: www.mvp.de)



Figuur 12 Geluidbelasting van HSL op 25 meter onderscheiden naar bron (bron: van Haaren, 1998)

Voor de uiteindelijke geluidbelasting, uitgedrukt in equivalent geluidsniveau, is naast de sterkte ook de duur van het geluid van belang. Uit metingen van Schmitz (1996) en Schmitz et

al. (1997) blijkt dat magneetzweftrain en HSL onder proefomstandigheden ongeveer gelijke equivalente geluidniveaus veroorzaken. Aangezien bij beide types de voornaamste geluidbron (de pantograaf voor de HSL, de boeg voor de zweeftrain) op vergelijkbare hoogte ligt zal de geluidoverdracht, en daarmee ook de (equivalente) geluidbelasting vergelijkbaar zijn. Voor goed onderbouwde uitspraken over de plaatselijke geluidbelasting zijn meer gedetailleerde gegevens, zoals gebruikt in het onderzoek van Martinus et al. noodzakelijk. De hoge ligging van de bron bij zowel HSL als magneetzweftrain (althans op die trajectdelen waar de magneetzwef op hoge pijlers is uitgevoerd) in vergelijking met conventionele treinen heeft bij gelijke emissieniveaus een ca. 2 dB(A) hogere geluidbelasting in de omgeving tot gevolg. Geluidwerende maatregelen kunnen met name bij de HSL vanwege de hoge ligging van de bron slechts tegen hoge kosten en met ongewenste landschappelijke neveneffecten gerealiseerd kunnen worden. Bij de zweeftrain is een geluidwerende constructie bevestigd aan de pijlers mogelijk¹⁶.

8.2 Geluidhinder

Geluid van normaal treinverkeer wordt als minder hinderlijk ervaren dan even sterk geluid van weg- of vliegverkeer. Er is weinig en niet altijd eenduidig, onderzoek gedaan naar eventueel verschil in hinderbeleving als gevolg van verschil in aard van het geluid (zowel in spectrum als in snelheid van aanzwellen) van de verschillende treintypes (bij gelijke geluidniveaus). Zeichart (1999) geeft aan dat de dosis-effect relaties voor geluid van HSL-treinen in dezelfde grootte-orde liggen als die van ‘conventioneel’ treinverkeer. Schmitz et al. (1997) geven aan dat geluid van een magneettrein niet als hinderlijker wordt ervaren dan geluid van andere treinen. Neugebauer en Orscheid (1997) geven echter aan dat het geluid van een magneetzweftrain in vergelijking met (even sterk) geluid van conventionele treinen door een aantal proefpersonen niet alleen als luider wordt ervaren, maar ook wordt geassocieerd met bedreiging, gevaar en agressiviteit. De in Duitsland gebruikelijke wettelijke aftrek van 5 dB(A), de zogenaamde ‘Schienenbonus’, die van toepassing is voor zowel conventionele treinen als HSL, geldt (nog) niet voor de magneetzweftrain. Nader onderzoek naar de hinderbeleving van de magneetzweftrain is daarom gewenst.

8.3 Effecten

Het RIVM heeft geen eigen onderzoek uitgevoerd naar de geluideffecten van aanleg van een snelle verbinding tussen Schiphol en het noorden van Nederland. De projectorganisatie Zuiderzeelijn heeft een dergelijk onderzoek wel uitgevoerd (Marinus et al., 2000). In deze rapportage worden de resultaten van dit onderzoek gepresenteerd en geanalyseerd. De volgende geluideffecten zijn door Marinus et al. (2000) onderscheiden:

- effecten op mensen en woonomgeving
- effecten op natuur en stiltegebieden

8.3.1 Effecten op mensen en woonomgeving

In onderzoek van Marinus et al. (2000) worden kentallen gegeven voor toename van geluidbelast oppervlak (>50 dB(A)) in woongebieden (alternatief 2 is door hen niet nader onderzocht) (zie Tabel 20). Zoals uit Tabel 20 blijkt leiden alternatieven 5 en 6 (de magneetzweftreinen) tot de geringste toename van het geluidbelast oppervlak in woongebieden. Dit wordt veroorzaakt doordat magneetzweftreinen bij lage snelheden (in de

¹⁶ Mondelinge mededeling R. van der Meijs (MVP)

buurt van stations) een relatief lage geluidemissie hebben. Alternatief 1, snellere treinen (tot 200 km/h) over opwaardeerd spoor, scoort het slechtst.

8.3.2 Effecten op natuur- en stiltegebieden

Marinus et al. (2000) komen ook tot oppervlaktes door geluid verstoord (> 50 dB(A)) natuurgebied en oppervlaktes door geluid verstoord (> 40 dB(A)) stiltegebied voor de verschillende alternatieven (zie Tabel 20). De verschillen tussen alternatief 1 en de overige alternatieven wordt grotendeels verklaard doordat bij de overige alternatieven sprake is van geheel nieuwe tracé's die deels door of vlak langs natuur- en stiltegebieden gaan. Daar staat tegenover dat in alternatieven 3 t/m 6 meer geluidschermen worden geplaatst dan in alternatief 1, hetgeen ceteris paribus tot een lagere toename van geluidbelast oppervlak leidt. De verschillen tussen alternatieven 3 en 4 enerzijds en 5 en 6 anderzijds worden grotendeels verklaard doordat de magneetzweeftrein lagere geluidemissies heeft dan de IC+ of de HSL.

Tabel 20 Toename geluidbelast oppervlak in woon-, natuur- en stiltegebieden (km²)

alternatief:	1: HZL-IC+	2: HZL-HSL	3: ZZL-IC+	4: ZZL-HSL	5: ZZL-MZB	6: ZZL-MZM
woongebieden	11	a)	8	9	3	3
natuurgebieden	20	a)	36	41	24	24
stiltegebieden	3	a)	12	13	12	12

a) niet onderzocht

8.3.3 Inpassingskosten

Naast de toename van geluidbelast oppervlak hebben Marinus et al. (2000) ook de inpassingskosten berekend (zie Tabel 22). Onder de inpassingskosten worden de kosten verstaan voor het plaatsen van geluidschermen die *in de zin van de Wet Geluidhinder* noodzakelijk zijn en voor de compensatie van (geluidbelaste) natuur- en stiltegebieden.

De compensatiekosten zijn door Marinus et al. (2000) berekend door allereerst de extra geluidbelaste natuur- en stiltegebieden in te delen naar verschillende gebiedscategorieën (zie Tabel 21). De oppervlaktes per gebiedscategorie zijn vervolgens vermenigvuldigd met een voor alle gebiedscategorieën identieke prijs per hectare en met een gebiedsafhankelijke kwaliteitstoeslag (zie Tabel 21). De kwaliteitstoeslag heeft betrekking op de vervangbaarheid van de aangetaste natuurwaarden. Voor niet of slechts op langere termijn vervangbare natuur is een kwaliteitstoeslag van 100% gehanteerd. De op bovenstaande wijze berekende compensatiekosten per projectalternatief staan vermeld in Tabel 22.

