

Valkuilen voor de Superbus

Prof. Dr.-Ing. I.A. Hansen

Technische Universiteit Delft
Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen
Sectie Transport & Planning
i.a.hansen@tudelft.nl

Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 2006,

23 en 24 november 2006, Amsterdam

Inhoudsopgave

	pagina
1. Inleiding	1
2. Hoge snelheid op wegen	2
2.1 Weginfrastructuur	2
2.2 Voertuigaandrijving en -besturing	5
3. Vervoerswaarde	8
3.1 Vervoersaanbod	8
3.2 Vervoersvraag	9
3.3 Rentabiliteit	10
4. Conclusies	12
Referenties	12

Samenvatting

Valkuilen voor de Superbus

De Nederlandse rijksoverheid heeft onlangs €7 miljoen voor het onderzoek en de bouw van een demonstratiemodel van de Superbus toegekend nadat dit vervoersysteem volgens de Structuurvisie Zuiderzeelijn een verrassend hoge vervoerwaarde opleverde. De ontwikkelaars beoordelen de Superbus als superieur aan de andere openbaar vervoer modaliteiten. In deze bijdrage wordt aan de hand van de bestaande projectdocumentatie getoetst of het Superbus-concept terecht als haalbaar mag worden beschouwd door de ontwerpparameters van de Superbaan te verifiëren en het concept voor de aandrijving en besturing van de Superbus te vergelijken met de actuele stand van de techniek van elektrisch aangedreven voertuigen met hoge snelheid. Vervolgens wordt het geplande exploitatieconcept, de geprognoseerde vervoervraag en de rentabiliteit van het Superbus-alternatief voor de Zuiderzeelijn kritisch bekeken. Het resultaat van de review luidt dat het ontwerp van de Superbaan niet voldoet aan de vigerende Nederlandse richtlijn voor het wegontwerp, de technische problemen en de tijd voor de ontwikkeling van de aandrijving, de accumulatoren, de veilige geleiding en besturing van de Superbus onderschat werden, terwijl de raming van de investerings- en exploitatiekosten te kort schiet. Het verwachte vervoervolume wordt overschat en er bestaan grote twijfels t.a.v. de veronderstelde rentabiliteit.

Summary

Traps for the Superbus

The Dutch government has recently awarded €7 million for research and construction of a demonstration model of the Superbus after this transport system provided a surprisingly high traffic potential according to the Structure Vision Zuiderzeelijn. The developers evaluate the Superbus as superior to the other public transport modes. In this contribution it is examined based on the existing project documents whether the Superbus-concept may be viewed as feasible by verifying the design parameters of its dedicated road infrastructure and to compare the concept for the propulsion, steering and control of the Superbus with the actual state of technology of electrically driven vehicles. Further on, the intended operating concept, the forecasted traffic volume and the profitability of the Superbus alternative of the Zuiderzee line is examined. The result of the review is that the design of the road infrastructure does not comply with the prevailing Dutch standard for road design, the technical problems for the development of the propulsion, the batteries, the safe steering and control of the Superbus were underestimated, while the estimation of the investment and operating costs is weak. The expected traffic volume is overestimated and grave doubts exist with regard to the assumed profitability.

1. Introductie

In november 2004 heeft de hoogleraar in de faculteit Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek, leerstoel Aerospace for Sustainable Engineering and Technology, Ockels een dossier over de Superbus met daarin korte, niet doorgaand positieve reacties van een behoorlijk aantal onderzoekers van de TU Delft gepresenteerd aan de minister voor Verkeer en Waterstaat [Ockels & Melkert 2004]. Eind 2005 is de Superbus verrassend door de projectorganisatie Zuiderzeelijn als onderzoeksvariant aan de projectstudie voor de aanleg en exploitatie van een nieuw hoge-snelheid vervoersysteem toegevoegd. In dit kader is het projectalternatief door LREHC Infraproject Services geaudit voor wat betreft de volledigheid en robuustheid van alle essentiële elementen [LREHC 2006].

Bijna gelijktijdig is door Evers [2005a, 2005b] het vervoerconcept Snel vervoer op aanvraag (SVA) voorgesteld. Het verschil met de Superbus ligt in de lagere maximale snelheid van 180 km/uur voor de bussen en de toepassing van “bewezen moderne technologie”, d.w.z. voertuigaandrijving met verbrandingsmotor en logistieke besturing. Het consortium Fast Transport on Request (FTR), bestaande uit vertegenwoordigers van Royal Volker Wessels Stevin, Connexion en Evers, heeft dit voorjaar een voorstel voor de aanleg en exploitatie van de Zuiderzeelijn Superbus alternatieve in publiek-private samenwerking ingediend [De Jong *et al.* 2006].

Het Ministerie van Verkeer en Waterstaat heeft afgelopen juni een extra subsidie van zeven miljoen Euro voor verder onderzoek en de voertuigontwikkeling van de Superbus van Ockels beschikbaar gesteld, nadat al in 2005 een startsubsidie van €300.000 voor de eerste fase was verleend. Dit is een behoorlijk hoog bedrag dat buitenom de standaard procedures en bestaande onderzoekprogramma's van de rijksoverheid, de Wetenschapsorganisatie NWO en de Stichting voor de Technische Wetenschappen STW werd toegekend. Daarnaast hebben de noordelijke provincies al één €100.000 uitgetrokken om dit vervoersalternatief in het kader van de Zuiderzeelijn studies mee te nemen, het college van bestuur van de TU Delft heeft tevens € 300.000 uitgekeerd en verder één miljoen voor de tweede onderzoeksfase gereserveerd, terwijl het busbedrijf Connexion nog eens één miljoen gaat investeren in de ontwikkeling van de Superbus.

Het concept Superbus is volgens Ockels “een integraal en revolutionair innovatief openbaar vervoersconcept voor de toekomst met lage milieupact en hoge flexibiliteit en bereikbaarheid, bestaande uit snelle voertuigen met hoog reizigers comfort, speciale “superbanen” voor 250 km/uur met verbinding tot het bestaande wegennet, geavanceerde regelingen, communicatie en logistiek.” [Ockels 2006a]. De “potentie van de Superbus als unieke en realistische innovatiekansen” werd onderschreven in een brief aan de Minister-President Balkenende, waarin de voorzitter van het college van bestuur van de TU Delft, de president directeur van Shell Nederland, de voorzitter van de Raad van bestuur van TNO en de president van Stork Fokker de overheid vragen het ontwikkelingstraject krachtadig te bevorderen en de bereidschap te tonen het ontwikkelingstraject “mede te helpen bepalen en te begeleiden met relevante Nederlandse kennis en ervaring” [van Luik *et al.* 2006].

