

IZF 1990 C-19
J.E. Korteling
W.B. Verwey
D.S.C. Osinga

ERGONOMISCH ADVIES ON-BOARD UNIT

Opdrachtgever: Dienst Verkeerskunde van Rijkswaterstaat,
Boompjes 200, 3011 XD Rotterdam

Aantal bladzijden: 33

INHOUD	Blz.
SAMENVATTING	5
SUMMARY	6
1 INLEIDING	7
2 UITZICHTBEPERKINGEN VAN DE OBU	8
2.1 Inleiding	8
2.2 Methode	9
2.2.1 Steekproef	9
2.2.2 Afhankelijke variabelen	10
2.2.3 Apparatuur	12
2.2.4 Procedure	12
2.3 Resultaten	13
2.4 Conclusies en aanbevelingen	16
2.4.1 OBU I, model Zwanehals	16
2.4.2 OBU II, model Horizon	17
2.4.3 OBU III, geïntegreerd model	17
3 INFORMATIEPRESENTATIE VAN DE OBU	18
3.1 Welke informatie dient gepresenteerd te worden?	18
3.1.1 Reguliere boodschappen	18
3.1.2 Uitzonderlijke boodschappen	19
3.2 Waar en wanneer dient de informatie gepresenteerd te worden?	20
3.3 Hoe dient de informatie gepresenteerd te worden?	21
3.3.1 Bestuurderaanbacht en de OBU	21
3.3.2 De leesbaarheid en herkenbaarheid van boodschappen	22
3.4 Conclusies en aanbevelingen	26
3.5 De OBU in de toekomst	28
4 CONCLUSIES EN DISCUSSIE	29
REFERENTIES	32

Ergonomisch advies on-board unit

J.E. Korteling, W.B. Verwey en D.S.C. Osinga

SAMENVATTING

In verband met de ontwikkeling van een systeem waarmee op wegen automatisch tol geheven kan worden zijn drie prototypen "On-Board Unit" (OBU) ontworpen. Dit zijn apparaatjes die achter de voorruit van de auto (bij de binnenspiegel) bevestigd worden, waarmee op vaste meetpunten automatisch, en zonder snelheid te verminderen tolkosten kunnen worden verrekend. Dit rapport behandelt twee vragen die betrekking hebben op de ergonomie van OBU's:

1. In welke mate wordt het uitzicht door plaatsing van de ontwikkelde OBU's beperkt en in hoeverre is dat acceptabel voor de veiligheid van het autorijden?

2. Welke eisen moeten er gesteld worden aan de informatiepresentatie van de OBU, zodanig dat de verkeersveiligheid niet wordt aangetast?

Ter beantwoording van de eerste vraag werd bij een geselecteerde steekproef van 20 personenauto's een aantal maten voor het uitzicht gemeten. Tevens werden twee acceptatie-criteria geformuleerd. Omdat het gebied om en nabij de binnenspiegel alleen voor lange personen in het kritische kijkgebied ligt werd bij de metingen uitgegaan van de oogpositie van een bestuurder met forse lichaamsafmetingen. Gevonden werd dat het uitzicht bij één van de drie OBU-typen (type "Horizon") in 25% van de gevallen niet aan één van de twee toelaatbaarheidscriteria voldeed. Bovendien bleek dat de uitzichtbeperking teveel optelt bij de bestaande uitzichtbeperking door de binnenspiegel. Hierdoor zorgt dit type voor een aanzienlijke vergroting van de kans dat van rechts komend verkeer niet, of te laat, wordt opgemerkt. Voor de andere twee OBU-typen bleken negatieve consequenties voor het uitzicht minimaal. De tweede vraag werd op basis van een literatuuronderzoek beantwoord. Dit levert een set van ergonomische eisen op waaraan de OBU dient te voldoen. Deze eisen hebben o.a. betrekking op de leesbaarheid van het display, de manier waarop de OBU de aandacht van de bestuurder dient te trekken en waar dit juist wel of juist niet gebeuren moet.

Ergonomic advise On-Board Unit

J.E. Korteling, W.B. Verwey and D.S.C. Osinga

SUMMARY

In connection with the development of an efficient system for toll collection three prototypes "On-Board Unit" (OBU) were designed. These are small apparatus attached behind the front window of the car (near the inside mirror), which are part of a system for automatic toll clearance. The present report deals with two questions concerning the ergonomics of OBU's.

1. To what degree do OBU's limit the view of the driver and to what extent is this acceptable for the safety of car driving?
2. What are the requirements for information presentation such that traffic safety is not violated?

In order to answer the first question a number of view measures were taken from a selected sample of 20 cars. Also two criteria for permission were formulated. Because only for taller persons the inside mirror is positioned in a critical view zone, the measurements were based on the eye position of a tall driver. One of the three OBU types (type "Horizon") did not meet one of the permission criteria in 25% of the cases. Besides, it appeared that the limitation of view caused by this type added too much to the existing limitation of view caused by the inside mirror. This causes a significant increase of the probability that traffic approaching from the right remains unnoticed. For the other two types the consequences for the outside view were found to be minimal. The answer to the second question was based on a literature study. This produced a set of ergonomic requirements which the OBU has to fulfil in order to attain an optimal degree of safety. These requirements referred to the legibility of the display, the optimal manner of attracting the driver's attention, and the location where this should be done.

1 INLEIDING

Momenteel wordt gewerkt aan de ontwikkeling van een systeem waarmee automatisch tol geheven kan worden, het zogenaamde Rekening Rijden. Dit systeem biedt de mogelijkheid om de hoogte van het tolgeld te laten variëren met de verkeersdrukke. Zo wordt geprobeerd het auto-gebruik onaantrekkelijker te maken op plaatsen en tijden waar de maximale wegcapaciteit overschreden dreigt te worden. Bij deze ontwikkeling wordt er vanuit gegaan dat elk voertuig een transponder, ook wel On-Board Unit (OBU) genoemd, aan boord heeft die via een draadloze (infrarood of microgolf) verbinding met meetpunten langs de weg kan communiceren. Volgens de huidige plannen is de OBU een volledig autonome eenheid die achter de voorruit bevestigd zal worden. Om tolheffing mogelijk te maken dient de bestuurder bij een z.g. opwaardestation een voorschot op het tolgeld te betalen. De grootte van dit voorschot wordt op een soort smart-card vastgelegd. Deze smart-card kan in de OBU worden geschoven en door de OBU worden gelezen. Ook wordt gedacht aan een geïntegreerde OBU die in z'n geheel uit de auto gehaald en opgewaardeerd kan worden. Bij het passeren van een meetpunt zullen de tolkosten automatisch, en zonder dat het voertuig snelheid dient te verminderen, van het aanwezige saldo worden afgetrokken. Bij onvoldoende saldo of afwezigheid van een OBU zullen de kosten van de passage, inclusief een fiscale naheffing, later op de eigenaar van de auto verhaald worden via automatische detectie van het kenteken.

In dit rapport wordt er vanuit gegaan dat er met betrekking tot de ergonomie van de OBU twee hoofdvragen zijn. Aangezien de OBU volgens de huidige plannen op de voorruit wordt bevestigd, betreft de eerste vraag de uitzichtbeperking die hiervan het gevolg is: in welke mate wordt het uitzicht door plaatsing van de ontwikkelde OBU's beperkt en in hoeverre is dat acceptabel voor de veiligheid van het autorijden? Deze vraag zal in hoofdstuk 2 worden behandeld.

De tweede vraag betreft de informatiepresentatie van de OBU. Welke eisen moeten er gesteld worden aan de informatiepresentatie van de OBU, zodanig dat de verkeersveiligheid niet wordt aangetast. In hoofdstuk 3 zullen dan ook de volgende vragen achtereenvolgens behandeld worden; welke boodschappen dienen gepresenteerd te worden, wanneer dient dat te gebeuren en, tenslotte, hoe dient die informatie gepresenteerd te worden?

2 UITZICHTBEPERKINGEN VAN DE OBU

2.1 Inleiding

Momenteel zijn er drie prototypen van de OBU waarvan de bruikbaarheid wordt bestudeerd (Fig. 1). Type I (model "Zwanehals") en II (model "Horizon") worden achter de voorruit bevestigd. Het z.g. geïntegreerde type III wordt in een voorgemonteerde houder bevestigd en kan in zijn geheel uit de auto worden gehaald. Bij plaatsing van de OBU hoog in het midden van de voorruit is de kans op transmissiefouten bij meetpunten het kleinst. Teneinde het uitzicht onder deze randvoorwaarde zo min mogelijk te beperken zijn de OBU's ontworpen voor (gedeeltelijke) plaatsing achter de binnenspiegel.

De OBU's zijn ontworpen met als uitgangspunt dat de bestuurder via een display tijdens het rijden informatie krijgt. Ze dienen dus tenminste voor een deel direct zichtbaar te zijn, hetgeen voor het uitzicht negatieve consequenties kan hebben.