Tabel 21 Kwaliteitstoeslag voor natuurcompensatie

gebiedscategorie	kwaliteitstoeslag	gebieden
bos, ouder dan 100 jaar	100%	bos bij Beetsterzwaag
bos, 25-100 jaar	67%	Kuinderbos, bossen in Flevoland
bos, jonger dan 25 jaar	33%	bossen in Flevoland
nat en vochtig schraalland	100%	van Oordt's Mersken
veenweidegebied	33%	Noord-Holland, Friesland, Groningen
oermeeras en open water	33%	IJmeer, Ketelmeer, Tjeukemeer

Tabel 22 *Inpassingskosten (in mln. guldens)*

alternatief:	1: HZL-IC+	2: HZL-HSL	3: ZZL-IC+	4: ZZL-HSL	5: ZZL-MZB	6: ZZL-MZM
schermkosten	5	a)	54	77	80	80
compensatiekosten	97	a)	271	296	153	153
totale kosten	102	a)	325	373	233	233

a) niet onderzocht

De minste inpassingskosten worden dus gemaakt bij alternatief 1. De daarbij voor schermplaatsing gereserveerde 5 miljoen gulden is een stelpost voor eventueel noodzakelijke geluidschermen bij boogaanpassing van bestaand spoor. Voor alle alternatieven is uitgegaan van (een interpretatie van) de Wet geluidhinder¹⁷. In de Wet geluidhinder wordt onderscheid gemaakt tussen bestaande en nieuwe situaties of wijzigingen. Voor bestaande situaties gelden andere, minder strenge normen dan voor nieuwe situaties en wijzigingen. In nieuwe situaties en wijzigingen wordt daarom in het algemeen eerder overgegaan tot geluidbeperkende maatregelen. Doordat de alternatieven 3-6 nieuwe situaties zijn en alternatief 1 in het onderzoek van Marinus et al. niet als een wijziging maar als een continuering van de bestaande situatie wordt beschouwd, wordt in de alternatieven 3-6 meer geld gereserveerd voor geluidschermen. Het is echter, gelet op het standpunt van de minister van VROM, zeer waarschijnlijk dat de snelheidsverhoging van de intercitytreinen in alternatief 1 leidt tot wijzigingen in de zin van de Wet geluidhinder, waardoor ook in alternatief 1 een aanzienlijk hogere reservering voor schermkosten gemaakt zou moeten worden. De exacte hoogte van die reserveringen is op voorhand niet te bepalen aangezien de Wet Geluidhinder niet met een enkele grenswaarde werkt, maar met voorkeurswaarden (57 dB(A) op de buitengevel) en maximaal toelaatbare waarden (73 dB(A) op de buitengevel). De bandbreedte daartussen laat ruimte over voor een afwegingsproces door het bevoegd gezag tussen ontwikkelingen op het spoor en de directe (leef)omgeving enerzijds en noodzakelijke kosten anderzijds. De maximaal toelaatbare waarde van 73 dB(A) blijft altijd de grens vormen, waarboven van afweging geen sprake meer kan zijn en in ieder geval tot maatregelen overgegaan moet worden. Indien zou worden besloten dat er sprake zou zijn van een nieuwe situatie, zou dit leiden tot een aanzienlijk lagere toename van geluidbelast oppervlak in woongebieden bij alternatief 1 dan in het onderzoek van Marinus et al.¹⁸.

¹⁷ De Wet Geluidhinder, Besluit Geluidhinder Spoorwegen, artikel 1, 3e lid, staat een sluipende groei van de geluidbelasting van 2 dB(A) toe t.o.v. 1987 of de huidige situatie indien deze stiller is; voorwaarde daarbij is wel dat de geluidbelasting onder de 66 dB(A) blijft. De keerzijde hiervan, en die wordt dikwijls niet meegenomen c.q. onjuist geïnterpreteerd, zoals vermoedelijk ook bij de studie van Marinus het geval is geweest, is dat elke toename die tot een geluidbelasting van meer dan 65 dB(A) leidt een wijziging in de zin van de Wet Geluidhinder is. Aangezien langs alle drukke spoorlijnen woningen te vinden zijn met een geluidbelasting van meer dan 65 dB(A), ontkomen weinig situaties aan het regime van 'wijziging aan de spoorweg'. (zie ook Tweede Kamerstuk 24216, Evaluatie Besluit Geluidhinder Spoorwegen, vergaderjaar 1994-1995). In de studie van Marinus et al. (2000) is dit, wellicht door het verkennende karakter van die studie, niet meegenomen. Daardoor wordt de gehele lijn als bestaande situatie in de zin van de Wet Geluidhinder en niet als wijziging opgevat. Naar de mening van het RIVM is het verdedigbaar te stellen dat er sprake is van een nieuwe situatie. In dat geval is er sprake van een onderschatting van de noodzakelijk te maken kosten in alternatief 1.

¹⁸ Ter illustratie: indien voor alternatief 1 evenveel geld voor inpassingskosten zou worden uitgetrokken als voor de andere alternatieven zou met de daarvoor additioneel aan te leggen 20-30 km geluidscherm (2meter hoog) zeker een aanzienlijke reductie van geluidbelast oppervlak in woongebieden bereikt worden.

9 Conclusies

Dit hoofdstuk vat de conclusies uit het onderhavige rapport samen. Als eerste worden conclusies getrokken over de veranderingen in emissies in de verschillende projectalternatieven. Daarna komen de conclusies met betrekking tot geluidhinder aan bod.

veranderingen in emissies

De gemiddelde waarden methodiek is gebruikt om de effecten op emissies van de verschillende projectalternatieven te berekenen. Hierbij is gebruik gemaakt van de gegevens uit de vervoerwaardestudie van het NEI (NEI, 2000a). De emissiefactoren per trein- en zitplaatskilometer evenals voor de bezettingsgraden zijn door het RIVM berekend op basis van gegevens uit dezelfde vervoerwaardestudie. Hieronder volgen de belangrijkste conclusies:

- uitgaande van de meest realistische waarden voor het energiegebruik per zitplaatskilometer en de bezettingsgraad van treinen, leiden alle projectalternatieven tot een toename van de CO₂-, NO_x- en SO₂-emissies in Nederland in vergelijking tot het nulalternatief;
- de alternatieven met een magneetzwefstrein geven de grootste toename van deze emissies ten opzichte van het nulalternatief, de alternatieven met een snelle intercity (IC+; 200 km/h) geven de geringste emissietoename;
- de maximale toename van emissies zijn klein in vergelijking tot de totale emissies door de sector verkeer en vervoer, circa 0,2% voor CO₂ en 0,1% voor zowel NO_x als SO₂;
- de maximale toename van emissies is in vergelijking tot de totale nationale emissies nog kleiner, circa 0,05% voor CO₂ en 0,03% voor zowel NO_x als SO₂;
- uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat, alleen in het geval wordt uitgegaan van optimistische veronderstellingen voor de snelle trein, de projectalternatieven met een IC+ tot een geringe verlaging van de emissies leiden, de andere projectalternatieven leiden ook dan nog tot een (weliswaar geringere) toename van emissies;
- voor berekening van effecten op emissies door de ingebruikname van nieuwe spoorverbindingen zou in plaats van de gemiddelde waarden methodiek eigenlijk de marginale veranderingen methodiek moeten worden gebruikt, omdat de gemiddelde waarden methodiek als voorwaarde stelt dat de bezettingsgraden van reeds aanwezige vervoerwijzen niet worden beïnvloed door de modal shift, hetgeen niet altijd realistisch is;
- toepassing van de marginale veranderingen methodiek bleek niet mogelijk omdat de reeds uitgevoerde vervoerwaardestudie geen informatie bevat over gemiddelde treinlengtes;
- het indirecte effect op de CO₂-emissie door de aanleg van de Zuiderzeelijn is maximaal de helft van het directe effect, het indirecte effect op de NO_x- en SO₂-emissie is relatief erg onzeker maar is grofweg van dezelfde orde van grootte als het directe effect.