Geen van hun is deskundig op het gebied van openbaar vervoer en toch zijn zij overtuigd dat de Superbus “betere en betaalbare bereikbaarheid voor zowel randstad als provincies” [van Luik *et al.* 2006] levert. Ockels heeft weliswaar ervaring met de ontwikkeling van de

experimentele solarvoertuigen Nuna I t/m III die de reis door Australië in de kortste tijd met een snelheid van ruim 100 km/uur hebben afgelegd. Maar het is de vraag of deze kennis, gecombineerd met luchtvaart- en “Formule 1”-technologie, voldoende is om een elektrisch aangedreven bus voor langeafstands-openbaarvervoerplaatsingen met twee à drie keer zo hoge snelheid dan op dit moment voor bussen beschikbaar met succes te ontwikkelen.

In deze bijdrage wordt de haalbaarheid van het concept voor de Superbus aan de hand van verschillende projectdocumenten nader onderzocht. In hoofdstuk 2 komen achtereenvolgend het ontwerp van de weginfrastructuur, de voertuigaandrijving en de verkeersveiligheid aan bod. Vervolgens worden in hoofdstuk 3 het vervoersaanbod en de vervoersprognose kritisch bekeken en de rentabiliteit van het nieuwe vraagafhankelijke collectieve vervoersysteem voor de lange afstand beoordeeld. Ten slotte worden de hoofdbevindingen m.b.t. de technische en economische haalbaarheid van het Superbus concept op een rijtje gezet.

2. Hoge snelheid op wegen

De nagestreefde maximale snelheid voor een wegvoertuig van 250 km/uur is technisch gezien voor lichte snelle personenwagens (bij voorbeeld Bugatti, Ferrari, Porsche) stand van de techniek, echter de huidige bussen zijn veel zwaarder en ontworpen voor een maximale snelheid van 100 km/uur conform de eisen voor de toelating op openbare wegen. Het alignement en de breedte van bestaande autosnelwegen zijn heden gebaseerd op een ontwerpsnelheid van 120 km/uur. Dus voor de Superbus zou een volstrekt nieuwe generatie wegvoertuigen met een snelheid van 250 km/uur ontwikkeld moeten worden. Wegens de grote verschillen in massa en snelheid t.o.v. andere voertuigen is een eigen baan voor de Superbus noodzakelijk. Gemengd gebruik van de bestaande wegen is alleen aanvaardbaar, indien de Superbus met de voor de plaatselijke wegvakken toegestane snelheid rijden. In de volgende secties worden de hoofdproblemen voor de realisering van hogere snelheden van de Superbus nader toegelicht.

2.1 Weginfrastructuur

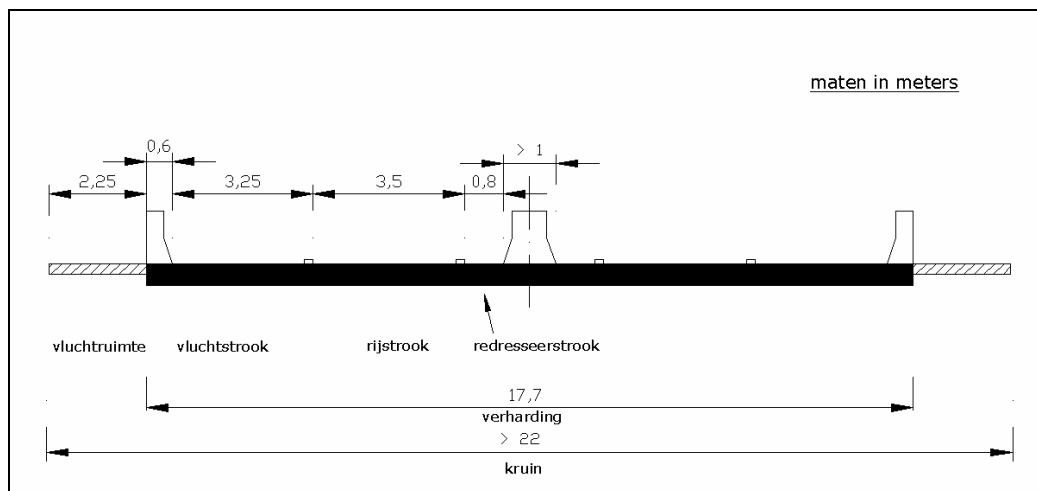
Het dwarsprofiel en het alignement van de Superbaan dienen te voldoen aan de standaard eisen voor het ontwerp van wegen, te weten berijdbaarheid, zichtbaarheid, begrijpelijkheid, veiligheid en inpasbaarheid. De berijdbaarheid, veiligheid en inpasbaarheid dienen door de sterkte van de wegconstructie, de geometrische vorm van het dwarsprofiel en het horizontale en verticale alignement gewaarborgd te zijn. Aan de begrijpelijkheid wordt voldaan, indien de toegang tot de eigen baan alleen voor de toegelaten voertuigen mogelijk is en de bestuurders kunnen anticiperen op het wegverloop, snelheidsbeperkingen en de actuele verkeerssituatie. De eisen aan zichtbaarheid en veiligheid worden in eerste instantie uitgedrukt door de beschikbaarheid van voldoende stopzichtsafstand.

Het dwarsprofiel van de Superbaan dient analoog de bestaande ontwerprichtlijnen voor autosnelwegen (ROA) uit veiligheidsredenen voldoende breed te zijn voor twee rijstroken met een middenberm en aan weerszijden een vluchtstrook en de voertuigkeringen. De vluchtstrook is in de Superbaan vervangen door een strook voor onderhouds- en hulpdiensten, die geen stevige onderbouw heeft (Melkert, 2006a pag. 9]. Dit zou i.v.m. de hogere aslasten van onderhouds- en hulpvoertuigen tot spoedige beschadiging lijden en

tevens een flexibel gebruik van de weginfrastructuur in geval van falen van het Superbus-concept in de weg staan. Tevens is de variant met separate strook voor hulpdiensten niet geschikt om stremmingen in geval van pech uit te sluiten, omdat pechhavens elke 500 m weinig soulaas kunnen bieden bij hoge verkeersintensiteiten en ongevallen.

De uiteindelijk noodzakelijke breedte van de rijstroken voor de Superbus (voertuigbreedte 2,55 m) dient op basis van rijexperimenten en de ontwerpsnelheid van 250 km/h nader bepaald te worden. Deze is afhankelijk van de resulterende schommelingen van het voertuigpad t.o.v. de rijstrookassen en wegmarkeringen i.v.m. kleine stuurverdraaiingen, de reactietijd van de bestuurders en de responstijd van de bestuurderondersteunende systemen. Voor de berijdbaarheid tevens door hulpvoertuigen is in ieder geval een rijstrookbreedte van minimaal 3,50 m zoals bij de bestaande autosnelwegen aan te houden.