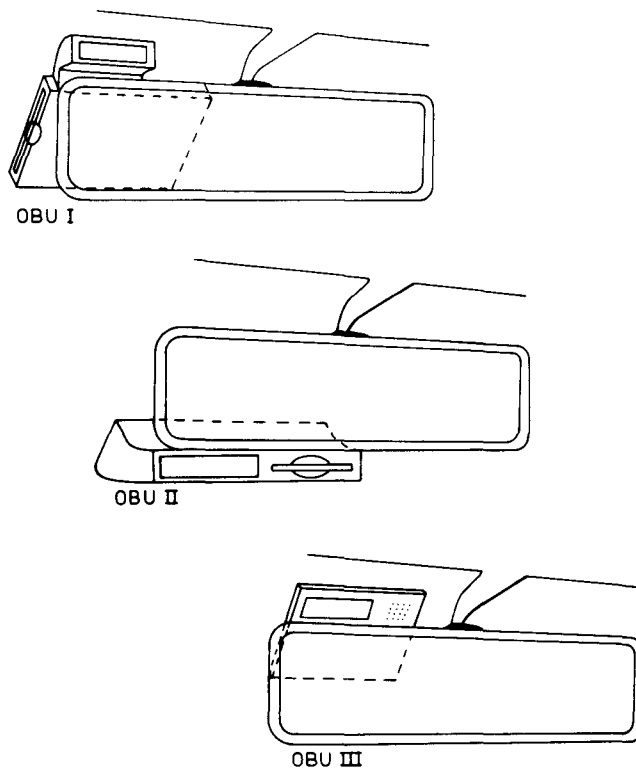


Fig. 1 Tekening van de drie OBU Typen. I = "Zwanehals", II = "Horizon", III = geïntegreerd model.

Type I en III worden achter de spiegel geplaatst, waarbij er naar wordt gestreefd dat alleen het display boven de spiegel uitsteekt. Type II wordt zo dicht mogelijk onder de spiegel geplaatst. Alle OBU's moeten zodanig geplaatst worden dat de spiegel nog op een optimaal uitzicht naar achteren kan worden ingesteld.

Voor het goed kunnen uitvoeren van de rijtaak is het van belang dat het zicht zo min mogelijk wordt belemmerd. Wat dit betreft zijn in de Nederlandse wetgeving geen normen opgenomen, waaraan de uitzichtbeperking door OBU's kan worden getoetst. Daarom werd m.b.t. de toelaatbaarheid van OBU's de volgende "pragmatische" norm gehanteerd: wanneer de positie van OBU's in het gezichtsveld zodanig is dat de uitzichtbeperking niet ernstiger is dan de beperking door momenteel reeds aanwezige objecten midden-boven bij de voorruit, dan is deze beperking toelaatbaar. De belangrijkste structurele beperking in het midden-bovengebied van de voorruit wordt gevormd door de binnenspiegel.¹ Daarom werd allereerst gezocht naar auto's, waarbij de standaard-binnenspiegel een maximale uitzichtbeperking veroorzaakt. Vervolgens werd steekproefsgewijs gekeken in hoeverre de uitzichtbeperking bij een optimale plaatsing van OBU's achter binnenspiegels binnen deze maximum grenzen bleef. Wanneer OBU's aan dit pragmatische criterium zouden voldoen - d.w.z. de uitzichtbeperking blijft binnen de gestelde grenzen - dan kunnen ze in principe als toelaatbaar worden beschouwd. In het geval dat uitzichtbeperkingen niet aan dit criterium zouden voldoen zijn OBU's alleen toelaatbaar als aannemelijk gemaakt kan worden dat de consequenties van uitzichtbeperking voor de veiligheid van het autorijden gering zijn.

2.2 Methode

2.2.1 Steekproef

Op basis van een globaal vooronderzoek bij 100 personenauto's werd een beperkt aantal auto's geselecteerd zodanig dat deze zoveel mogelijk representatief was voor het moderne wagenpark en tevens het gehele scala aan mogelijke OBU-plaatsingsproblemen omvatte. Plaatsingsproblemen werden vooral veroorzaakt door een te kleine ruimte links

¹ Ook de zonwering kan een uitzicht-beperking veroorzaken. De mate waarin deze het uitzicht belemmert kan echter naar behoefte worden geregeld. Bij een binnenspiegel of OBU is dit niet het geval. Bij metingen bleek dat de zonwering altijd zodanig kon worden ingesteld dat de horizon nog zichtbaar was (zie Tabel I). Dit betekent dat geen enkel object op de grond door de zonwering aan het zicht hoeft te worden onttrokken.

achter of links boven de spiegel voor OBU I. Dit betrof soms een te kleine ruimte tussen spiegel-achterkant en voorruit, een te grote ruimte ingenomen door de spiegel-bevestiging (aan het dak of op de voorruit) of een te kleine ruimte tussen spiegel-bovenkant en het dak van de auto. Ook een, verticaal gezien, te rechte voorruit (bij terreinwagens) leverde problemen op omdat het display van de OBU I en II hierdoor te veel schuin omhoog stak om optimaal te kunnen worden gelezen. In verband met het toelaatbaarheids criterium zoals hiervoor omschreven diende in deze steekproef vertegenwoordigd te zijn een voertuig met een extreem lage binnenspiegel en een voertuig met een extreem ver naar links geplaatste binnenspiegel. Dit leverde een steekproef van 20 voertuigen op bestaande uit de 13 meest verkochte personenauto's uit 1989 (1 - 13) aangevuld met 5 andere courante personenauto's (14 - 18) en 2 terreinwagens (19 - 20).

1 Opel Kadett	11 Opel Vectra
2 VW Golf	12 Volvo 440
3 Ford Escort	13 Mazda 323
4 Ford Sierra	14 Fiat Uno
5 Peugeot 205	15 Suzuki Alto
6 Citroen BX	16 Nissan Micra
7 Nissan Sunny	17 Daihatsu Cuore
8 Toyota Corolla	18 VW Passat
9 Renault 19	19 Nissan Kingcab (terrein)
10 Peugeot 405	20 Suzuki SJ 410 (terrein)

2.2.2 Afhankelijke variabelen

In de inleiding van dit hoofdstuk werd gesteld dat een OBU in principe toelaatbaar is als deze het uitzicht niet meer beperkt dan de minst gunstig geplaatste binnenspiegels. De belangrijkste maten voor uitzichtbeperking werden op grond van de volgende gedachtengang gekozen. Voor het uitzicht door de voorruit is het gebied beneden de horizon (ooghoogte) van belang. Wanneer dit gebied geheel gezien kan worden, dan kunnen alle objecten die zich op de grond bevinden, in principe tot de horizon toe, worden gezien. Voorts neemt het belang van dit gebied toe naarmate de kijklijn, recht vooruit, wordt benaderd. Dit betekent dat er twee afhankelijke variabelen te formuleren zijn die maatgevend zijn voor het effectieve uitzicht langs de binnenspiegel en/of OBU (zie Fig. 2):

- De afstand A op de grond die onder de spiegel of OBU doorkijkend gezien kan worden, gemeten vanaf het punt op de grond recht onder de oogpositie.
- De hoek β_1 tussen de binnenspiegel of OBU en de kijklijn recht vooruit ("horizontaal uitzicht").

Om de uitzichtafstand op de grond vóór het voertuig A te berekenen werden twee variabelen gemeten: 1. de ooghoogte B en 2. de hoek α_1 tussen het horizontaalvlak en de lijn van de linker oogpositie naar de spiegel of OBU (midden onderkant). De hoek β_1 tussen de kijklijn recht vooruit en de spiegel of OBU werd gemeten vanuit de linker oogpositie, uitgaande van de uiterste linkerkant van de spiegel of OBU. Tevens werden de verticale α_2 en horizontale β_2 hoeken berekend waarover de spiegel, resp. OBU's, het zicht beperkten. Bij de bepaling van de rechter grens van uitzichtbeperking β_2 werd uitgegaan van de rechter oogpositie.