veranderingen in geluidhinder

- alle onderzochte alternatieven betekenen een verslechtering van de akoestische omgeving in (Noord-)Nederland;
- als uitgangspunt voor de vergelijking van de alternatieven is in het onderzoek van Marinus et al. gekozen voor het aanbrengen van geluidwerende voorzieningen indien noodzakelijk volgens de Wet geluidhinder. De daarbij gehanteerde interpretatie van het begrip 'wijziging' is echter discutabel;
- de alternatieven met magneetzwefstreinen veroorzaken de minste toename van geluidbelast oppervlak in woongebieden;
- bij de gehanteerde interpretatie van de Wet Geluidhinder als uitgangspunt veroorzaakt alternatief 1, snelle IC+-treinen (200 km/h) over een opgewaarderd bestaand spoor, de grootste toename van geluidbelast oppervlak in woongebied;

- alternatief 1 zorgt wel voor de minste verstoring in natuur- en stiltegebieden en (waarschijnlijk) in geluidbelast oppervlak, alternatieven 3 en 4, de Zuiderzeelijn als IC+ of HSL, veroorzaken de meeste verstoring in natuur- en stiltegebieden;
- indien voor alle alternatieven evenveel geld voor inpassingsmaatregelen (geluidschermen) gereserveerd zou worden of een andere interpretatie van het begrip 'wijziging' uit de Wet Geluidhinder zou zijn gehanteerd, zou alternatief 1 hoogstwaarschijnlijk ook de minste geluidbelasting in woongebieden veroorzaken en daarmee vanuit akoestisch oogpunt het meest wenselijke alternatief zijn.

10 Discussie en aanbevelingen voor verder onderzoek

In de KBA van het NEI zijn de milieu- en landschapseffecten slechts in beperkte mate in beschouwing genomen. Het onderhavige rapport gaat uitgebreider op deze effecten in. Er zijn echter nog steeds grote onzekerheden omtrent een deel van de effecten. In dit hoofdstuk gaan we in op de naar onze mening belangrijkste onzekerheden, en op informatie die ontbreekt maar wel nodig is om een min of meer volledig beeld van de milieu- en landschapseffecten te verkrijgen.

Emissies van overige stoffen

In de KBA zijn de emissies van CO₂ en NO_x in beschouwing genomen. In het onderhavige rapport is tevens SO₂ meegenomen. Deze drie stoffen zijn, uitgaande van de huidige inzichten in milieu-effecten en de invloed van de projectalternatieven op de emissies van de diverse stoffen, de belangrijkste. Doordat emissies van overige stoffen niet in beschouwing zijn genomen, en daarmee in de KBA ook niet zijn gemonetariseerd, geeft de KBA een (beperkte) onderschatting van de kosten van de extra emissies ten gevolge van de beschouwde alternatieven.

Verloop emissiefactoren binnen de zichtperiode

In KBA's wordt meestal een periode van tientallen jaren in beschouwing genomen. Emissiefactoren van de diverse treintypen zullen in de toekomst niet gelijk blijven, ten eerste omdat er wijzigingen kunnen optreden in de wijze van electriciteitsopwekking (brandstofmix, rendement, Warmte-Kracht Koppeling, wijzigingen in import en export), en ten tweede omdat wijzigingen kunnen optreden in de materieelinzet, en eventueel ook in operationele aspecten (bezettingsgraden, rijgedrag, dienstregeling). Ook emissiefactoren van auto's zullen in de toekomst wijzigen; deze zijn relevant indien er substitutie tussen auto en trein plaatsvindt. Het verdient daarom aanbeveling bij het inschatten van de milieu-effecten van railinfrastructuurprojecten met het verloop van emissiefactoren door de tijd rekening te houden.

Beschikbaarheid informatie magneetzweeftrein

Over het energiegebruik van magneetzweeftreinen hebben wij slechts gegevens van de fabrikant Siemens aangetroffen. Wij hebben geen redenen om aan te nemen dat deze informatie niet deugt. Niettemin verdient het naar onze mening aanbeveling nader onafhankelijk uitgevoerd onderzoek uit te voeren naar het energiegebruik van de magneetzweeftrein. Ook voor de geluidemissie ervan heeft het RIVM slechts 1 bron aangetroffen (MVP) waarvan de onafhankelijkheid niet gegarandeerd is.

Beschikbaarheid informatie NS

De informatie van de NS die nodig is om de emissie-effecten van de beschouwde alternatieven in te kunnen schatten, is veelal niet voorhanden. Mede in het licht van het feit dat milieu-aspecten mede een motivatie zijn om publieke middelen voor railvervoer beschikbaar te zijn, lijkt het gepast dat de NS meer informatie beschikbaar stelt. Vermoedelijk zal dit niet plaatsvinden zonder beleidsmatige prikkels. Overigens is er veel meer en kwalitatief betere informatie over geluidsaspecten beschikbaar dan over energiegebruik (en daarmee emissies).

Belang bezettingsgraden

Uit de onderhavige studie komt naar voren dat de veronderstelde bezettingsgraden van de diverse alternatieven van groot belang kunnen zijn voor de berekende effecten op energiegebruik en emissies. Met name indien de omvang van de vervoersstromen op een lijn

sterk variëren (in deze studie: veel meer reizigers op trajectdelen in de Randstad, dan op trajectdelen in het noorden), zullen de bezettingsgraden in het algemeen lager zijn dan bij meer gelijke vervoersstromen, tenzij onderweg treinstellen worden af- en aangekoppeld. Het is de vraag of die af- een aankoppelingen haalbaar zijn, gegeven de (veronderstelde) dienstregelingen.

Lange termijn: duurzame energie?

Het is denkbaar dat er op lange termijn (over tientallen jaren) duurzame energiebronnen beschikbaar komen, voor electriciteitsopwekking en/of voor verbrandingsmotoren. In dat geval zullen zowel de emissies van treinen en/of auto's fors lager kunnen uitvallen (of zelfs geheel afwezig kunnen zijn), wat de milieu-impact van rail-infrastructuurprojecten sterk kan beïnvloeden.

Gezondheidseffecten van elektromagnetische velden

Een magneetweeftrein veroorzaakt elektrische, magnetische en elektromagnetische velden. Naar de sterkte van deze velden is onderzoek uitgevoerd door Wedemann (1999). Wedemann, die is verbonden aan de Industriebetriebe-Betriebsgesellschaft mbH, Magnetbahnversuchsanlage, concludeert dat er naar de huidige kennis voor passagiers of mensen die in de omgeving van een magneetweefbaan verblijven geen risico's zijn. Dit onderzoek is echter niet door een onafhankelijke instantie uitgevoerd. Verder geeft Transrapid International in een folder¹⁹ aan dat de impact van de magnetische velden, veroorzaakt door de trein extreem laag is (vergelijkbaar met het aardmagnetisch veld, en 20 tot 1000 maal lager dan de Duitse normen. De metingen zouden onafhankelijk zijn uitgevoerd. Het verdient aanbeveling de betreffende bronnen nader te verifiëren en eventueel nader onafhankelijk onderzoek naar de veldsterkten uit te voeren, inclusief de gezondheidseffecten die daarvan het gevolg kunnen zijn.