Inclusief de tevens ontbrekende redresseerstroken en voldoende brede vluchtstroken (3,25 m) en de wegmarkering komt dit neer op een verhardingsbreedte van minimaal 15 m i.p.v. 9,50 m. De vraag is of de breedte van de redresseerstrook wegens de veel hogere snelheid van de Superbus niet groter moet dan 0,80 m? De kruinbreedte is afhankelijk van de nog nader te bepalen breedte van de middenberm en de constructie van de voertuigkeringen in het midden en aan de weerszijden, waarbij tevens een vluchtruimte van 2,25 m in de zijbermen dient te bestaan, waar de Superbus-reizigers in geval van pech en ongevallen veilig kunnen verblijven. In totaal zal de kruinbreedte van de Superbaan daardoor neerkomen op minimaal 22,50 m (Fig. 1). Dit is anderhalf keer zo breed als in de sobere voorontwerptekeningen voor de Superbus aangegeven. Bovendien is de breedte van 0,75 m en 0,375 m respectievelijk voor de step-barriers mogelijk niet voldoende voor een stevige en veilige constructie om een schuine botsing van de Superbus met 250 km/uur te weerstaan. De vorm en sterkte van de voertuigkeringen in de middenberm en zijbermen dient op basis van botsproeven nader bepaald te worden.



Figuur 1: Dwarsprofiel voor de Superbaan met vluchtstrook, vluchtruimte en redresseerstrook

De minimale boogstraal voor de Superbaan dient analoog de standaard methodiek voor het ontwerp van wegen te worden bepaald m.b.v. een evenwichtvergelijking van het voertuig in een bocht met of zonder en mogelijk tegengestelde dwarshelling in geval van een dakprofiel. Daar de luchtbanden in laterale richting minder wrijvingsoppervlakte beschikbaar hebben dan

in lengterichting en de voertuigen sneller kunnen kantelen dient een lagere dwarswrijvingscoëfficiënt dan in lengterichting toegepast te worden. Volgens de vigerende Nederlandse ontwerprichtlijn verandert de dwarswrijving met de functie $f_z = (83 - 0,4 v)/350$ (v in km/h) en heeft bij 120 km/uur een waarde van 0,1. Voor hogere snelheden dienen nieuwe experimenten met de Superbus te worden uitgevoerd om de toelaatbare waarden te kunnen bepalen. Het valt niet te verwachten dat de veilige dwarswrijvingscoëfficiënt voor de Superbus hoger dan 0,05 uitkomt, eerder is een waarde van lager dan 0,03 waarschijnlijk.

Voor de ontwerpsnelheid van $v = 250$ km/uur, de standaard dwarshelling van $h = 5\%$ en een wrijvingsweerstand $f_z = 0,05$ komt de minimale boogstraal neer op $R_h = 4922$ m i.p.v. de door de Superbus-ontwikkelaars aangegeven 1600 m [Melkert, 2006a pag. 6]. De toegestane acceleratie in dwarsrichting $< 1,0$ m/s² [Melkert, 2006b pag. 20] is voor een veilige rit van de Superbus met luchtbanden tot bewijs van het tegendeel als niet veilig te beschouwen en leidt tot te krappe boogstralen. Dit maakt de bundeling met de bestaande autosnelwegen veel lastiger en zal het aantal bochten met snelheidsbeperkingen verhogen.

De bolle afrondingsbogen dienen voldoende zichtlengte op het wegverloop en in geval van obstakels het tijdig stoppen van het voertuig te garanderen. Voor autosnelwegen met een ontwerpsnelheid van 120 km/uur zijn bolle bogen van een straal van minimaal 12.400 m toelaatbaar. De toegepaste maximale acceleratie in verticale richting van 0,5 m/s² bij toppen en 1,0 m/s² bij uitzakkingen leidt tot te krappe boogstralen voor topbogen (10.000 m) en voetbogen (5.000 m) [Melkert, 2006 b pag. 20]. Dit vermindert het rijcomfort en onderschat de noodzakelijke lengte van hellingen en afrondingsbogen. Indien men de gebruikelijke comforteis voor verticale versnellingen bij nieuwe spoorlijnen van 0,3 m/s² zou toepassen volgt een minimale afrondingsboog voor de Superbaan van $R_v = 16.075$ m.

De stopzichtafstand is een functie is van de reactiesnelheid van de bestuurder, de remvertraging van het voertuig, de hellingsweerstand en de wrijvingsweerstand tussen de luchtbanden en het wegdek. Het horizontale en verticale alignment dient voldoende remafstand en zichtlengte op mogelijke obstakels in de weg (stilstaand voertuig, voorwerpen etc.) te bieden. In geval van bochten en heuvels mag de zichtlengte voor de bestuurder nooit korter zijn dan de weg die het voertuig aflegt tijdens de waarneming van het obstakel, de reactie van de bestuurder en de voertuigapparatuur en tijdens het rijden over de remweg.

Als veilige perceptie-reactiesnelheid van de bestuurder wordt voor het ontwerp van autosnelwegen 2,5 sec aangehouden. Voor de berekening van de stopzichtafstand op autosnelwegen dient de remweg opgeteld te worden met de perceptie-reactietijd, waarbij een langswrijvingscoëfficiënt van 0,32 aangehouden. Dit komt overeen met een remvertraging van circa 3 m/s². Uit experimenten is bekend dat de wrijvingsweerstand vanwege de warmteontwikkeling tijdens het remmen afneemt. Voor de hogere snelheden van de Superbus dient afhankelijk van de testresultaten met verschillende soorten luchtbanden en van de stroefheid van het wegdek de veilige langswrijvingscoëfficiënt nader bepaald te worden. Indien men de ook door Melkert genoemde grenswaarde voor de remvertraging van 1,0 m/s² toepast, resulteert een langswrijvingscoëfficiënt van 0,1 voor de snelheid van 250 km/uur.

Melkert hanteert voor de snelheid rond de 250 km/h een “minimale veilige opvolgingstijd van 5 sec” [Melkert, 2006b pag. 17]. De benodigde stopzichtafstand op horizontaal vlak met een reactietijd van 5 sec bedraagt dan 2800 m. Ook in geval van geavanceerde sensortechniek

(radar en laser) en automatische besturing blijft de bestuurder echter verantwoordelijk voor het veilig rijden. Dat betekent dat de synchronisatietijd van de sensoren voor de voertuiggeleiding en obstakeldetectie en de werking van het automatische besturingssysteem opgeteld dienen te worden om te **garanderen** dat de bestuurder bij een afstand tot het gevaarpunt gelijk aan de stopzichtafstand nog op tijd kan reageren en tot stilstand komen.