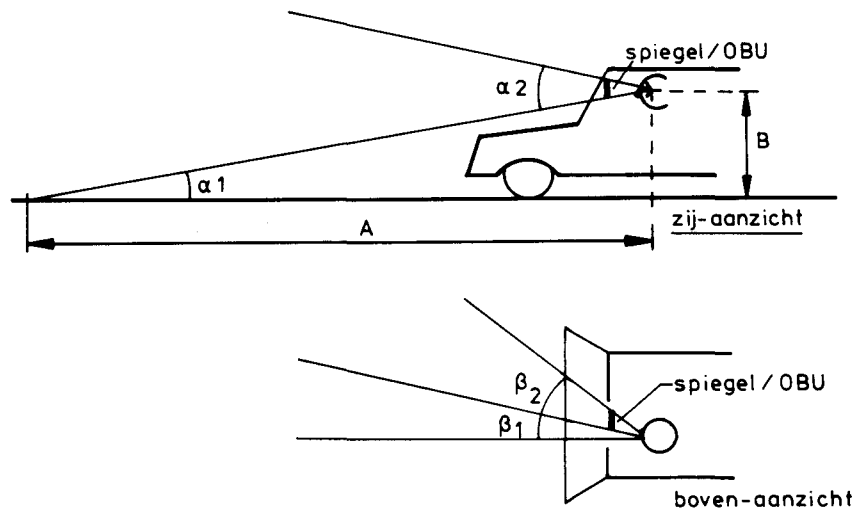


Fig. 2 Schematische weergave van de twee belangrijkste maten voor het uitzicht.

Belemmeringen van het uitzicht door de spiegel of OBU zijn het grootst voor lange mensen. Ten eerste omdat de spiegel voor hen relatief laag is, waardoor de uitzichtafstand A verminderd kan worden. Ten tweede omdat zij, vanwege hun lichaamslengte, hun stoel zodanig instellen dat hun oogpositie ver naar achteren komt te liggen. Dit verkleint de horizontale hoek β_1 tussen de kijklijn en de spiegel of OBU waardoor de uitzichtbelemmering in feite meer in de richting van het centrale, en dus meest kritische, kijkgebied komen te liggen. Daarom werd bij de metingen in principe uitgegaan van een lang persoon.

Bij pilot-metingen bleek echter dat in enkele gevallen OBU I wél goed plaatsbaar was bij oogposities van lange bestuurders terwijl dit niet het geval was voor korte bestuurders omdat bij hen de spiegel te ver naar binnen gedraaid moest worden. Hierdoor resteerde te weinig ruimte tussen de binnenspiegel en de voorruit voor plaatsing van OBU I zodat deze naar links moest worden geplaatst. In dat geval werd de horizon-

tale hoek tussen kijklijn en OBU nog eens gemeten vanuit de oogpositie van een klein persoon.

2.2.3 Apparatuur

De oogpositie van waaruit gemeten werd, werd bepaald met een mal, geplaatst midden op de zitting van de bestuurdersstoel. De afmetingen van de mal waren gebaseerd op een persoon waarvan de ooghoogte zittend en de boven- en onderbeenlengte overeenkomt met het 95^e percentiel (p95) van de Nederlandse mannen plus vrouwen (Molenbroek & Dirken, 1986) bij een 25° naar achteren gekantelde rugleuning.

Tevens beschikte de mal over een punt van waaruit een korte bestuurder (gebaseerd op ooghoogte zittend en beenlengte behorend bij het 5^e percentiel van de Nederlandse mannen en vrouwen, p5) naar voren kijkt. De stoel werd zover naar achteren geplaatst dat de voet precies op het gaspedaal en het bovenbeen op de zitting rustte.

Om hoeken te meten werd gebruik gemaakt van een horizontaalmeter en een uitzichtcirkel. Een horizontaalmeter meet hoeken ten opzichte van het horizontaalvlak. Een uitzichtcirkel is een cirkel rond het voertuig met een graden-indeling. Het centrum bevindt zich precies onder de oogpositie van de bestuurder. De kijklijn recht vooruit bevindt zich op 0° (Korteling & Osinga, 1989). Ten opzichte van deze lijn werden horizontale hoeken met de spiegel, resp. de OBU's, gemeten.

2.2.4 Procedure

Als eerste werd de stoelpositie met behulp van de mal ingesteld. Vervolgens werd het voertuig in de uitzichtcirkel gepositioneerd zodanig dat hij evenwijdig met de 0° lijn stond en de oogpositie van de mal zich recht boven het centrum bevond. Daarna werd de spiegel zodanig ingesteld dat vanuit de oogpositie recht naar achteren gekeken werd. Na de metingen vanuit de p95 oogpositie werd de spiegel vanuit de p5 positie ingesteld en werd gekeken of dit negatieve consequenties had voor de plaatsing van OBU I. Zo ja, dan werd de OBU I opnieuw geplaatst en werd de overblijvende horizontale hoek met de kijklijn gemeten. Wanneer de spiegel of stoelhoogte instelbaar was, dan werd gemeten bij de laagst mogelijke zittinghoogte omdat dit voor lange mensen het meest comfortabel is en omdat hierdoor de uitzichtbeperking door de binnenspiegel het kleinst wordt. Om de laatst genoemde reden werd bij een instelbare spiegelhoogte (Opel Kadett en Opel Vectra) de hoogste spiegelpositie gekozen. De zonneklep werd maximaal naar voren (tegen de voorruit) gesteld. Maximale structurele uitzichtbeperkingen door de spiegel (alleen) werden gevonden bij de Citroën BX en de Daihatsu Cuore. Bij de Citroën BX was de verticale hoek α_1 , het grootst (-4.5°) en was de vrije zichtafstand A het kleinst (15.4 m, zie Tabel

I). Bij de Daihatsu Cuore werd de kleinste horizontale zichthoek β_1 gevonden (18.6° , zie Tabel II). Deze waarden vormden de acceptatiecriteria. D.w.z. dat de OBU's in principe toelaatbaar geacht worden als de uitzichtbeperkingen resulteren in een vrije zichtafstand A groter dan 15.4 m. en een horizontale zichthoek β_1 groter dan 18.6° .

2.3 Resultaten

OBU I kon altijd zo worden geplaatst dat het uitzicht op de grond (beneden de horizon) niet extra werd gehinderd (boven de bestaande zichtbelemmering op de grond vanwege de spiegel). OBU II kon altijd zodanig worden geplaatst dat het horizontale uitzicht tussen de spiegel en de kijklijn niet verkleind werd. Daarom speelde OBU I geen rol voor de resultaten ten aanzien van het (verticale) uitzicht op de weg en was de rol van OBU II van minder belang ten aanzien van het (horizontale) uitzicht in de breedte. Plaatsing van de geïntegreerde OBU III had ten aanzien van geen van deze uitzichtdimensies negatieve consequenties. Deze OBU kon altijd zodanig boven de spiegel worden geplaatst dat het display vanuit het p95 oogpunt juist boven de spiegel uitstak. Voor kleine bestuurders (p5) kon OBU III ook zodanig hoog links van de spiegel worden geplaatst dat onder de OBU de horizon nog volledig zichtbaar was.

Tabel 1 geeft een overzicht van de meetresultaten bij de 20 voertuigen met betrekking tot het uitzicht in verticale dimensie. Het betreft hier de hoeken α_1 tussen de horizontaallijn enerzijds en de lijn tussen het oogpunt en spiegel-, zonnescerm-, of OBU-onderkant anderzijds, en daarnaast de verticale uitzichthoek α_2 die door de spiegel of door OBU II wordt ingenomen. Voorts is weergegeven de ooghoogte B en de afstand A waarop de beperking van het uitzicht op het wegdek (door de spiegel, of OBU) begint. Dit is voor het uitzicht de belangrijkste maat in de tabel.

Tabel I Uitzichtmetingen in verticale richting. Wanneer de onderkant van een object beneden de horizon ligt hebben de gemeten hoeken een negatief teken.

	Oogh. Zonneklep		Spiegel alleen		A(m)	Spiegel+OBU II		
	B(m)	$\alpha_1(^{\circ})$	$\alpha_1(^{\circ})$	$\alpha_2(^{\circ})$		$\alpha_1(^{\circ})$	$\alpha_2(^{\circ})$	A(m)
Opel Kadett	1.190	6.5	-0.5	7.0	136.4	-2.5	9.0	27.3
VW Golf	1.215	4.5	-0.3	6.3	278.5	-2.0	8.0	34.8
Ford Escort	1.195	5.3	-1.5	7.5	45.6	-3.5	9.5	19.4
Ford Sierra	1.200	2.6	2.8	7.3	n.v.t.	0.0	10.0	n.v.t.
Peugeot 205	1.210	0.0	-3.5	6.0	19.8	-5.5	8.0	12.6
Citroën BX	1.215	0.0	-4.5	6.0	15.4	-6.5	8.0	10.7
Nissan Sunny	1.220	3.0	-3.5	6.5	20.0	-5.5	8.5	12.7
Toyota Corolla	1.160	5.0	2.0	7.0	n.v.t.	0.0	9.0	n.v.t.
Renault 19	1.235	0.5	-3.5	6.3	20.2	-5.5	8.3	12.8
Peugeot 405	1.220	4.5	-1.0	6.0	69.9	-2.8	7.8	25.4
Opel Vectra	1.207	5.5	-0.5	7.0	138.3	-2.5	9.0	27.7
Volvo 440	1.220	0.0	-2.0	6.5	34.9	-3.8	8.3	18.6
Mazda 323	1.200	3.0	-1.5	7.0	45.8	-3.5	9.0	19.6
Fiat Uno	1.235	3.3	-0.5	7.5	141.5	-2.5	9.5	28.3
Suzuki Alto	1.225	3.0	-0.5	7.5	140.4	-2.5	9.5	28.1
Nissan Micra	1.220	3.0	-1.5	6.5	46.6	-4.0	9.0	17.5
Daihatsu Cuore	1.210	4.0	-2.5	7.0	27.7	-4.0	8.5	17.3
VW Passat	1.175	6.0	3.0	7.0	n.v.t.	1.0	9.0	n.v.t.
Nissan King Cab	1.482	3.0	2.0	5.5	n.v.t.	0.0	7.5	n.v.t.
Suzuki SJ 410	1.466	0.0	-1.5	4.5	56.0	-5.6	8.6	15.0
Gemiddelde	1.235	3.1	-1.0	6.6	72.8	-3.1	8.7	19.3
Standaarddev.	0.082	2.2	2.1	0.7	69.8	2.1	0.6	8.3