Relatie type geluid en geluidhinder

Het karakter van het geluid (verdeling over frequenties) van de magneetweeftrein verschilt van dat van een 'gewone' trein. Voor zover ons bekend is er geen informatie voorhanden over de invloed van het *type* treingeluid op de ervaren geluidhinder. Het verdient aanbeveling hier nader onderzoek naar uit te voeren.

Vergelijkbaarheid alternatieven ten aanzien van geluidmaatregelen

De getroffen maatregelen om de geluidhinder te beperken, verschillen tussen de beschouwde alternatieven. Reden hiervoor is dat er – juridisch gezien; volgens de Wet geluidhinder - bij bepaalde alternatieven geen sprake zou zijn van een 'wijziging van de bestaande situatie', waardoor hogere geluidbelastingen acceptabel zijn. Voor 'wijzigingen' en 'nieuwe situaties' gelden strengere normen dan voor bestaande situaties. Het verdient naar onze mening aanbeveling bij een vergelijking van de geluidsindicatoren zowel de alternatieven te vergelijken, uitgaande van het vigerende wettelijke kader, als uitgaande van vergelijkbare maatregelen. Deze informatie is alleen al relevant om een beeld van de (mogelijke) geluideffecten van de diverse alternatieven te verkrijgen. Indien de additionele kosten van extra geluidmaatregelen sterk verschillen van de additionele baten ervan, wordt het expliciet vermelden van deze informatie nog relevanter. Indien bijvoorbeeld in een alternatief minder maatregelen getroffen zouden hoeven te worden, maar de kosten van extra maatregelen zijn veel lager dan de extra baten, dan zou het saldo van die alternatieven gunstiger zijn door die additionele maatregelen mee te nemen. Overigens wijst de Algemene Rekenkamer (2000) in het rapport over de besluitvorming over de Betuweroute erop dat er juridisch gezien al snel

¹⁹ zie <http://www.transrapid.de/english/service.html>

sprake is van een wijziging van de bestaande situatie. De rekenkamer baseert zich daarbij op een uitspraak Magreet de Boer, voormalig minister van VROM.

Gebrekkige informatie over de invloed op landschap / horizon / versnippering / natuur

Er is weinig informatie bekend over de invloed van infrastructuurprojecten op landschap, horizonvervuiling, versnippering en aantasting van de natuur door overige invloeden. Gezien de grote invloed die nieuwe infrastructuurprojecten op dergelijk aspecten (kunnen) hebben, verdient het aanbeveling naar deze invloeden nader onderzoek te doen. Het betreft zowel de fysieke invloeden als de monetaire waardering ervan.

NEI-rapport is kentallen KBA

De uitgevoerde KBA is 'slechts' een kentallen-KBA. Het is daarom begrijpelijk dat bepaalde (milieu)effecten minder grondig zijn meegenomen dan wat wenselijk zou zijn in een 'volledige' KBA. Het signaleren van in de KBA niet of niet geheel juist meegenomen milieu-aspecten is daarmee niet op voorhand kritiek op de kentallen-KBA. Niettemin zijn wij van mening dat het aanbeveling verdient in de toekomst – meer dan momenteel het geval is – ook in kentallen-KBA's aandacht te besteden aan milieu-effecten. Het gaat daarbij vooral op de invloed van bezettingsgraden op emissiefactoren, het verloop van emissiefactoren binnen de beschouwde tijdshorizon, de vergelijkbaarheid van de geluidmaatregelen in de diverse alternatieven, en invloed op landschap en natuur.

Literatuur

- Algemene Rekenkamer (2000) Beleidsinformatie Betuweroute, Tweede Kamer, vergaderjaar 1999-2000, 27 195, nrs. 1-2, 's-Gravenhage: Sdu uitgevers
- Boer, M. de (1995) Evaluatie Besluit Geluidhinder Spoorwegen, Tweede Kamerstuk 24216, vergaderjaar 1994-1995, Den Haag
- Bos, S., H. Moll (1997) Het indirecte energiegebruik en de indirecte emissies van het transportsysteem, paper gepresenteerd op het Colloquium Verkeer, Milieu en Techniek, 24 september 1997, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven
- Bos, S. (1998) Direction indirect; the indirect energy requirements and emissions from freight transport, Rijksuniversiteit Groningen, Groningen
- Brink, R.M.M. van den, G.P. van Wee (1997) Energiegebruik en emissies per vervoerwijze, Rapportnr. 773002007, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven
- Brink, R.M.M. van den, A. Gijzen (2001) Het spoor in model: berekeningen van energiegebruik en emissies door treinen, aangeboden aan MILIEU, januari 2001
- CBS (1999) Onderzoek Verplaatsingsgedrag 1999, Centraal Bureau voor de Statistiek, Heerlen/Voorburg
- CPB (1997) Economie en fysieke omgeving. Beleidsopgaven en oplossingsrichtingen 1995-2020, Sdu uitgevers, Den Haag
- Dijkhuizen, A.J. (2000) Energie aspecten Magneetzwefstreinen, Notitie Adviesgroep Transport Emissies, TNO-Wegtransportmiddelen, Delft
- Feimann, P.F.L., K.T. Geurs, R.M.M. van den Brink, J.A. Annema, G.P. van Wee (2000) Verkeer en vervoer in de Nationale Milieuverkenning 5, Rapportnr. 408129014, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven
- Gijzen, A. (in voorbereiding) Het spoor in model. Beschrijving en toepassing van het model PRORIN, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven
- Gijssen, A., J. Spakman (2001) DAMES: een bestand voor de macro-emissies van het Nederlandse elektriciteitsaanbod in 1995, 1998, 2010, 2020 en 2030, Rapportnr. 773001017, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven
- Haaren, R. van (1998) Aëro-akoestisch geluid bij hogesnelheidstreinen, paper gepresenteerd op congres 'Geluid en Trillingen', Ede
- Hopkins, T., J. Pinto Silva, B. Marder, B. Turman, B. Kelley (1999), Maglift Monorail, a high-performance, low-cost, and low-risk solution for high-speed ground transportation, paper presented to the High Speed Ground Transportation Association, 1999 Annual Conference, Seattle, June 6-9, 1999
- Lukaszewicz, P. (1995) Running resistance of passenger and freight trains, methodology and test results, Royal Institute of Technology, Railway Technology, Department of Vehicle Engineering, Stockholm
- Marinus H., Meijs R. van der, Sarink H. (2000) Ontwerp, Inpassing, Kosten & Effecten, projectorganisatie Zuiderzeelijn, Utrecht
- Marlet, G.A., C.M.C.M. van Woerkens (2000) Sporen van vooruitgang, NYFER, Breukelen
- Mnich, P., A. Stephan, E. Fritz (1998) Energiebedarf der Bahnsysteme TRANSRAPID und ICE 3 Strecke Berlin – Hamburg, IFB/TUB-Bericht-Nr. 98/BeB/82, Institut für Bahntechnik GmbH, Technischen Universität Berlin/Dresden, Berlin/Dresden, 7 mei 1998
- MVP (2000) www.mvp.de, Versuchs und Planungsgesellschaft für Magnetbahnsysteme m.b.H
- NEI (2000a) Vervoerwaarde Studie Zuiderzeelijn, Nederlands Economisch Instituut, Rotterdam, september 2000