Het bepalen van de veilige perceptie-reactietijd van de Superbus bestuurders en van de synchronisatietijd van het (semi-)automatische besturingssysteem vergt uitgebreide testritten op een proefbaan. Van een volledig automatische besturing van de Superbus is vooralsnog geen sprake en dit zou zeker gevolgen hebben voor de safety case en de systeemkosten.

De door Melkert aangegeven totale lengte voor invoegstroken van 4.000 m en 2500 m voor uitvoegstroken is voldoende, maar de aangegeven lengte van de fly-overs en tunnels lijkt te kort vanwege de voorgestelde te krappe afrondingsbogen. Het voorafgaande betekent dat de berekende totale lengte en breedte van de Superbaan met name voor de kostbaardere dijklichamen en kunstwerken voor viaducten, tunnels en fly-overs van de Superbaan te kort schiet en de kostenraming in dit opzicht niet betrouwbaar is.

De onvoldoende stevigheid van de voorgestelde wegconstructie voor de onderhouds- en hulpstroken is al eerder genoemd. Voordat over de aanleg, exploitatie en onderhoud en de daarmee gemoeide kosten een betrouwbare uitspraak wordt gedaan dient men tevens rekening te houden met de bijzonder hoge risico's voor de levensduur van de wegconstructie als gevolg van zettingen van de onderbouw, van spoorvorming in het wegdek door de (semi-)automatische voertuiggeleiding en de niet beproefde rijbaanverwarming. Gezien de hoge ontwerpssnelheid voor de Superbaan is een zeer hoge nauwkeurigheid van de ligging van het wegdek t.a.v. het lengteprofiel en de overgangshellingen cruciaal om te voorkomen dat de Superbus gaat slingeren en de baan kwijtraken.

2.2 Voertuigaandrijving en -besturing

De Superbus wordt gekenmerkt door een lichtgewicht-constructie, lage aerodynamische weerstand, veilige en betrouwbare besturing en duurzaamheid. Doel is “het ultieme milieuvriendelijke voertuig van de toekomst” [Melkert & Terzi., 2006]. De ontwikkelaars beweren dat het beoogde demonstratiemodel t/m medio 2008 zal worden voltooid door “op nieuwe manier toepassen van bestaande technologie” uit de lucht- en ruimtevaarttechniek en ICT. Voor de aandrijving is een elektromotor gekozen die door accumulatoren wordt gevoed. Het voorgenomen besturingssysteem is vergelijkbaar met de combinatie van piloot en automatische piloot, terwijl een pro-actieve vering in combinatie met nauwkeurige navigatie, kennis van de weg, obstakeldetectie, radartechnologie en logistiek de veilige exploitatie zullen garanderen. In een aparte bijlage geven de ontwikkelaars een overzicht van de benodigde technologieën en gereedschappen en stellen “are all existing and the knowledge is available” (pag. 24). Voor de industriële doorontwikkeling van de Superbus voor 180 km/h en 250 km/uur wordt een periode van 10 jaar verwacht, zodat een commercieel voertuig rond 2015-2020 beschikbaar zal zijn.

Indien men de gegeven onderbouwing van deze stellingen nagaat, rijzen een aantal twijfels over de technische haalbaarheid van de Superbus. Tevens is niet duidelijk welke resultaten tot welke termijn gereed zullen zijn. In [Melkert, 2006b pag. 13 en 34] wordt een fasering voor

de invoering van verschillende snelheidsstappen voor de voertuigen gepresenteerd, welke pas na aanleg van de Superbaan in 2015 met een snelheid van 180 km/uur en na 2023 met 250 km/uur zullen rijden. Het demonstratiemodel van de Superbus, dat in 2008 klaar moet zijn, dient echter de technische haalbaarheid van de Superbus met 250 km/uur aan te tonen. Dit is een noodzakelijke voorwaarde voor een industriële doorontwikkeling en voor de planning en realisering van de infrastructuur. Meest kritiek voor de beoordeling van de technische haalbaarheid van het voertuigconcept zijn de aandrijving i.v.m. het voertuiggewicht, de energiedichtheid en levensduur van de accumulatoren, de pro-actieve vering en de veiligheid van het (automatische) besturingssysteem.

De Superbus-ontwikkelaars constateren in hun overzicht “the state-of-the-art negatives of the battery electric vehicle will be improved...innovative and modified components of the battery electric vehicle will be studied” [Melkert & Terzi, 2006 pag. 39] en “In de nabije toekomst zullen accu’s efficiënt genoeg zijn om een acceptabel bereik te garanderen” [Melkert 2006b pag. 12]. Blijkbaar zijn de Superbus-ontwikkelaars onvoldoende op de hoogte van de grote investeringen in het onderzoek en tot nu toe vruchteloze inspanningen op dit gebied in de laatste decennia.

Het specifieke voertuigleeggewicht van dieselbussen bedraagt heden circa 340 kg/m² voertuigoppervlakte en 400 kg/m² van trolleybussen of 200 à 300 kg per zitplaats [Hondius, 1991]. Door toepassing van lichtgewicht materialen i.p.v. staal zou men 20 à 30 % leeggewicht kunnen besparen, maar de hogere sterkte van de constructie t.b.v. de hoge snelheid, de vele deuren, de dynamische belasting en vooral de accumulatoren vereisen extra gewicht. Over het gewicht van de accu’s van de Superbus is nog niets gezegd. 20 jaar geleden moesten de praktijkproeven van batterijbussen in Dusseldorf en Stockholm zonder succes worden beëindigd, omdat de loodaccumulatoren veel te zwaar, de energiedichtheid met 30 Wh/kg te laag, de rijafstand zonder oplading van 50 km te beperkt en de exploitatie- en onderhoudskosten veel hoger waren dan voor dieselbussen. Experimenten met elektrische busjes in de binnenstad van Dordrecht zijn 1996 voortijdig afgebroken wegens te grote storingsgevoeligheid en de te hoge kosten [Maartens, 1996]. De Ecobus met lood-zuur batterij had een gewicht van 4300 kg, 10 zitplaatsen en kon beladen niet sneller dan 30 km/uur rijden.