Slechts bij vier voertuigen bevond het oogpunt zich beneden de onderkant van de spiegel of OBU II, zodat hier het vrije zicht op de weg niet door de spiegel werd beperkt (in kolom 5 aangeduid met n.v.t.). Voor alle overige voertuigen gold dat de spiegel een deel van het effectieve uitzicht op de grond belemmerde. Het merendeel van de spiegels is dus zo laag geplaatst dat lange mensen een deel van de horizon niet kunnen zien. OBU II versterkt dit effect aanzienlijk: de hoek beneden de horizon wordt gemiddeld met 2.1° vergroot (verschil kolom 3 en 6). Dit betekent dat door plaatsing van OBU II de bovengrens van het vrije zicht op de weg gemiddeld van 72.8 m naar 19.3 m afneemt (zie kolom 5 en 8). Bovendien kan voor een vijftal voertuigen (25%) niet zonder meer gesteld worden dat deze bovengrens nog acceptabel is. Bij deze auto's daalt het vrije zicht op de weg tot beneden de norm van 15.4 m (in kolom 8 zijn de betreffende waarden vet en onderstreept weergegeven). Uit de data (ooghoogte en hoek tussen horizontaal en spiegel-bovenkant) valt voorts te berekenen dat het punt waarop de

spiegel ook het bovendeel van de meeste andere verkeersdeelnemers (< 2 m) aan het zicht onttrekt al bereikt wordt bij een afstand van gemiddeld 7.75 m vanaf het oogpunt. Dit betekent dat de zichtbeperking door OBU II serieuze gevolgen kan hebben voor het kunnen waarnemen van andere verkeersdeelnemers. Het betreft hier vooral verkeersdeelnemers die van rechts komen en dus vaak voorrang hebben. Deze conclusie geldt voor grotere bestuurders; kleinere bestuurders kijken onder de spiegel of OBU's door, zodat spiegels of OBU's voor hen geen beperkingen van het uitzicht op de weg veroorzaken.

Tabel II geeft een overzicht van de meetresultaten met betrekking tot het horizontale uitzicht. Per voertuigtype is weergegeven de hoek tussen de kijklijn recht vooruit en de linkerkant van de spiegel of spiegel+OBU configuratie. Daarnaast weergegeven is de horizontale uitzichthoek β_2 die door de spiegel of door OBU II wordt ingenomen. Wanneer OBU I niet geheel achter de spiegel te plaatsen is, en er dus links uitsteekt wordt de resterende zichthoek β_1 kleiner (kolom 3). Hetzelfde geldt wanneer OBU I verschoven moet worden als de spiegel op een klein persoon (5^e percentiel lichaamslengte) wordt ingesteld (kolom 4).

Uit Tabel II blijkt dat OBU I bij ongeveer de helft van de auto's de vrije horizontale zichthoek β_1 verkleint. In die gevallen is de waarde van kolom 1 hoger dan die van kolom 3 en is de waarde van kolom 2 hoger dan die van kolom 4. Echter, slechts in één geval, de Citroen BX, resulteerde dit in een vrije horizontale zichthoek β_1 die kleiner was dan 18.6° (kolom 1 en 3).

Bij een laag oogpunt (p5) voldeden in totaal drie voertuigen niet aan dit criterium (kolom 5). De consequenties van deze bevindingen voor het uitzicht zijn echter niet alarmerend omdat OBU I, wanneer hij vanachter de spiegel uitsteekt, meestal wel een stukje omhooggeschoven kan worden, zodat de onderkant voor een lang persoon op horizonhoogte of zelfs daarboven komt². Bij de Citroën BX kon OBU I zover omhoog worden geschoven dat de onderkant voor een lange bestuurder (p95) op ooghoogte kwam. Hierdoor bleef het uitzicht tot op de horizon onbelemmerd. Voor kleinere bestuurders is het naar links uitsteken van OBU II sowieso niet hinderlijk omdat zij ruim onder de OBU door kunnen kijken. Het effect van OBU I bij deze mensen is te vergelijken met dat

²Zonder dit omhoogschuiven lag de onderkant van het uitstekende deel van OBU I gemiddeld slechts 0.9° beneden de horizon. Bij een gemiddelde ooghoogte van 1.24 m betekent dit dat lange bestuurders in dit soort voertuigen gemiddeld nog 80 m onder de OBU door vooruit kunnen zien.

van een neergeklapte zonneklep, zij het dat de breedte van de uitzichtbelemmering bij de zonneklep aanzienlijk groter is.

De laatste kolom van tabel II laat zien dat de horizontale hoek waarover OBU II het effectieve zicht op de weg extra belemmert rond de 8.5° ligt. Op een afstand van 25 m kan hierdoor al het zicht op twee achter elkaar rijdende fietsers verloren gaan.

Tabel II Uitzichthoeken in horizontale richting (°).

	Spiegel		Spiegel+OBU I		OBU II		
	$\beta_1(p95)$	$\beta_2(p95)$	$\beta_1(p95)$	$\beta_2(p95)$	$\beta_1(p5)$	$\beta_2(p5)$	$\beta_2(p95)$
Opel Kadett	26.0	18.0	22.0	22.0	19.0	25.0	9.0
VW Golf	24.5	14.0	24.5	14.0	24.5	14.0	8.0
Ford Escort	24.5	14.0	24.5	14.0	24.5	14.0	8.5
Ford Sierra	27.0	16.5	20.5	23.0	20.5	23.0	9.0
Peugeot 205	22.0	19.0	19.6	21.4	19.6	21.4	9.4
Citroën BX	20.0	15.0	<u>15.5</u>	19.5	<u>11.5</u>	23.5	7.5
Nissan Sunny	21.0	19.0	21.0	19.0	21.0	19.0	7.7
Toyota Corolla	26.5	18.5	26.5	18.5	26.5	18.5	8.5
Renault 19	26.0	17.0	22.5	20.5	22.5	20.5	8.0
Peugeot 405	24.5	18.5	17.5	25.5	<u>13.0</u>	30.0	9.5
Opel Vectra	25.0	18.0	21.0	22.0	19.0	24.0	9.0
Volvo 440	22.5	17.5	18.5	21.5	<u>13.0</u>	27.0	8.6
Mazda 323	24.0	20.0	24.0	20.0	24.0	20.0	9.0
Fiat Uno	25.5	16.0	24.0	17.5	24.0	17.5	8.0
Suzuki Alto	22.5	17.5	20.0	20.0	20.0	20.0	8.5
Nissan Micra	22.5	17.5	22.5	17.5	22.5	17.5	7.5
Daihatsu Cuore	18.6	16.9	18.6	16.9	18.6	16.9	7.4
VW Passat	25.5	15.5	24.0	16.5	24.0	16.5	8.0
Nissan King Cab	26.0	18.5	26.0	18.5	26.0	18.5	9.5
Susuki SJ 410	20.0	14.0	20.0	14.0	20.0	14.0	6.5
Gemiddelde	23.7	17.1	21.6	19.1	20.7	20.0	8.4
Standaarddeviatie	2.4	1.8	2.9	3.1	4.3	4.4	0.9

2.4 Conclusies en aanbevelingen

2.4.1 OBU I, model Zwanehals

Ten aanzien van OBU I lijken de problemen niet bijzonder groot. Slechts bij één voertuig was de uitzichtbeperking niet zonder meer acceptabel. Dit kon echter worden opgelost door een verschuiving van de OBU naar boven. Ook plaatsing direct rechts van de spiegelvoet zou hier een mogelijke oplossing zijn, ware het niet dat de gleuf voor de smart card dan niet goed meer te bereiken is. Een model waarbij de smart card bijvoorbeeld van twee kanten, of van onderaf, kan worden

ingeschoven zou in dit opzicht de voorkeur verdienen. Ook is het aan te bevelen OBU I (zowel de body als de zwanehals), zo plat mogelijk te maken zodat hij bij een groter aantal auto's zonder meer links achter de spiegel geplaatst kan worden.