- NEI (2000b) KBA van een snelle verbinding naar het noorden, Nederlands Economisch Instituut, Rotterdam, november 2000
- Neugebauer, D., Ortscheid J. (1997) Geräuschbewertung des Transrapid, UmweltBundesAmt, Berlin
- NS (2000) Jaarverslag 1999, Nederlandse Spoorwegen, Utrecht
- Railned (1996) Modernisering tractie-energievoorziening, bijlagenrapport, Organisatie voor Capaciteitsmanagement en Spoorveiligheid (Railned), Utrecht, 27 maart 1996
- RIVM (2000) Nationale Milieuverkenning 5 2000-2030, Samson bv., Alphen aan den Rijn
- RIVM (2000a) Milieubalans 2000, Samson bv., Alphen aan den Rijn
- Rutten, B.J.C.M. (1995) Does international transport decrease energy consumption and CO₂ emissions in freight transport, WCTR, Sydney, July 16-21, 1995
- Schmitz, K.P. (1996) Schallmessungen am Transrapid 07 nach der Bugmodifikation , B-TM96002, IABG (Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft m.b.H.)
- Schmitz, K.P., Möhler, U., Fastl, H. (1997) Die Vorschrift 'Schall-Transrapid', der Weg zur Planbarkeit der Schallimmission entlang einer Transrapidstrecke, IABG (Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft m.b.H.)
- Schmitz, K.P. (1998) Schallemission des TR07 nach Einbau und Modifikation der Schwebegestellverkleidungen , Technische Mitteilung T TM 98 019, IABG (Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft m.b.H.)
- SNCF (2001) <http://www.sncf.com/co/materiel/tgv/index.htm>, 14 januari 2001
- Transrapid (2001), <http://www.transrapid.de/english/technik.html>, 14 januari 2001
- Wedemann, K.E. (1999) Elektrische Magnetische und Elektromagnetische Umweltverträglichkeit der Magnetschnellbahn Transrapid. In: Nichtionisierende Strahlung – mit ihr leben in Arbeit und Umwelt – 31. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, Köln, 27. September – 1 Oktober 1999, Band II, pp. 847-860
- Wee, G.P. van, M.A.J. Kuijpers-Linde, O.J. van Gerwen (red.) (2000) Emissies en kosten tot 2030 bij het vastgesteld milieubeleid. Achtergronddocument bij de Nationale Milieuverkenning 5. Rapport nr 408129013, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven
- Zeichart, K. (1999) Noise annoyance from high-speed trains in Germany, paper gepresenteerd tijdens Internoise 1999, Fort Lauderdale, USA

Bijlage 1 Verzendlijst

- 1 DGM, Directie Strategische Planning
- 2 plv. Directeur-Generaal Milieubeheer, Dr Ir B.C.J. Zoeteman
- 3 Prof. Dr P. Nijkamp – Vrije Universiteit Amsterdam
- 4 Prof. Dr P. Rietveld – Vrije Universiteit Amsterdam
- 5 Prof. Dr F. den Butter – Vrije Universiteit
- 6 Prof. Dr F.M. Dieleman – Universiteit Utrecht
- 7 Prof. Dr P.H.L. Bovy – Technische Universiteit Delft
- 8 Prof. Dr A.I.J.M. van der Hoorn – Universiteit van Amsterdam/ AVV
- 9 Prof. Dr F. le Clercq – Universiteit van Amsterdam/Twijnstra Gudde
- 10 Prof. Dr M. van Maarseveen - Technische Universiteit Twenthe
- 11 Prof. Dr Ir P.A. Steenbrink
- 12 Prof. Ir F. Sanders - Technische Universiteit Delft
- 13 Prof. Dr Ir H. Priemus - Technische Universiteit Delft/OTB
- 14 Prof. Dr H.J. van Zuylen – Technische Universiteit Delft
- 15 Dr. C.M. Plug – VROM/DGM
- 16 Ir A.J. Baayen – VROM/DGM
- 17 Ir M. van den Berg – VROM/DGM
- 18 Drs H.C.G.M. Brouwer – VROM/DGM
- 19 Dr C. Havenith – VROM/DGM
- 20 Ir B.J.F. Kortbeek – VROM/DGM
- 21 Ing. D. de Jong – VROM/DGM
- 22 Mr M.C. Kroon – VROM/DGM
- 23 Drs. R. Bouman – VROM/DGM
- 24 W.J. Lenstra – VROM/DGM
- 25 Drs. A.J. van Marlen – VROM/DGM
- 26 A. Bruines – VROM-raad
- 27 Drs H.E. ten Velden - RPD
- 28 Drs N.M. Beekman - V&W
- 29 Drs R. Braakenburg van Backum - V&W
- 30 Ir A.N. Bleijenberg – V&W
- 31 Drs J.G. Veldhuis – V&W/DLB
- 32 Mr Ir J.P. Jonges, RWS-AVV
- 33 Ing. H. Flikkema – RWS-AVV
- 34 H. Besseling – RWS-AVV
- 35 M. van Wolters – RWS-AVV
- 36 Ir P.C.M. Polak – RWS-AVV
- 37 Drs J.M. Francke – RWS-AVV
- 38 Ir J. van der Waard – RWS-AVV
- 39 J. Veurman – RWS-AVV
- 40 Drs E. Schol – RWS-AVV
- 41 F. Buis – Projectorganisatie HSL zuid / V&W
- 42 H. Marinus – Projectorganisatie Zuiderzeelijn / DHV
- 43 R. van der Meijs – Projectorganisatie Zuiderzeelijn / MVP
- 44 Dr S.A. Rienstra – Ecorys (NEI)
- 45 Drs E.J. Dietz – CBS
- 46 Ing. J.A.P. Klein – CBS
- 47 Drs J.J. Schlösser – CBS
- 48 Dr. C. Koopmans – CPB

- 49 Ir J.J.E.A van Meel – NOVEM
50 Ing. A. Jansen – NOVEM
51 Dr J.J.J.M. Goumans – NOVEM
52 Dr G.J. van Oortmarssen – NOVEM
53 Ir P. Kroon – ECN
54 Drs A.T.J. Groot - ECN
55 Ir W. J. van Grondelle – SNM
56 J. Fransen – SNM
57 Drs. J. Steijn – VNO/NCW
58 Ir P.H.R. Langeweg – ANWB
59 Ing. R. Hendriks – ANWB, redactie verkeerskunde
60 Ing. A.J.M. Hermes – BOVAG
61 R. Broekhuizen – MOBIL
62 Drs W. Korver – TNO-INRO
63 Ir E.J. Verroen – TNO-INRO
64 Ir F. de Roo – TPD-TNO
65 Ir R.C. Rijkeboer – TNO-WT
66 Ir N.L.J. Gense – TNO-WT
49 Ir J.H.J. Hulskotte – TNO-MEP
67 Dr. Ir. B.J.M. Rutten – CMG
68 Dr H.J. Meurs – MuConsult
69 Dr G.C. de Jong – HCG
70 Ing. P.M. Peeters – Peeters advies
71 Ir C. Harders – TRANSEK (Zweden)
72 Ing. K.L. van de Zande – AGV
73 D.H.W.H. Hermans – Goudappel Coffeng
74 J.T. Jetten – NEA
75 Drs. L. van der Velde – NEA
76 Ir J.M.W. Dings – CE
77 Ir P. Janse – CE
78 Drs A. Gijsen – CE
79 Drs U.Ph. Blom – B&A
80 Grontmij
81 Arcadis
82 Ir Th.J.H. Schoemaker – TUD
83 Ir P.M. Schrijnen – TUD
84 C. Kuijpers – Katholieke Universiteit Leuven, Centrum voor Economische Studies.
85 Depot van Nederlandse publikaties en Nederlandse bibliografie
86 Nederlands Instituut voor Wetenschappelijke Informatiediensten
87 Bibliotheek VU
88 Bibliotheek UvA
89 Bibliotheek Faculteit der Economische Wetenschappen en Econometrie – UvA
90 Bibliotheek SEO
91 Bibliotheek RPD
92 Bibliotheek V&W
93 Bibliotheek AVV
94 Bibliotheek TU Delft
95 Bibliotheek TU Eindhoven
96 Bibliotheek TU Twente
97 Bibliotheek RUU
98 Bibliotheek KUN