De ontwikkeling van hogetemperatuur-accumulatoren zoals de natrium-zwafelbatterij in Duitsland werd na investering van toen meer dan 50 miljoen DM na afloop van 10 jaar gestaakt. De hooggespannen verwachtingen aan de energiedichtheid van meer dan 100 Wh/kg en meer dan 1000 cycli van opladingen en ontladingen [Fischer, 1984] konden niet gerealiseerd worden. De energiedichtheid verminderde sterk met het aantal ontladingen, de oplaadtijd duurde tamelijk lang, de warmteïsolatie van de batterijen bleek niet robuust en de uitvalkans bleek te hoog. Ook Litium-accumulatoren zijn international sinds meer dan 20 jaar in ontwikkeling met een energiedichtheid van circa 100 Wh/kg, zonder langere levensduur tot nu toe bereikt te hebben. De accu’s met hogere energiedichte lijken wegens de te lage prestatiedichtheid niet geschikt als tractiebatterijen [Kahlen & Hauck, 1992].

Over de pro-actieve vering is alleen de noodzaak voor verder analyse vermeld (pag. 38). Bij de hoge snelheden is de snelle waarneming van elke oneffenheid in het wegdek en de effectieve respons van het veersysteem op trillingen van het voertuig kritiek voor de veilige voertuigsturing. De ontwikkelaars zijn dan ook van plan de combinatie van mechanische en

elektronische sturing te beoordelen. Voor lage snelheid van minibusjes tot circa 40 km/uur is het FROG-systeem met transponders in de baan en on-board computers (ParkShuttle Capelle a/d IJssel een beproefde techniek [Oomen, 2005]. Elektronische geleiding van bussen met hoge snelheden is echter een volstrekt nieuw onderzoeksveld dat niet zonder meer kan leunen op bestaande technieken van auto's of vrachtwagens!

De beschrijving van het besturingssysteem voor de Superbus bevat vage aanduidingen over het bepalen van de “track trajectory for adaptive cruise control” [Melkert & Terzi, 2006 pag. 41], de evaluatie van verschillende locatiebepalingssystemen t.b.v. de voertuignavigatie, radarsensoren en de analyse van datacommunicatie methodieken. De referentie aan de besturing van een vliegtuig en aan het automatische treinbeïnvloedingsysteem ATB [Melkert 2006b pag. 12 en 13] openbaart enig misverstand. Indien het besturingssysteem voor de Superbus een vergelijkbaar hoge veiligheid nastreeft als bij de spoorwegen, dan zou het “fail-safe” moeten zijn. De Superbussen zouden dan volgens het spoorwegveiligheidsprincipe minimaal op **absolute remwegafstand** mogen elkaar volgen. De “minimale veilige opvolgingstijd van 5 seconden” [Melkert 2006b, pag. 17] voor 250 km/uur resulteert echter in een minimale afstand van 350 m zodat het risico van een botsing vele malen hoger wordt, indien plotseling een voorwerp op de Superbaan wordt gedetecteerd of de voorligger pech heeft. De door Melkert genoemde minimale opvolgtijd gaat uit van het rijden op **relatieve remwegafstand** zoals in het dagelijkse wegverkeer. Daarmee kan de Superbus het 10 à 20 keer hoger veiligheidsniveau t.o.v. het huidige wegverkeer zoals in het treinverkeer niet bereiken, ook niet m.b.v. een besturingssysteem, dat ingrijpt in geval van incidenten! Bovendien kan het “automatische besturingssysteem” tot onveilig gedrag van de bestuurder leiden, doordat hij ook in kritieke situaties vertrouwt in de werking van het “automatisch” besturingssysteem en de snelheid niet op tijd verlaagt, hoewel hij verantwoordelijk blijft voor de veiligheid.

Het ontwerp van de mens-machine interface, de functies van de bestuurder en de autopiloot en de kenmerken van het (nood)remsysteem zijn nog niet uitgewerkt. De toepassing van systemen zoals “Speed Headway Keeping, Front Collision Avoidance, Side Obstacle Avoidance Lane Keeping Support, Intelligent Speed Adaptation” [Melkert, 2006c pag. 5/6] draagt zeker bij aan de verhoging van de veiligheid (en het voertuiggewicht). Maar de bestuurderondersteuning is ontoereikend de Superbusreizigers voor ongevallen bij hoge snelheden te beschermen, indien veel te korte volgafstanden worden toegestaan.

Afgezien van de risico's voor het tijdelijk ontbreken van betrouwbare data over de actuele voertuigposities, de verkeerssituaties en de actuele toestand van de Superbaan dient men rekening te houden met de beperkingen van radarsensoren, die alleen het vlak rechtuit en niet de bochten in kunnen waarnemen en bij regen of sneeuw afgeleid worden zodat geen continue afstandsregistratie gegarandeerd is. De stelling “Human Perception Time and Human Reaction Time will be reduced to zero by the navigation system. Vehicle Reaction Time and Vehicle Braking Capability need to be investigated” [Melkert & Terzi, 2006 pag. 39] geeft de niet de indruk van voldoende kennis en begrip van het beperkt vermogen van de huidige navigatiesystemen.

Een nadere risicoanalyse en beschrijving van de faalkansen, alsmede de werking van de beoogde veiligheidsmaatregelen tijdens de reguliere exploitatie van de Superbus en in geval van storingen en ongevallen dient blijikbaar nog gedaan te worden.

3. Vervoerswaarde

De Superbus pretendeert een superieur alternatief voor andere bestaande openbaar vervoer modaliteiten te zijn en meer reizigersprestatie en comfort tegen lagere kosten te bieden. Ockels stelt “een belangrijk aantal automobilisten zal deze vorm van OV gaan kiezen” [Ockels, 2006]. De Minister van Verkeer en Waterstaat schrijft in haar brief over het voorgenomen besluit over de Zuiderzeelijn aan de Tweede Kamer “Tot slot is uit alle onderzoeken een relatief positief beeld van de Superbus naar voren gekomen. Het cabinet ziet de Superbus als innovatief concept voor toekomstig openbaar vervoer in Nederland en als exportproduct” [Peijs, 2006]. Aan de hand van de vervoerprognose voor de Zuiderzeelijn wordt nagegaan of deze beoordeling realistisch is. Bovendien worden het exploitatieconcept en de kostenschattting van het FTR-concept kritisch bekeken.

3.1 Vervoersaanbod

De Superbus is een vraagafhankelijk vervoersysteem voor de lange afstand met hoge snelheid en frequentie en biedt maximaal 30 personen zeer comfortabele zitplaatsen [Oomen & Biesboer, 2006]. De reisaanvragen worden via sms of internet geregistreerd en m.b.v. een logistiek systeem toegedeeld op zoveel mogelijk directe ritten tussen herkomsten en bestemmingen. Volgens het SVA-systeem is het maximale aantal tussenhaltes vooraf bekend (één à twee) en bepaalt de kwaliteit van dienstverlening. Het informatiesysteem verzorgt de reserveringen, de communicatie met de reizigers en de afstemming met de ritplanner, chauffeurs, conducteurs en stationschefs [Evers, 2005]. De routeplanning wordt cyclisch elke paar minuten geactualiseerd zodat een omvattend overzicht van de actuele systeemtoestand, reisaanvragen, vraagstatistieken en vervoersprestaties wordt gegenereerd.