Tot slot dient OBU I over goede richtlijnen voor plaatsing te beschikken, zodat de kans op onjuiste plaatsing zoveel mogelijk gereduceerd wordt. Bij drie voertuigen moest OBU I naar links verschoven worden teneinde de spiegel in te kunnen stellen op een kleine bestuurder. Omdat OBU I na instelling niet makkelijk te verplaatsen is dient hiermee terdege rekening te worden gehouden, vooral wanneer een auto door meerdere bestuurders wordt gebruikt. Ook dienen de richtlijnen aan te geven hoe de uitzichtbeperking van OBU I zo beperkt mogelijk dient te worden gehouden.

2.4.2 OBU II, model Horizon

Bij 16 van de 20 voertuigen belemmerden de binnenspiegels een vrij uitzicht op de weg. Bij een groot deel van de voertuigen kwam dit uitzicht zelfs niet verder dan tot 50 m voor de oogpositie. Deze verre van optimale situatie zou door plaatsing van OBU II (beneden de spiegel) nog eens fors verslechteren. Ook over de spiegel heen kijken heeft in de meeste situaties geen zin. Zelfs voor langere verkeersdeelnemers zijn op een afstand van 10 m vanaf het oogpunt alleen vrachtwagens, vanwege hun hoogte, nog zichtbaar. Het gevolg hiervan is dat van rechts komend verkeer voor lange mensen aan het zicht onttrokken wordt. De meeste ongevallen worden veroorzaakt door een min of meer toevallige samenloop van omstandigheden en acties. Omdat de belemmering van het zicht door OBU II de kans op een dergelijke toevallige samenloop aanzienlijk vergroot, kan deze zichtbeperking een niet te verwaarlozen bron vormen voor het ontstaan van ongevallen. Daarom moet vanuit veiligheidsoverwegingen geconcludeerd worden dat OBU II geen aanbeveling verdient.

2.4.3 OBU III, geïntegreerd model

Doordat OBU III altijd met het display boven of linksboven de spiegel geplaatst kon worden zonder dat het uitzicht beneden de horizon werd beperkt veroorzaakt dit model, ten aanzien van de gestelde criteria, geen relevante zichtbeperkingen.

3 INFORMATIEPRESENTATIE VAN DE OBU

Tijdens het rijden is de wijze waarop OBU's informatie aan de bestuurder geven kritisch. Onduidelijke signalen of signalen op het verkeerde moment kunnen de bestuurder afleiden van de rijtaak en daarmee onveilige situaties veroorzaken. Daarom wordt in dit hoofdstuk, zowel vanuit ergonomisch als vanuit verkeersveiligheidsoogpunt, een aantal aanbevelingen gegeven ten aanzien van de informatiepresentatie.

3.1 Welke informatie dient gepresenteerd te worden?

In deze sectie zal een onderscheid gemaakt worden tussen reguliere en uitzonderlijke boodschappen. Reguliere boodschappen zijn boodschappen die bij normaal functioneren van de OBU worden gepresenteerd. Uitzonderlijke boodschappen zijn waarschuwingen en foutmeldingen die juist aangeven dat de OBU niet naar behoren functioneert.

3.1.1 Reguliere boodschappen

De volgende reguliere boodschappen kunnen onderscheiden worden: de hoogte van het resterende saldo, het feit dat de afhandeling bij de passage van een meetpunt correct verlopen is en, eventueel, de hoogte van het geheven tolgeld.

Het resterende saldo is van belang omdat dit de bestuurder in de gelegenheid stelt na te gaan wanneer het saldo op de smart-card van de OBU opgewaardeerd moet worden. Aangezien de bestuurder altijd de mogelijkheid moet hebben vast te stellen of het saldo moeten worden aangevuld, is het zinvol het resterende saldo continu te tonen (vgl. de benzinemeter). Dit zal de kans dat de bestuurder tijdige opwaardering vergeet uit te voeren verkleinen en dus de efficiëntie van het systeem verhogen.

De boodschap dat een meetpunt is gepasseerd en dat het tolgeld op juiste wijze is betaald dient twee doelen. Enerzijds geeft dit aan dat de OBU goed functioneert. Anderzijds maakt dit de bestuurder bewust van het feit dat er tolgeld geheven is. Deze bewustwording is met name van belang daar de bestuurder geacht wordt zich te laten beïnvloeden door de tolgeldheffing in de keus wanneer gereden wordt.

Aangezien de hoogte van het tolbedrag zal variëren zal de bestuurder geïnteresseerd zijn in de hoogte van het tolbedrag. Men kan dit natuurlijk te weten komen door het resterend saldo na het meetpunt af te trekken van het saldo ervoor. Dit impliceert echter dat men zowel voor als na het meetpunt op de OBU dient te kijken en vervolgens moet rekenen. Gezien de mentale en visuele belasting die dit met zich

meebrengt is het verstandig om na passage van het meetpunt de hoogte van het geheven tolgeld weer te geven. Even belangrijk als het feit dat dit de bestuurder ontlast, is dat dit de bestuurder nadrukkelijk confronteert met het bedrag dat zojuist betaald is. Dit zal bijdragen aan een bewustere keuze omtrent route en tijdstip bij latere ritten. Dit pleidooi voor presentatie van het geheven tolbedrag betekent overigens niet dat dit ook op de OBU zelf dient te worden weergegeven. Indien de hoogte van het tolbedrag voor alle weggebruikers gelijk is kan dit bedrag ook op een elektronisch bord langs de kant van de weg worden gepresenteerd.

3.1.2 Uitzonderlijke boodschappen

Afgezien van de reguliere informatie zal de OBU ook waarschuwingen en foutmeldingen geven. Waarschuwingen kunnen zijn dat het resterend saldo zich in een kritisch gebied bevindt of zelfs nihil is, en dat de batterijen bijna leeg zijn. Foutmeldingen kunnen betrekking hebben op technische storingen zoals transmissie fouten bij meetpunten, lege batterijen, interne fouten in de OBU en fouten bij het uitlezen van de smart-card.

De meeste voor de hand liggende waarschuwing is dat de batterij leeg raakt. Hierbij kan gebruik gemaakt worden van een kritische zone. Bij het vaststellen van deze zone dient er voor gezorgd te worden dat de OBU nog een redelijke tijd functioneert, bv. 10 rijuren, zodat nieuwe batterijen verzorgd kunnen worden. Geheel lege batterijen dienen natuurlijk ook gemeld te worden, maar de enige mogelijkheid hiertoe is via een leeg display.

Een waarschuwing die niet direct noodzakelijk is, maar voor het efficiënt functioneren van het systeem wel van belang, is de melding dat het resterend saldo in een kritische zone komt of zelfs onvoldoende is. De kritische zone kan bijvoorbeeld beginnen indien het resterend saldo minder dan drie of vier maal het hoogste voorkomend tolgeld is.

Ook zal een fout verlopen transmissie tijdens de passage van het meetpunt gemeld moeten worden. Dit is een transmissie storing.

Tenslotte kan een 'self-test' van de OBU een interne fout opsporen of kan het zo zijn dat de smart-card niet goed kan worden uitgelezen. Bij een regelmatig uitgevoerde self-test, kan de eerste melding altijd gegeven worden terwijl de tweede zal optreden bij insteken van de smart-card.

3.2 Waar en wanneer dient informatie gepresenteerd te worden?

Er kan onderscheid gemaakt worden tussen boodschappen in drie situaties. Extern getriggerde boodschappen zijn die boodschappen die gegeven worden 1) na passage van een meetpunt en 2) bij het insteken of uithalen van de smart-card. Intern getriggerde boodschappen zijn het gevolg van een storing die door 3) een regelmatig uitgevoerde self-test is aangetroffen.

Boodschappen bij passage van een meetpunt worden gegeven tijdens het rijden en dienen dus niet veel aandacht van de bestuurder te vragen. Aangezien bekend is waar deze boodschappen zullen worden gegeven dient na het meetpunt een traject te volgen waar de rijtaak relatief weinig aandacht vraagt. Zo zouden meetpunten bij voorkeur geplaatst dienen te worden op plaatsen zonder a) op- of afritten, b) versmalling of verbreding van de autosnelweg, c) (overbodige) verkeers- en reclameborden, en d) verandering van de maximale snelheid. Ook een mogelijkheid is om het meetpunt te combineren met toerit-dosering, dus voordat men op de autosnelweg komt en nadat groen licht is gegeven. Immers, bij een toerit-doseringssysteem dat individuele auto's druppelsgewijs toelaat zal voor elke auto gelden dat er geen directe voorligger is die onverwacht kan remmen. Ook kunnen rijstrookwisselingen bij en direct na een meetpunt minder aantrekkelijk of zelfs verboden worden. Minder aantrekkelijk maken kan met behulp van kattenogen en ribbels in de belijning tussen de rijstroken.