99	Bibliotheek NHTV
100	Connekt
101	Directie RIVM
102	Ir F. Langeweg
103	Drs R.J.M. Maas
104	Dr. J.A. Hoekstra
105	Dr. Th.G. Aalbers
106	Drs. ing. K.T. Geurs
107	Drs J.A. Annema
108	Ir P.F.L. Feimann
109	W.K. Jansen
110	J. Willigers
111-113	Auteurs
114	Hoofd Bureau Voorlichting en Public Relations
115	Bibliotheek RIVM
116	Bureau Rapportenregistratie
117-127	Bureau Rapportenbeheer
128-140	Reserve-exemplaren

Bijlage 2 Verklaring van afkortingen en begrippen

A	=	frontaal oppervlak (m ²)
CO ₂	=	kooldioxide
C _w	=	luchtweerstandscoefficiënt
EC	=	European Coordination (macro-economisch scenario van het CPB)
GC	=	Global Competition (macro-economisch scenario van het CPB)
GJ	=	GigaJoule (10 ⁹ Joule; energiemaat)
IC	=	intercity (maximum snelheid 140 km/h)
IC+	=	intercity + (maximum snelheid 200 km/h)
HSL	=	hogesnelheidstrein (maximum snelheid (260 km/h)
HZL	=	Hanzelijn (nieuwe spoorverbinding tussen Lelystad en Zwolle)
KBA	=	Kosten-BatenAnalyse
kton	=	1 miljoen kilogram
kWh	=	kiloWattuur (3600 Joules; energiemaat)
MJ	=	MegaJoule (10 ⁶ Joule; energiemaat)
MV5	=	Milieuverkenning 5 (RIVM)
MVP	=	Versuchs- und Planungsgesellschaft für Magnetbahnsysteme mbH (= organisatie die zich bezighoudt met het testen van magneetzweeftreinen in het Duitse Emsland)
MZB	=	projectalternatief met zowel snel- als stopmagneetzweeftrein
MZM	=	projectalternatief met alleen stopmagneetzweeftrein
MZ _{snel}	=	magneetzweeftrein (sneltrainvariant)
MZ _{stop}	=	magneetzweeftrein (stoptreinvariant)
NO _x	=	stikstofoxide
PJ	=	PetaJoule (10 ¹⁵ Joule; energiemaat)
PRORIN	=	PRognosemodel voor energiegebruik en emissies van Railvervoer In Nederland
rkm	=	reizigerkilometer
SO ₂	=	zwaveldioxide
ST	=	sneltrain
ton	=	1000 kilogram
tonkm	=	tonkilometer (= 1000 kg verplaatst over 1 kilometer)
Transrapid	=	Duits consortium bestaande uit Siemens, Adtranz, ThyssenKrupp, Deutsch Bahn, MVP en de federale Duitse overheid dat zich bezig houdt met de ontwikkeling en de promotie van de magneetzweeftrein
uitroltijd	=	tijd tussen het uitschakelen van de aandrijving en stilstand
zkm	=	zitplaatskilometer
ZZL	=	Zuiderzeelijn (nieuwe spoorverbinding tussen Lelystad en Groningen)

Bijlage 3 Gebruikte volumegegevens uit NEI (2000a)

Tabel B3.1 Baanvakbelasting per etmaal HZL-alternatieven en aantal treinen per uur (1 richting, alleen snelste vervoerwijze)

	nulalternatief		HZL-IC+		HZL-HSL	
	pass.	treinen	pass.	treinen	pass.	treinen
Schiphol – WTC	10.700	3 ^{a)}	10.855	3 ^{a)}	14.531	3 ^{a)}
WTC – Almere	10.932	2	12.405	2	16.855	2
Almere – Zwolle	8.170	2	8.133	2	12.198	2
Zwolle – Assen	3.165	2	3.679	2	7.345	1
Assen – Groningen	3.146	2	3.269	2	7.345	1
Zwolle – Steenwijk	4.585	1	4.705	1	4.014	1
Steenwijk – Heerenveen	4.271	1	4.344	1	4.014	1
Heerenveen – Leeuwarden	3.693	1	3.778	1	4.014	1

a) de HSL-zuid rijdt door tot Amsterdam-WTC

Tabel B3.2 Baanvakbelasting per etmaal ZZL-alternatieven en aantal treinen per uur (1 richting, alleen snelste vervoerwijze)

	ZZL-IC+		ZZL-HSL		ZZL-MZB		ZZL-MZM	
	pass.	treinen	pass.	treinen	pass.	treinen	pass.	treinen
Schiphol – WTC	10.693	3 ^{a)}	9.208	3 ^{a)}	14.150	4 (6) ^{b)}	15.754	6
WTC – Almere	12.245	2	12.078	2	21.782	4 (6) ^{b)}	24.332	6
Almere – Lelystad	6.956	2	8.561	2	16.878	4	22.188	6
Lelystad – Emmeloord	6.956	2	8.561	2	13.754	4	17.245	6
Emmeloord – Heerenveen	6.956	2	8.561	2	12.596	4	15.687	6
Heerenveen – Drachten	4.683	2	5.917	2	11.481	4	12.701	6
Drachten – Groningen	4.683	2	5.917	2	10.200	4	11.246	6

a) de HSL-zuid rijdt door tot Amsterdam-WTC

b) in de spits rijdt er 2 maal per uur een spitsshuttle (ook magneetweeftrein)

Tabel B3.3 Substitutie en generatie in reizigerkilometers in EC-scenario (per etmaal; alleen snelste vervoerwijze)

(* 1000)	EC-2020				EC-2030			
	substitutie		generatie	totaal	substitutie		generatie	totaal
	conv. trein	auto			conv. trein	auto		
HZL-IC+	3.250	11	451	3.712	3.472	12	482	3.966
HZL-HSL	4.193	0	1.252	5.445	4.480	0	1.337	5.817
ZZL-IC+	2.114	60	624	2.798	2.259	64	666	2.989
ZZL-HSL	1.902	0	1.302	3.204	2.032	0	1.392	3.424
ZZL-MZB	2.960	33	2.493	5.486	3.162	35	2.664	5.861
ZZL-MZM	2.339	114	4.051	6.504	2.499	121	4.328	6.948