In de steden en bij de op- en afritten worden in-/uitstapstations en transferia ingericht. Voor de modellering van het Zuiderzeelijn-alternatief zijn bijvoorbeeld in totaal 24 halteplaatsen in de corridor van Groningen t/m Almere en alleen 4 in Amsterdam en Schiphol aangenomen [AVU, 2006 pag. 28]. Het is (nog) niet duidelijk, hoe de ruimte voor de vele Superbusperrons nabij de bestaande spoorwegstations en stadscentra met veilige in- en uitstapsituaties en vlotte verkeersafwikkeling kan worden geschapen, afgezien van de kosten. De in- en uitstap- en halteringstijden zullen sterk afhankelijk zijn van het aantal in-/uitstappers, de voertuig- en deurconstructie en de wijze van toegangscontrole. De lage voertuighoogte en toegangscontrole voor de Superbus zal de instaptijden t.o.v. andere bussen niet verkorten.

De Superbussen zullen rijden als gewone auto's met een volgtijd van enkele seconden. De beoogde vervoerscapaciteit bedraagt circa 20.000 plaatsen per uur en richting, terwijl deze bij toepassing van een veilige opvolgtijd van minimaal 35 s op niet meer dan 3000 plaatsen neerkomt. Het is verder onduidelijk, hoe de nagestreefde buitengewoon hoge gemiddelde bezettingsgraad van 60 % zal worden bereikt i.v.m. de te verwachten fluctuatie van de reizigersstromen overdag en de onevenwichtige vervoervraag per richting en dagdeel. Het daardoor veroorzaakte hoge aantal leegritten en de lage gemiddelde bezettingsgraad blijkt voor alle vraagafhankelijke vervoerssystemen een structureel probleem dat verantwoordelijk is voor

de hoge tarieven voor taxiritten, de lage frequenties en kostendekkingsgraad van telebusssystemen en de lange vooraanmeldings- en wachttijden voor reizigers afkomstig van dunbevolkte gebieden [Graef & Prins, 2000; Heinzel, 1996; Korver & Vanderschuren, 1995; Mehlert, 2001; Meyer, 1988].

De aangenomen reistijden met de Superbus [AVU, 2006 pag. 83] naar enkele bestemmingen in Amsterdam en Schiphol - even snel als met de hogesnelheidstrein – baseren op de veronderstelling dat de Superbussen van hun halteplaatsen in de steden met een snelheid van 50 km/uur naar en van de aansluiting op de Superbaan kunnen rijden en op de eigen infrastructuur door snel optrekken en afremmen het overgrote deel van de rit met maximale snelheid rijden, waarbij voor een extra tussenstop bij een transferia niet meer dan 3,5 minuten verliestijd zal optreden. Tijdens de spitsuren is deze aanname niet realistisch, omdat i.v.m. congestie op de stedelijke wegen en wachttijden bij kruispunten de snelheid over het algemeen niet hoger dan gemiddeld 30 km/uur zal uitpakken en door de hoge voertuigintensiteiten op de Superbaan, met name bij drukke toe- en afritten van de autosnelweg en Superbaan hinder en files zullen ontstaan, waardoor de reistijden duidelijk langer dan in de ideale situatie zullen zijn. Tijdens de daluren zouden de Superbussen meer tussenhaltes moeten aandoen om een hogere bezettingsgraad te bereiken, wat de reistijd ook verlengt. De invloed van minder betrouwbare en langere reistijden door op de vervoervraag van de Superbus is zeker niet te onderschatten.

3.2 Vervoersvraag

De vervoerstudie in het kader van de Structuurvisie Zuiderzeelijn heeft een opmerkelijk hoge vervoersvraag van 47.000 reizen/etmaal voor het Superbus-alternatief geraamd, die meer dan twee keer hoger ligt dan voor de andere alternatieven zoals de hogesnelheidstrein en de magneetzweeftrein [AVU, 2006 pag. 10]. Omdat het LMS voor de modellering van de reisweerstand en modal split van vraagafhankelijke openbaarvervoersystemen zoals de Superbus geen beproefde module heeft, zijn de reistijden en kosten bepaald voor de ruim 20 geselecteerde haltes tussen Groningen en Almere, terwijl in het grootstedelijke gebied van Amsterdam en Schiphol alleen vier haltes gedefinieerd zijn.

Tussen deze in totaal 28 haltes is de Superbus gemodelleerd als een non stop geregeld openbaar vervoersysteem met een frequentie van 6 keer per uur en een gemiddelde wachttijd van 5 min. De reistijd van het voor- en natransport is hierbij aangenomen met 10 min en 20 min [AVU, 2006 pag. 48] zonder gebruik van een ander openbaar vervoermiddel en de reizigers gemiddeld alleen de halve intervaltijd, dus 5 min hoeven te wachten. Dit is zeker voor de haltes in Amsterdam niet aanvaardbaar. Daardoor worden ook verplaatsingen met de Superbus binnen de 7 steden in het noorden van Amsterdam gegenereerd.

I.v.m. de uitermate optimistische aannamen voor de reissnelheid op de Superbaan met 180 km/uur ondervinden de Superbusreizigers in het LMS-model veel minder reisweerstand dan met het conventionele openbaar vervoer, waar de gepercipieerde wachttijd gezien de langere intervaltijden met een 'boetefactor' van 1,5 à 2 en de overstaptijd met een factor 3 vergroot wordt. Bovendien is de aanname van treintarieven voor een hoogfrequent vervoersysteem op aanvraag met hoge snelheid en comfort niet realistisch. Een meer gedetailleerde kritiek op de vervoerprognose voor de Zuiderzeelijn m.b.v. het LMS is te vinden in [Hansen, 2006].

De variatie van de vervoervraag voor lange afstandsverplaatsingen tussen bepaalde herkomsten en bestemmingen afhankelijk van het reismotief over de tijd en de uren van de dag is tot nu toe onvoldoende onderzocht. De dunne stromen tussen vele herkomst-bestemmingsrelaties zijn over het algemeen te klein en niet geschikt voor statistisch betrouwbare modellen. Voor de modellering van dynamische, met de tijd veranderlijke vervoerstromen bestaan tot nu toe alleen simulatiemodellen, waarbij de parameters voor elk project en onderzoeksgebied opnieuw gecalibreerd moeten worden.