Met betrekking tot het insteken van de smart-card mag verondersteld worden dat er altijd mensen zijn die dit tijdens het autorijden doen. De bestuurder zal dan zelf moet beoordelen of er voldoende mogelijkheid is deze handeling te verrichten. Automobilisten blijken echter niet altijd in te kunnen schatten hoe zij hun aandacht moeten verdelen. Zo noemt Treat et al. (1977) fouten die gemaakt worden bij een verkeerde verdeling van de visuele aandacht als belangrijkste oorzaak van enkelvoudige ongevallen. Dit in combinatie met het te verwachten massale gebruik van de OBU leidt tot de aanbeveling om de informatiepresentatie door de OBU tijdens of direct na het insteken van de smart-card zoveel mogelijk te beperken.

Tenslotte zijn intern getriggerde boodschappen altijd mogelijk, ook als de bestuurder in een zeer belastende situatie verkeert. Daarom dienen deze boodschappen zeer eenvoudig te zijn en mogen ze niet de aandacht van de bestuurder trekken.

Tabel III. geeft een samenvatting van de boodschappen (sectie 2.1) en waar of wanneer deze gegeven zullen worden (2.2).

Tabel III De situaties waar de boodschappen verwacht kunnen worden.

Situatie	Boodschap
Alle situaties	interne, technische storing batterijen bijna leeg
Insteken smart-card	OBU functioneert correct* interne, technische storing smart-card niet leesbaar batterijen bijna leeg resterend saldo in kritische zone*
Meetpunt passage	tolgeld heffing correct verlopen transmissie niet correct verlopen onvoldoende saldo resterend saldo in kritische zone* batterijen bijna leeg hoogte tolgeld*

*) niet noodzakelijk, wel aanbevolen

3.3 Hoe dient de OBU informatie gepresenteerd te worden?

3.3.1 Bestuurderaanacht en de OBU

In het voorafgaande is gesproken over boodschappen die al dan niet de aandacht moeten en kunnen trekken van de bestuurder. Aandacht kan worden getrokken door middel van een visueel signaal of een geluidsignaal.

Een visueel signaal kan bestaan uit een plotselinge luminantieverandering, een vormverandering, een on-set, of een beweging binnen het perifere gezichtsveld (Theeuwes, 1989; Todd en Van Gelder, 1979). Gezien het feit dat de rijtaak de bestuurder visueel aanzienlijk belast, is het echter af te raden om op visuele wijze de aandacht van de bestuurder te trekken. Dus, boodschappen die worden aangeboden op een moment dat ze min of meer verwacht worden (passage meetpunt, insteken smart-card) en de aandacht van de bestuurder vergen dienen vergezeld te gaan van een geluidsignaal. Een geluidsignaal zal de aandacht trekken wanneer het octaafspectrum van het signaal in tenminste één octaaf het spectrum van het achtergrond geluid (hier autogeluid, radio) met tenminste 10 dB overschrijdt (Schuffel, 1989).

Met het oog op herkenning dienen bij voorkeur niet meer dan twee duidelijk onderscheidbare geluidsignalen gegeven te worden. Voor nadere informatie kan de bestuurder zich dan wenden tot het display,

waar de informatie dan ook continu gepresenteerd moet worden. Foutmeldingen ten gevolge van de self-test die in elke verkeerssituatie gegeven kunnen worden dienen slechts op het display te worden gepresenteerd. Geluidsignalen leiden dan teveel af omdat ze onverwacht komen en de indruk kunnen wekken dat een meetpunt gepasseerd wordt.

Tenslotte dienen nog enkele opmerkingen gemaakt te worden over de aandacht die noodzakelijk is voor het insteken en uithalen van de smart-card (bij de OBU-uitvoeringen met smart-card) of de gehele OBU (uitvoeringen zonder smart-card). Ervan uitgaande dat dit tijdens de rit gedaan zal worden door een aantal bestuurders, moet het uitnemen of insteken een zeer simpele handeling zijn. Ook moet de smart-card of de OBU van zichtbare en voelbare kenmerken zijn voorzien waardoor het mogelijk is deze handelingen te verrichten zonder dat er visuele aandacht nodig is. Om onafhankelijk te zijn van de elektronica in de OBU dient de kaartlezer of de voorgebouwde OBU-houder een duidelijk voelbare (mechanische) klik te geven bij correct insteken.

3.3.2 De leesbaarheid en herkenbaarheid van boodschappen

In de huidige plannen voor rekening rijden wordt ervan uitgegaan dat de OBU alle visuele informatie zal presenteren via een Liquid Crystal Display (LCD). De reden hiervoor is dat de OBU dan op batterijen kan werken zodat de OBU als autonome eenheid kan worden ingebouwd. In het navolgende zal hier dan ook van uitgegaan worden.

In het algemeen kan gesteld worden dat de display-luminantie (ook wel helderheid genoemd) en het contrast van grote invloed zijn op de leesbaarheid van een display. Het contrast wordt veelal gedefinieerd als de verhouding van de luminanties van het karakter en de ondergrond. Van een goed contrast is sprake wanneer deze verhouding 3 à 5 bedraagt. Contrasten hoger dan 5 leveren geen betere leesbaarheid op en contrasten lager dan 2 en hoger dan 10 worden als slecht gekwalificeerd. Met het oog op de leesbaarheid is het LCD bij matig tot helder buitenlicht een goede keuze aangezien het LCD licht reflecteert en de leesbaarheid derhalve aan het omgevingslicht aanpast (Galer en Simmonds, 1984).

Behalve met het contrast op het display zelf dient in het geval van de OBU echter ook rekening gehouden te worden met het contrast tussen het display en de achtergrond. Deze achtergrond kan bestaan uit de weg of de motorkap (bij plaatsing van de OBU onder op de voorruit), of de hemelkoepel (bij plaatsing bovenaan de ruit). Als vuistregel wordt wel gehanteerd dat dit contrast zeker niet meer dan 50 mag bedragen. De luminantie van de hemelkoepel bedraagt in Nederland gedurende 50% van de tijd tenminste 5000 cd/m² en kan oplopen tot 2.10⁵ cd/m² (witte

wolken door de zon beschenen). Bij plaatsing van de OBU op de voorruit en bij een hemelkoepelluminantie van 5000 cd/m^2 , zal het contrast tussen display en hemel naar verwachting minimaal 100 bedragen en zal het display niet kunnen worden afgelezen. Dit pleit voor een plaatsing tegen een minder heldere achtergrond, zoals onderaan de voorruit waarbij het merendeel van de gebruikers de weg of de motorkap als achtergrond van het display waarneemt. Ook plaatsing tegen het plafond is een mogelijkheid. Aandachtverschuiving tussen buitenbeeld en OBU zal dan echter meer tijd vergen hetgeen deze oplossing minder wenselijk maakt.

Bij duisternis kunnen deze displays echter niet zonder verlichting gelezen worden. Dit is vanuit een ergonomisch perspectief onwenselijk. De OBU dient daarom bij voorkeur uitgevoerd te worden met een verlicht display. Een goede oplossing is het transflectieve LCD (Galer en Simmonds, 1984). Dit display kan zowel licht reflecteren alsook licht vanachter het display doorlaten. Ook is opvallende verlichting een mogelijkheid. Indien de OBU op batterijen werkt zal echter wel gebruik gemaakt moeten worden van een goed bereikbare toets op de OBU zodat na indrukken het display gedurende een vaste tijd (bijv. 2 s) wordt verlicht.

Naast genoemde invloeden kan de waarneming van het display verstoord worden door spiegeling. Bij plaatsing onderaan de voorruit zal overdag de spiegeling vaak dermate groot zijn dat het display niet voldoende kan worden waargenomen. Om de spiegeling te reduceren zijn één of meer van de volgende maatregelen nodig; het aanbrengen van een afschermkap rond het display, verdiept inbouwen, een hol of bol displayvenster toepassen, voorover kantelen van het display en/of aanbrengen van een scharnierbaar display. Daarbij dient ervoor gezorgd te worden dat voldoende daglichttoetreding mogelijk blijft aangezien een LCD voor de leesbaarheid afhankelijk is van het opvallende licht. Samenvattend kan, gezien de sterk wisselende lichtcondities in een auto en het belang van goede leesbaarheid door een zeer grote groep mensen, gesteld worden dat de keuze van het display met zeer veel zorg dient te geschieden. In dit verband kan worden aanbevolen om vooraf een aantal prototypes uit te testen.