Tabel B3.4 Substitutie en generatie in reizigerkilometers in GC-scenario (per etmaal; alleen snelste vervoerwijze)

(* 1000)	GC-2020				GC-2030			
	substitutie		generatie	totaal	substitutie		generatie	totaal
	conv. trein	auto			conv. trein	auto		
HZL-IC+	2.984	10	414	4.269	3.146	10	437	3.408
HZL-HSL	3.850	0	1.149	6.263	4.059	0	1.212	4.999
ZZL-IC+	1.941	55	572	3.218	2.047	58	604	2.568
ZZL-HSL	1.746	0	1.196	3.686	1.841	0	1.261	2.942
ZZL-MZB	2.718	30	2.289	6.311	2.866	32	2.414	5.037
ZZL-MZM	2.148	104	3.719	7.481	2.265	110	3.922	5.971

*Tabel B3.5 Verandering autokilometers in Nederland per etmaal ten opzichte van HZL-Ref (*1000)*

(* 1000)	EC-2020	EC-2030	GC-2030	GC-2030
HZL-IC+	96	101	95	100
HZL-HSL	72	75	71	74
ZZL-IC+	-60	-63	-59	-63
ZZL-HSL	72	75	71	74
ZZL-MZB	-33	-35	-33	-35
ZZL-MZM	-113	-119	-112	-118

Bijlage 4 Verschillen met KBA van het NEI

Het NEI heeft in de studie *KBA van een snelle verbinding naar het noorden* (NEI, 2000b) op basis van de gemiddelde waarden methodiek een berekening van de effecten op onder andere de CO₂- en NO_x-emissie van de verschillende projectalternatieven gedaan. Aangezien het RIVM zich heeft gebaseerd op dezelfde volumegegevens als het NEI (NEI, 2000a) zijn de verschillen te verklaren door verschillen in de aannames over het elektriciteitsgebruik per zitplaatskilometer, de bezettingsgraden en de emissies (door elektriciteitscentrales) per eenheid van elektriciteit. Hieronder volgen de opmerkelijkste verschillen in uitgangspunten tussen NEI en RIVM. Daarna worden de resultaten met betrekking tot effecten op emissies vergeleken. Als besluit van deze bijlage wordt ingegaan op de invloed van het verschil in inzichten op het saldo van kosten en baten van een snelle verbinding naar het noorden.

Electriciteitsgebruik per zitplaatskilometer

Vergelijking van de RIVM-resultaten met betrekking tot het electriciteitsgebruik (aan de bovenleiding) per zitplaatskilometer met de uitgangspunten die het NEI in de KBA heeft gehanteerd geeft geen eenduidig beeld. Over het algemeen hanteert het NEI hogere waarden maar de verschillen variëren van 5% hoger (HSL) tot 50% hoger (ST). Doordat het NEI aanzienlijk hogere bezettingsgraden hanteert voor alle treinalternatieven (zie Tabel 4) komen de door het NEI gehanteerde elektriciteitsverbruiken per reizigerkilometer meer in de buurt van onze resultaten.

Emissies per eenheid elektriciteit

Voor de CO₂-emissie per eenheid elektriciteit (aan de bovenleiding) hanteert het NEI 0,40 kg/kWh terwijl het RIVM voor 2020, afhankelijk van het scenario 0,30 tot 0,35 kg/kWh heeft berekend. In 2030 komt volgens RIVM-berekeningen de CO₂-emissie per kWh zelfs op 0,3 kg/kWh te liggen, hetgeen 25% lager is dan de door NEI gebruikte waarde. Voor de NO_x-emissie per kWh zijn de verschillen nog groter: het NEI hanteert voor alle zichtjaren 0,48 g/kWh terwijl het RIVM circa 0,20 tot 0,25 g/kWh voor 2020 hanteert en circa 0,20 g/kWh voor 2030. Eén van de vermoedelijke redenen voor dit grote verschil is dat NEI uitgaat van de emissies door elektriciteitsproductie in 2010 en bovendien vermoedelijk alleen centrale elektriciteitsproductie beschouwd en niet decentrale productie. Met name de decentrale productie (electriciteitsproductie als bijproduct van de warmteproductie in de industrie) wordt in de toekomst gedomineerd door WKK (warmte-krachtkoppeling) dat wordt gekenmerkt door relatief lage emissies per eenheid geproduceerde elektriciteit (zie Gijsen en Spakman, 2001).

Bezettingsgraden

Het NEI hanteert aanzienlijk hogere bezettingsgraden dan die door het RIVM zijn berekend, namelijk 70% voor alle treinalternatieven. Op basis van de vervoerwaardestudie van het NEI en op basis van gemiddelde bezettingsgraden van snelle treinen in andere Europese landen, kan worden gesteld dat de door NEI gehanteerde bezettingsgraden van 70% vermoedelijk te hoog zijn, tenzij de treinlengte op het traject Schiphol-Groningen/Leeuwarden wordt aangepast aan de vervoersvraag, hetgeen betekent dat onderweg treinstellen moeten worden aan- en afgekoppeld. Dit lijkt gezien de huidige praktijk geen aannemelijke optie omdat het aan- en afkoppelen kan leiden tot vertragingen door storingen.

Emissies per reizigerkilometer

De verschillen in CO₂-emissies per reizigerkilometer tussen NEI en RIVM zijn gering (zie Tabel B4.1). Het NEI hanteert weliswaar een hoger elektriciteitsgebruik per zitplaatskilometer en een hogere CO₂-emissie per kWh maar deze beide worden gecompenseerd doordat het NEI

een hogere bezettingsgraad hanteert. De NO_x-emissies per reizigerkilometer van het NEI zijn voor 2020 tot een factor 2 hoger dan de NO_x-emissiefactoren in de onderhavige studie. In 2030 zijn de maximale verschillen nog groter doordat het NEI geen daling in de milieubelasting door elektriciteitsproductie veronderstelt terwijl onderhavige studie dat wel doet.

Tabel B4.1 Vergelijking van emissiefactoren tussen NEI en RIVM

trace:		HZL	HZL	HZL	ZZL	ZZL	ZZL	ZZL
treintype:		IC/ST	IC+	HSL	IC+	HSL	MZ snel	MZ stop
gemid. afstand tussen stops	km	18 / 42	42	53	47	47	47	27
maximum snelheid	km/h	140	200	260	200	260	400	400
RIVM: EC-2020								
CO ₂ -emissie	g/rkm	15 / 20	30	34	29	36	46	49
NO _x -emissie	mg/rkm	12 / 15	23	26	22	28	35	38
SO ₂ -emissie	mg/rkm	3 / 3	5	6	5	6	8	9
RIVM: EC-2030								
CO ₂ -emissie	g/rkm	15 / 19	29	32	27	35	44	47
NO _x -emissie	mg/rkm	10 / 13	20	22	19	24	30	32
SO ₂ -emissie	mg/rkm	1 / 2	2	2	2	3	4	4
NEI ^{a)}								
CO ₂ -emissie	g/rkm	18	28	33	28	33	57	59
NO _x -emissie	mg/rkm	21	34	39	34	39	68	71
SO ₂ -emissie	mg/rkm	-	-	-	-	-	-	-

a) in NEI (2000b) gelden identieke emissiefactoren voor alle scenario's en alle zichtjaren 2020, 2030 en 2040

Directe effecten op emissies

De tabellen B4.2 en B4.3 geven de verschillen in effecten op emissies in EC-2020 en EC-2030. Figuur B4.1 geeft de verschillen voor EC-2020 nog eens grafisch weer. In het algemeen komt het RIVM voor de alternatieven met IC+ en HSL tot iets grotere effecten op de CO₂-emissie. Voor de alternatieven met een magneetzweeftrein komt het RIVM op circa 20% lager effecten op CO₂-emissies. De RIVM -inschatting voor de effecten op NO_x zijn 20 tot 60% lager dan die van het NEI.