In feite ontbreekt ook voor de corridor Amsterdam-Groningen inzicht in de fluctuatie van de bestaande en toekomstige vervoervraag en –attractie per zone als functie van de tijd. De aanname van een gelijkmatige spreiding binnen elk uur is zeer gedurfd gezien het stochastische kris-kras patroon van de landelijke en regionale verplaatsingen. Het risico van tijdelijk onvoldoende vervoervraag per Superbushalte, -bestemming en –rit is zeer hoog en daardoor zal de bezettingsgraad van de voertuigen sterk verminderen en/of de wachttijd sterk verhogen zodat de daadwerkelijke aantrekkingskracht van de Superbus veel lager wordt.

Toch heeft de vervoerstudie Zuiderzeelijn een zeer optimistische prognose gedaan van de vervoervraag voor de Superbus in vergelijking met de andere Zuiderzeelijn-alternatieven. Bovendien is de hele vervoerprognose voor de Zuiderzeelijn gebaseerd op de utopische veronderstelling van vrije doorstroming voor het wegverkeer [AVU, 2006 pag. 82]. De realiteitsgehalte van de vervoersramingen met name voor de Superbus valt dus sterk aan te twijfelen. De auteurs van de vervoerstudie benadrukken dan ook dat het LMS “een prognose met een grote bandbreedte / een beperkte betrouwbaarheid oplevert” (pag. 81).

3.3 Rentabiliteit

De investeringskosten voor de Superbusinfrastructuur van de Zuiderzeelijn (185 km) zijn geraamd op €2,2 en 3,2 miljard [FTR, 2006 pag. 55]. Het lagere bedrag komt ongeveer overeen met de aanlegkosten per km van de Zuidtangent in Amsterdam/Schiphol. Uitgaande van de behoefte voor een voldoende breed dwarsprofiel en veilige, stevige wegconstructie inclusief vluchtstroken en voertuigkeringen, meer ruimtebeslag en langere kunstwerken t.b.v. bruggen, fly-overs en tunnels wegens ruimere afrondingsbogen en grotere horizontale boogstralen, bestaat een grote kans dat de aanlegkosten eerder meer dan €4 miljard terecht komen. De kosten voor de rijbaanverwarming, die zich in een experimentele fase bevindt, kunnen op dit moment überhaupt niet betrouwbaar worden geschat.

Voor de exploitatie van de Superbus in de Zuiderzeelijn-corridor worden volgens het FTR consortium 300 à 400 voertuigen met een capaciteit van elk 30 personen benodigd. De Superbus-ontwikkelaars rekenen met een aanschafprijs van €300.000 per bus [Melkert & Trezi, 2006], wat 40 % hoger is dan voor een luxe-dieselbus. De aanschafkosten voor elektrisch aangedreven bussen liggen echter veel hoger dan voor dieselbussen. Gezien de noodzakelijke high-tech apparatuur voor het automatische besturingssysteem, de hoogwaardige inrichting en constructie van de Superbus zou men beter met een prijs van meer dan €500.000 moeten rekenen omdat de ontwikkelingskosten over een relatief beperkt aantal voertuigen afgeschreven dienen te worden. Daarbij kunnen de kosten voor de accumulators überhaupt nog niet worden geschat, daar deze eerst nog ontwikkeld dienen te worden.

De energieconsumptie van de Superbus met 250 km/uur wordt door de ontwikkelaars geschat op 32 Wh/zitplaats-km en zou daarmee bijna de helft minder bedragen dan voor de hogesnelheidstrein. Omgerekend geeft dit 96 Wh/ton-km. Trolleybussen hebben een specifiek vermogen van circa 10 kW/ton leeggewicht voor veel lagere snelheden van rond 60 km/uur. De stelling van de ontwikkelaars dat de Superbus door “de combinatie van een laag voertuiggewicht, een klein frontaal oppervlak en een goede aërodynamische vormgeving... bij een snelheid van 250 km/h net zoveel weerstand heeft ...als een normale bus bij 100 km/h” [Melkert, 2006b] is niet onderbouwd door een toetsbare berekening op basis van heldere technische kenmerken. Maatgevend voor de duurzaamheid is het specifieke energieverbruik per reiziger-km. Hogere snelheid verslindt zeer veel meer energie(kosten) en dit kan niet door verlaging van de luchtweerstand met een factor 2 à 3 worden gecompenseerd, terwijl het voertuiggewicht per zitplaats stijgt, vanwege de exponentiële toename van het energieverbruik met de snelheid

Gezien de moeilijkheid voor het schatten van het energieverbruik van de elektrisch aangedreven Superbus heeft het consortium FTR een schatting gemaakt voor de dieselbus [FTR, 2006 pag. 27]. Hier valt op dat voor de 250 km/uur variant “Far future” zelfs minder kosten worden geraamd dan voor der variant 100-120 km/uur “Now”. Blijkbaar heeft men zeer veel vertrouwen in de technologische vooruitgang dat de verdubbeling van de voertuigsnelheid niet tot een significante stijging van het dieselvebruik zal leiden.

Ockels stelt in zijn brief aan de ministers van EZ, OCW, Ven W en VROM dat door het gebruik van de Superbus “hoge financiële opbrengsten” kunnen worden gegenereerd en “nieuwe economische mogelijkheden en werkgelegenheid kunnen ontstaan voor Nederland en het Noorden” [Ockels, 2006]. Hij bepleit de voor Zuiderzeelijn gereserveerde fondsen aan te wenden voor de Superbus en verwacht dat deze investering een “return on investment” teweeg zal brengen die “uiteindelijk Nederland weer ten goede komt”.

Het consortium FTR heeft een business case voor een concessieperiode van 30 jaar, een voertuigsnelheid van 180 km/uur met dieselaandrijving gepresenteerd, die uitgaat van gemiddeld €220 miljoen/jaar opbrengsten voor de Superbus met 30 zitplaatsen en meer dan 100 % kostendekkingsgraad voor de exploitatie 55 % à 65 % zonder en met infrastructuurkosten [De Jong *et al.*, 2006, pag. 70]. Hier wordt een bedrag voor de investering in de infrastructuur van €3,7 miljard genoemd, terwijl de totale investering in het materieel inclusief 90 minibusbussen en 30 grote bussen met 58 zitplaatsen geraamd is op €1,2 miljard. Evers schat de specifieke kosten per reiziger per kilometer op € 0,27 met en respectievelijk € 0,17 zonder kapitaalkosten van de rijbaan en stelt dat “een rendabele exploitatie mogelijk is” [Evers, 2005 pag. 5]. Daarbij is uitgegaan van de door de projectorganisatie Zuiderzeelijn gemaakte vervoerprognose van 77.900 reizigers per etmaal en een gemiddelde reisafstand van 90 km. Zijn hier de uitkomsten van een eerder simulatierun van het LMS gebruikt? De twijfels aan de consistentie van de vervoerprognose voor de Zuiderzeelijn zijn reden genoeg om tevens de door de promotoren beweerde winstgevendheid van de Superbus te heroverwegen.