Met betrekking tot de afmeting van de cijfers en letters op het display van de OBU wordt de aanbeveling gegeven dat de hoogte minimaal de afstand van het oog tot het display gedeeld door 350 is (Schuffel, 1989). Vooral in verband met accommodatieproblemen bij oudere mensen

(Grambergen-Danielsen, 1967)³ wordt echter wel een verhouding van 1/200 aangehouden. Bij maximale oog display afstanden van 73 cm (OBU I) en 75 cm (OBU II), gevonden in het in hoofdstuk 2 beschreven onderzoek naar de uitzichtbeperkingen van OBU's, geeft dit een tekenhoogte van minimaal resp. 3.7 mm en 3.8 mm. Rekening houdend met de beperkte steekproef ($n = 20$), de leesbaarheid onder ongunstige condities, minimalisering van de accommodatietijd en de variërende verticale hoek waaronder het display wordt afgelezen verdient een grotere tekenhoogte, bv. 6 mm, dan ook aanbeveling.

Echter, omdat OBU III vlak tegen de ruit wordt geplaatst moet het display van dit type veelal onder een forse hoek worden afgelezen⁴. Daarom dient de tekenhoogte bij OBU III wat groter te zijn dan 6 mm of dient het display enigszins naar de bestuurder toe te worden gekanteld. Tabel IV geeft de relatie aan tussen de minimaal vereiste kanteling van het display bij verschillende tekenhoogten. Uitgangspunt hierbij is dat de verticale hoek van een teken op het display gelijk is aan die van een teken met een hoogte van 6 mm dat loodrecht op de kijklijn is georiënteerd. Tevens werd uitgegaan van de minst gunstige omstandigheid met betrekking tot de display oriëntatie ten opzichte van de kijklijn. Deze werd gevonden bij de Citroën BX. De Citroën BX heeft een vrij vlak georiënteerde voorruit (hoek t.o.v. de verticaal: 60°) met een laaggeplaatste spiegel. Dit betekent dat de hoek tussen de horizontaal en de lijn tussen oogpunt (p95) en spiegel-bovenkant slechts 2.5° is ($\alpha_1 + \alpha_2$ in Tabel I). Vermeerderd met de hoek van 0.4° die wordt ingenomen door de halve hoogte van het display (55 mm, afstand 75 cm) levert dit een hoek tussen kijklijn en horizontaal op van 2.9°. Hierdoor wordt de afwijking van een loodrechte hoek tussen kijklijn en display 57.1° (60-2.9). Wanneer hierbij het display niet wordt gekanteld zou dit volgens de tabel een tekenhoogte van minimaal 11 mm vereisen.

³ Aangezien bij bifocale brillen de leeslens meestal focusseert op 30 tot 40 cm (Galer en Simmonds, 1984) en de gewone lens op minimaal 1 tot 2 m, is de afstand tussen het oog en de OBU (ongeveer 70-80 cm) onvoordelig voor dragers van deze brillen. Door nu de OBU beneden aan de voorruit te plaatsen is er het bijkomende voordeel dat automobilisten met bifocale lenzen (m.n. ouderen die toch al relatief traag accommoderen - Grambergen-Danielsen, 1967) de optie hebben om de OBU door de leeslens of de gewone lens waar te nemen.

⁴ Brandes & Meurs (1990) vonden bij een steekproef van 55 personenauto's een gemiddelde voorruit-hoek ten opzichte van de verticaal van ter plaatse van de spiegel van 57.8° (sd: 3.6).

Tabel IV De minimaal vereiste verticale kanteling van het display ten opzichte van het bevestigingsvlak van OBU III bij verschillende tekenhoogten. Uitgegaan is van een ongunstige situatie (Citroën BX, p95).

TEKENHOOGTE (mm)	MINIMALE KANTELING (°)
>11.0	0.0
10.0	4.1
9.0	9.1
8.0	15.6
7.0	27.0
6.0	57.1

Met betrekking tot de mogelijkheid het LCD überhaupt af te lezen geldt in dit verband dat rekening gehouden dient te worden met een sterke reductie van de leesbaarheid bij grotere afwijkingen van een loodrechte oriëntatie van het display ten opzichte van de kijklijn. De mate waarin dit plaatsvindt is sterk type-afhankelijk en er zijn meer dan duizend verschillende typen LCD. Daarom kunnen geen richtlijnen voor maximale afwijkingen ten opzichte van een loodrechte oriëntatie worden gegeven. Een oriëntatie van het LCD zoveel mogelijk loodrecht op de kijkrichting verdient in principe de voorkeur boven aanpassing van de lengte (en eventueel de breedte) van tekens.

Zowel voor OBU I als voor OBU III kan in dit verband een optimum worden bepaald voor de hoek tussen het bevestigingsvlak en het LCD. Uitgaande van een juist boven de spiegel geplaatst display, een gemiddelde hoek van 57.8° van de voorruit t.o.v. de verticaal (Brandes & Meurs, 1990) en een gemiddelde hoek tussen horizontaal en kijklijn bij ooghoogte p50 (11.9°) is de afwijking van een loodrechte hoek tussen kijklijn en display gemiddeld 45.9° ($57.8-11.9$).⁵ Dit betekent dus dat een hoek van 45.9° tussen bevestigingsvlak en display optimaal zou zijn. Het display zou dan loodrecht op de kijklijn van de gemiddelde bestuurder zijn georiënteerd. Het display van OBU II bevindt zich vrijwel op een gemiddelde ooghoogte en is bij een verticale oriëntatie dus optimaal. Dit betekent dat een hoek tussen het bevestigingsvlak en het display van ca 58° optimaal is.

⁵ De gemiddelde hoek tussen kijklijn en horizontaal wanneer het display juist boven de spiegel is geplaatst is bij bestuurders met een p50 lichaamslengte 5.5° ($\alpha_1 + \alpha_2$, Tabel 1) plus de hoek die wordt ingenomen door de halve displayhoogte (0.4° , afstand 75 cm). Bij een gemiddelde lichaamslengte wordt deze hoek met 6° vergroot tot 11.9° .

Bij bovenstaande aanbevelingen is geen rekening gehouden met de gevolgen van de oriëntatie van het LCD ten aanzien van spiegeling. Om zeker te zijn dat bij de aanbevolen kantelhoeken geen ongunstige spiegeling optreedt is het aan te bevelen de afleesbaarheid van displays op een aantal display varianten uit te testen.

Uit onderzoek is gebleken dat de kleur van een display relatief onbelangrijk is voor de leesbaarheid (Galer en Simmonds, 1984; Imbeau, Wierwille, Wolf en Chun, 1989; Schuffel, 1989) met name indien het contrast met de achtergrond voldoende is (Matthews, 1989). Voorkeuren blijken nogal te verschillen hoewel blauw/groen, rood/oranje, oranje en wit toch redelijk scoren (Galer en Simmonds, 1984; Imbeau et al., 1989; Poynter, 1988).

Voor het LCD geldt tenslotte dat rekening gehouden dient te worden met een slecht functioneren bij temperaturen onder 0°C.

In het algemeen is het zo dat boodschappen die weinig voorkomen meer en langere fixaties nodig hebben dan bekende boodschappen. Daarom dienen infrequente boodschappen extra duidelijk en 'self-explaining' te zijn. Visueel-verbale boodschappen vereisen veel aandacht en kunnen een taalprobleem met zich brengen. Dit leidt tot de aanbeveling om boodschappen zoveel mogelijk met behulp van duidelijke pictogrammen weer te geven. Ongeacht de vorm van de boodschap dient er op gelet te worden dat de set van OBU boodschappen, nu en in de toekomst, beperkt blijft en aansluit bij nationale en internationale standaardisering zodat men de boodschappen snel leert kennen.

3.4 Conclusies en aanbevelingen

Op grond van het voorgaande dient de OBU aan de volgende ergonomische eisen te voldoen:

- De OBU mag alleen de aandacht trekken in situaties waar dat min of meer verwacht kan worden (passage meetpunt, insteken smart-card).
- De OBU dient alleen aandacht te trekken via akoestische signalen.
- Het geluidsignaal dient voor opvallendheid het omgevingsgeluid met minimaal 10 dB in tenminste één octaaf te overschrijden.
- Wanneer akoestische signalen gebruikt worden voor zowel positieve boodschappen (OBU functioneert correct, tolgeld heffing correct verlopen) als negatieve boodschappen (transmissie niet correct verlopen, onvoldoende saldo) dienen deze signalen goed onderscheidbaar te zijn.
- De luminantieverhouding tussen figuur en LCD ondergrond dient tussen 1:2 en 1:10 te zijn.