Tabel B4.2 Vergelijking van effecten op emissies in EC-2020 tussen NEI en RIVM

EC-2020	CO ₂ (kton)			NO _x (ton)		
	RIVM ^{a)}	NEI ^{b)}	verschil RIVM t.o.v. NEI	RIVM ^{a)}	NEI ^{b)}	verschil RIVM t.o.v. NEI
HZL-IC+	16	13	+24%	12	15	-19%
HZL-HSL	33	30	+10%	25	35	-29%
ZZL-IC+	11	10	+14%	10	12	-18%
ZZL-HSL	24	20	+19%	18	24	-24%
ZZL-MZB	60	73	-18%	46	87	-47%
ZZL-MZM	78	95	-18%	62	113	-46%

a) effecten bij de meest waarschijnlijke waarden voor elektriciteitsgebruik per zitplaatskilometer en bezettingsgraad ('meest realistische' scenario in gevoeligheidsanalyse in paragraaf 6.4)

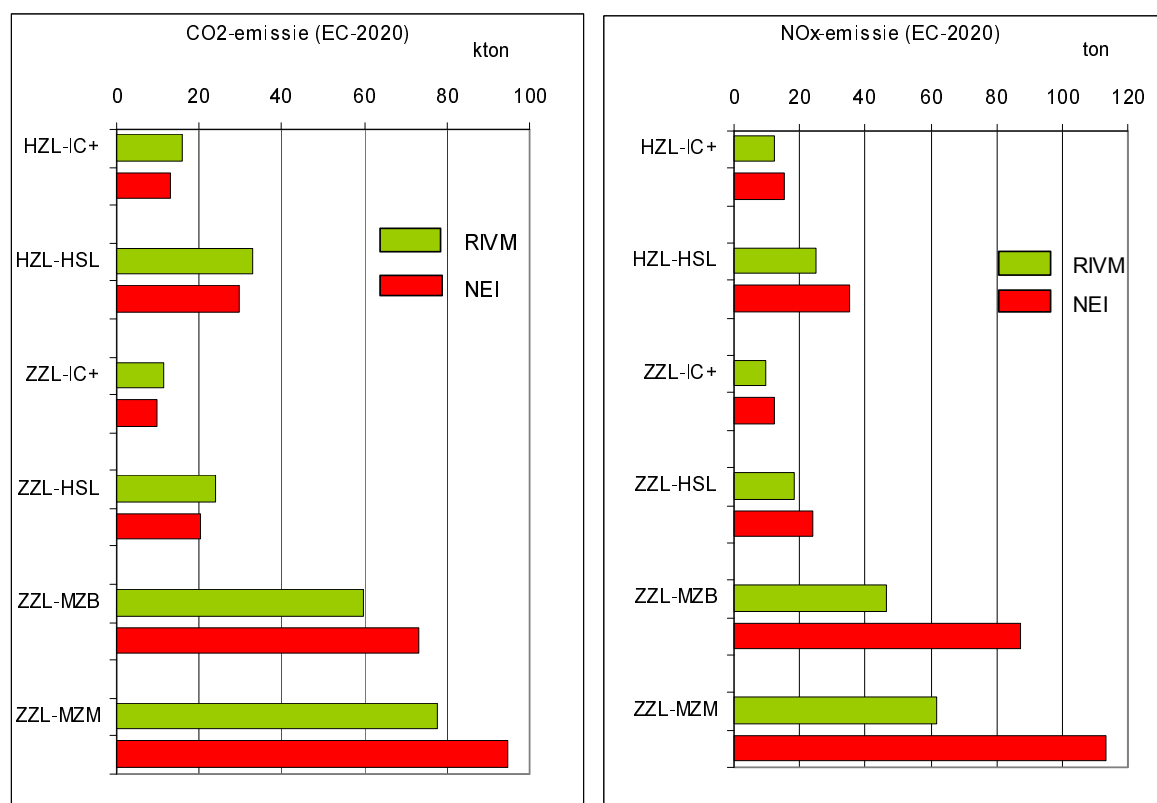
b) bron: NEI (2000b) ('lage benadering')

Tabel B4.3 *Vergelijking van effecten op emissies in EC-2030*

EC-2030	CO ₂ (kton)			NO _x (ton)		
	RIVM ^{a)}	NEI ^{b)}	verschil RIVM t.o.v. NEI	RIVM ^{a)}	NEI ^{b)}	verschil RIVM t.o.v. NEI
HZL-IC+	16	14	+18%	11	17	-31%
HZL-HSL	33	32	+5%	23	38	-39%
ZZL-IC+	11	11	+8%	9	13	-31%
ZZL-HSL	25	22	+13%	17	26	-35%
ZZL-MZB	61	78	-22%	42	93	-54%
ZZL-MZM	79	101	-22%	56	121	-53%

a) effecten bij de meest waarschijnlijke waarden voor elektriciteitsgebruik per zitplaatskilometer en bezettingsgraad ('meest realistische' scenario in gevoeligheidsanalyse in paragraaf 6.4)

b) bron: NEI (2000b) ('lage benadering')



Figuur B4.1 *Verschillen in effecten op emissies voor EC-2020 tussen NEI en RIVM*

Effect saldo kosten en baten

Op basis van de in NEI (2000b) gebruikte ramingen voor de bestrijdingskosten voor CO₂ en NO_x wordt in deze paragraaf berekend wat het effect is op het saldo van kosten en baten van de verschillen tussen het NEI en het RIVM voor wat betreft de effecten op emissies. In NEI (2000b) wordt voor de bestrijdingskosten van CO₂ 15 tot 100 Euro per ton (1000 kg) gehanteerd en voor NO_x 7 Euro per kg. Het NEI heeft berekend dat de kosten van extra CO₂- en NO_x-emissie afhankelijk van het projectalternatief inliggen tussen de 0,7 en 2,2% van de totale kosten. De in Tabel B4.2 en B4.3 gepresenteerde verschillen (RIVM-resultaten zijn maximaal 55% lager en 20% hoger dan NEI-resultaten) hebben daarom nauwelijks invloed op het saldo van kosten en baten.

Bijlage 5 Energiegebruik per zitplaatskilometer bij andere operationele omstandigheden

Deze bijlage geeft voor de conventionele intercitytreinen, de IC+-treinen, hogesnelheidstreinen (HSL) en de magneetweeftreinen het energiegebruik per zitplaatskilometer bij andere operationele omstandigheden (maximum snelheid, afstand tussen stops) dan die zijn verondersteld in de onderhavige studie (zie Tabel 1). De energievraag is uitgedrukt in elektriciteitsvraag (in Wattuur, afgekort Wh) aan de elektriciteitscentrale. De emissies per zitplaatskilometer kunnen worden berekend met behulp van Tabel 6 van het hoofdrapport.