Zelfs ECORIS komt in haar kosten-batenanalyse voor de Zuiderzeelijn-alternatieven tot de conclusie dat geen van de alternatieven maatschappelijk rendabel is en de Netto Contante Waarde van de totale kosten in 2020 de baten verreweg overstijgt [ECORYS, 2006].

4. Conclusies

De analyse van de concepten voor de Superbus en het Snel vervoer op aanvraag (SVA) heeft geleid tot een groot aantal inconsistenties m.b.t. het ontwerp van de benodigde infrastructuur en de techniek van de Superbus zelf voor de achtergrond van de bestaande richtlijnen en de veiligheidstandaard van het wegontwerp aan de ene kant en van de stand van de techniek van de bouw en besturing van openbaar vervoer bussen met hoge snelheid en elektrische aandrijving. De ontwikkelaars hebben blijkbaar onvoldoende rekening gehouden met de specifieke eisen aan het ontwerp en de constructie van duurzame en veilige openbare weginfrastructuur, wat heeft geresulteerd in een significante onderschatting van de aanlegkosten.

Verder zijn de internationale ervaringen met en de technische barrières voor de succesvolle ontwikkeling, veilige besturing en efficiënte exploitatie van elektrisch aangedreven bussen, met name voor hoge snelheid niet zorgvuldig gereflecteerd, met als gevolg de tot nu toe onbewezen stelling t.a.v. de haalbaarheid van het Superbus-concept. Het probleem verkennen betekent niet een betrouwbare oplossing te hebben gevonden. De haalbaarheid van de beoogde elektrische aandrijving met behulp van accumulatoren, de pro-actieve vering en de automatische geleiding voor de Superbus moet eerst nog worden bewezen!

Bovendien zijn de nationale en internationale kennis en ervaringen m.b.t. aantrekkelijkheid, capaciteit en efficiëntie van vraagafhankelijke openbaarvervoersystemen en hun concurrentiekracht t.o.v. het autogebruik en geregelde openbaar vervoerlijndiensten bij de protagonisten van de Superbus en het SVA niet voldoende verwerkt. De Superbus is voor dunne vervoerstromen over de (middel)lange afstand geen oplossing, niet in (verkeers)technische, noch in economische zin, zeker zolang de autogebruikers niet met de sociale kosten van het weggebruik worden belast. En duurzaam is de aanleg van de Superbaan en de exploitatie van bussen met hoge snelheid ook niet.

Referenties

- AVU (2006) Verkeer en vervoerstudie Zuiderzeelijn, Structuurvisie Zuiderzeelijn, Projectorganisatie Zuiderzeelijn (uitgever), 24 april 2006
- De Jong, A.J., Janssen F., Evers, J. (2006) Fast Transport on Request. The Zuiderzeelijn Superbus alternative, 16 maart 2006
- ECORYS Nederland BV (2006) KBA Openbaar Vervoeralternatieven Zuiderzeelijn, Rotterdam, 7 april 2006
- Evers, J.M., Postulart, R.J.L., Stam, C.J. (2005a) Gecontroleerd hard rijden op de Zuiderzeelijn, *Verkeerskunde*, 9, 29-33
- Evers, J.M. (2005) Snel vervoer op aanvraag: Concept en verkenning met de Zuiderzeelijn als casus, *Tijdschrift Vervoerswetenschap*, 41(4), 2-8
- Gräfe, K.-J., Prins, T. (2000) CVV als optie. Kosten en opbrengsten, *Verkeerskunde*, 9, 46-49
- Hansen, I.A. (2006) Vraagtekens omtrent de vervoerstudie Zuiderzeelijn, www.verkeerskunde.nl/moxie/podium/vraagtekens-omtrent-de-ve.shtml
- Heinzel, G. (1996) Individueller ÖPNV mit dem "AnrufBus" – ein Angebot zur rechten Zeit?, *Int. Verkehrswesen*, 48 (6), 43-49
- Hondius, H. (1991) Niederflur-Obusse, *Stadtverkehr* 36, 5-6, 23-33

- Jansen, J. (2002) Uit de auto, in de bus, *OV-Magazine*, 29 mei, 31
- Kahlen, H., Hauck, B. (1992) Leistung und Leistungsdichte von Traktionsbatterien, *Elektrische Bahnen*, 90 (12), 365-371
- Fischer, W. (1984) Hochtemperatur-Batterien, Stand der Entwicklung und Anwendungsmöglichkeiten, *Elektrische Bahnen*, 82 (11), 348-353
- Korver, W., Vanderschuren, M.J.W.A. (1995) Evaluatie Teletaxi-experimenten: Synthese Bedrijvenonderzoek, TNO INRO, rapport 1995-09
- LREHC Infraproject Services (2006) Resultaat audit 'uitwerkingsniveau Superbus projectalternatief ten behoeve van de Structuurvisie Zuiderzeelijn', Rotterdam, 7 april 2006
- Luik, G.J. van *et al.* (2006) Brief aan de Minister-President, Delft, 6 april 2006
- Martens, M. (1996) Elektrische Citybussen kostbaar maar populair, *ov-magazine*, 13 maart, 8-9
- Mehlert, Ch. (2001) Mehr Anrufbus durch Wettbewerb. Erfahrungen aus Deutschland und der Schweiz, *Der Nahverkehr*, 5, 68-70
- Melkert, J. (2006a) Bouwdoos infrastructuur Superbus, TU Delft, 21 maart 2006
- Melkert, J. (2006b) Ontwerpverantwoording en systeembeschrijving Superbus, TU Delft, 28 maart 2006
- Melkert, J. (2006c) Veiligheid Superbus, TU Delft, 14 november 2005
- Melkert, J., Terzi, A. (2006) Voertuigontwikkeling in het kader van het Superbusproject en de toepassing op de Zuiderzeelijn, Delft, 4 april 2006
- Meyer, M. (1988) Bedarfsorientierte ÖPNV-Bedienung in der Fläche, *Verkehr und Technik*, 7, 280-289
- Ockels, W.J. (2006) Brief aan de ministers van EZ, OCW, VenW en VROM, Delft, 20 februari 2006
- Oomen, J, Biesboer, F. (2006) Superbus Wubbo Ockels beste alternatief voor snelle verbinding naar Noord-Nederland, *De Ingenieur*, 118 (6), 28 april, 20-28
- Oomen, J. (2005) Horizontale lift, *De Ingenieur*, 117 (20), 18 november, 30-31
- Peijs, K.M.H. (2006) Brief aan de Voorzitter van de Tweede Kamer, 's Gravenhage, 13 april 2006