- De luminantieverhouding tussen LCD en achtergrond dient minder dan 1:50 te zijn. Een belangrijke maatregel om dit te bereiken is bevestiging onderaan de voorruit. Dit heeft als bijkomend voordeel dat bril dragers met bifocale lenzen kunnen kiezen door welke lens zij het OBU display bekijken. Daarnaast kan de OBU ook tegen het plafond bevestigd worden.
- Het LCD dient zodanig uitgevoerd en gemonteerd te zijn dat er weinig kans op spiegeling van omgevingslicht is.
- Het display van de OBU dient behalve overdag ook bij nacht duidelijk leesbaar te zijn. Daarom dient de OBU bij voorkeur uitgevoerd te worden met inwendige verlichting die door een eenvoudig bereikbare en voelbare toets kan worden geactiveerd.
- Boodschappen dienen met behulp van 'self-explaining' pictogrammen weergegeven te worden.
- Karakters, maar ook pictogrammen, dienen minimaal 0,6 cm groot te zijn.
- Voor een optimale oriëntatie van het display ten opzichte van de kijklijn dienen de displays van OBU I en OBU III ten opzichte van het bevestigingsvlak ca 46° naar boven gekanteld te worden en dient het display van OBU II ca 58° naar boven gekanteld te worden. De eventuele gevolgen hiervan voor spiegeling van omgevingslicht in het display dienen met behulp van prototypen nader te worden onderzocht.
- Ongeacht de vorm van de boodschap dient er op gelet te worden dat de set van OBU boodschappen, nu en in de toekomst, beperkt blijft en aansluit bij nationale en internationale standaardisering.
- Indien de smart-card tijdens het rijden kan worden ingestoken dient dit zonder visuele aandacht mogelijk te zijn. Ook dient voelbaar te zijn dat dit correct gedaan is.
- De hoogte van het tolbedrag dient duidelijk gepresenteerd te worden zodat de bestuurder zich van het bedrag bewust is. Dit kan zowel op de OBU zelf alsook op elektronisch borden aan de kant van de weg. Aan de kant van de weg verdient voorkeur omdat er geen tijd nodig is om te accommoderen. Indien het tolbedrag op de OBU getoond wordt dient dit bedrag zich duidelijk te onderscheiden van het resterend saldo (bv. inverse video of extra pictogram) en gedurende een redelijke tijd getoond worden zodat de bestuurder niet op een ongelegen moment gedwongen wordt om te kijken (bv. 1 min).

Tot slot wordt in Tabel V een overzicht gegeven van alle OBU-boodschappen en de wijze waarop deze bij voorkeur gepresenteerd worden.

Tabel V De situaties waarin de boodschappen verwacht kunnen worden en de aanbevolen wijze van presentatie.

Situatie	Boodschap	Presentatie
Alle situaties	interne, technische storing batterijen bijna leeg	P1 + B P2
Insteken smart-card	OBU functioneert correct*	A1
	interne, technische storing	P1 + B
	smart-card niet leesbaar	P1 + B
	batterijen bijna leeg	P2
	resterend saldo in kritische zone*	P3
Meetpunt passage	tolgeld heffing correct verlopen hoogte tolgeld*	A1 Extern of op OBU
	transmissie niet correct verlopen aanwezig saldo was onvoldoende	P1 + A2 A2
*) niet noodzakelijk, wel aanbevolen		
P1 - P3: pictogrammen op het display		
A1 - A2: duidelijk onderscheidbare akoestische signalen		
B : blanco LCD (afgezien van pictogrammen)		

3.5 De OBU in de toekomst

In dit rapport is er van uitgegaan dat de OBU volledig autonoom opereert. Met het oog op de snelle ontwikkelingen op het gebied van de auto elektronica lijkt het echter nu reeds zinvol enige opmerkingen te maken over verdere ontwikkelingen van de OBU. Een eerste verbetering kan bijvoorbeeld zijn de OBU in de (huidige) auto in te bouwen. Dit vereist een losse zend/ontvang sensor die bijvoorbeeld op het dak gemonteerd kan worden. Het display van de OBU kan dan in het dashboard gemonteerd worden en, zoals reeds eerder voorgesteld, uitgevoerd als LCD dat dan door de gewone dashboard verlichting verlicht wordt. Ook kunnen ruim voor een meetpunt elektronische posten staan die de OBU triggeren zodat deze aangeeft of er voldoende saldo aanwezig is voor het volgende meetpunt. Het moet dan ook altijd mogelijk zijn om voor de meetpunten de smart-card op te waarderen. Gezien de ontwikkeling van on-board route-geleidingssystemen lijkt een volgende verbetering om de OBU te koppelen aan zo'n systeem. Door deze koppeling zal het mogelijk zijn om vast te stellen wat een geplande rit zal kosten en of het aanwezige saldo voldoende is. De noodzakelijke database waarin de tolgelden bij de verschillende meetpunten

zijn opgenomen kan via de smart-card steeds bij het opwaardeerstation worden aangepast.

Een nog meer geavanceerde combinatie zou zelfs het bedrag aan tolgeld mee kunnen nemen bij de bepaling van de meest optimale route. Op deze wijze zullen automatisch de knooppunten in de route, die immers tolgelden zullen kennen, gemeden worden en zal dus de hoogte van het tolgeld in het route-keuze algoritme ingebouwd moeten worden.

Uiteindelijk zou de OBU volledig geïntegreerd kunnen worden in een alles omvattend elektronisch systeem dat gesuperviseerd wordt door een z.g. dialogue controller (Verwey, 1990). Eén van de belangrijkste redenen om de elektronica te integreren en te laten superviseren is dat voorkomen moet worden dat verschillende applicaties tegelijkertijd informatie presenteren en de aandacht van de bestuurder vragen, onafhankelijk van de momentane belasting van de bestuurder. Een voorbeeld van zo'n systeem is het Generic Intelligent Driver Support (GIDS) systeem dat door IZF-TNO, VSC en Philips in samenwerking met een aantal buitenlandse partners wordt ontwikkeld (Smiley en Michon, 1989). Het GIDS systeem zorgt er nu juist voor dat de mentale belasting van de bestuurder op grond van een aantal parameters geschat wordt en dat alleen informatie gepresenteerd wordt indien de bestuurder ook in staat is om die informatie te verwerken. Ook kan een algemene smart-card gebruikt worden als contactsleutel. Op deze kaart zullen allerhande gegevens over de bestuurder opgeslagen kunnen worden maar ook het resterende saldo met betrekking tot rekening rijden. Dit voorkomt bijvoorbeeld dat de bestuurder vergeet de smart-card, die noodzakelijk is voor rekening rijden, in te steken.

4 CONCLUSIES EN DISCUSSIE

OBU I lijkt ten aanzien van het uitzicht geen grote problemen op te leveren. Dit type kan echter nog verbeterd worden door een dubbelzijdige uitvoering of afzonderlijke uitvoeringen voor links (zwanehals en insteekgleuf links) en voor rechts (zwanehals en insteekgleuf rechts) achter de spiegel. Tevens kan gedacht worden aan een plattere uitvoering (vooral het deel dat tussen binnenspiegel en ruit zit) en een scharnierbare zwanehals (zie ook Brandes & Meurs, 1990). Met een scharnierbare zwanehals kan de oriëntatie van het display t.o.v. de oogpositie van de bestuurder onder alle omstandigheden worden geoptimaliseerd. Het optreden van hinderlijke spiegeling van omgevingslicht kan hiermee worden vermeden en de afleeshoek van het display (leesbaarheid LCD en oriëntatie van tekens) kan worden geoptimaliseerd.

Bij de formulering van acceptatie-criteria werd uitgegaan van de huidige status quo met betrekking tot de plaatsing en grootte van binnenspiegels. De meetgegevens laten echter zien dat de uitzichtbelemmeringen die dit met zich meebrengt niet te verwaarlozen zijn. Bij bijna de helft van de steekproef belemmerde de binnenspiegel het zicht op de weg al op een afstand minder dan 50 m over een breedte van ca. 17°. Dit betekent dat op een afstand van 50 m het uitzicht rechtsvooruit over meer dan 14 m (een forse vrachtauto met oplegger) volledig verdwijnt. Het criterium op grond waarvan OBU I acceptabel geacht mag worden is, bij gebrek aan beter, dus louter pragmatisch en heeft geen absolute geldigheid. Mede hierom is het zeer gewenst dat de uitvoering van OBU I platter wordt, zodat hij altijd achter de spiegel te plaatsen is.

OBU II verdient geen aanbeveling. Door plaatsing van dit type zou het vrije uitzicht op de weg, dat door de binnenspiegel al aan forse beperkingen onderhevig is, nog aanzienlijk verder gereduceerd worden.

OBU III levert voor het uitzicht geen problemen op. Voor verbetering van de afleesbaarheid van dit type wordt aanbevolen het display van dit type naar de bestuurder toe te richten. Zowel voor OBU I als voor OBU III is een kanteling van ca 46° optimaal. Net zoals bij OBU I zouden de problemen die te maken hebben met spiegeling van omgevingslicht in het display en de gevolgen van een ongunstige afleeshoek voorkomen kunnen worden door de oriëntatie van het display ten opzichte van het oogpunt van de chauffeur instelbaar te maken.

Bij de metingen werd uitgegaan van een bestuurder met een lichaamslengte overeenkomstig het 95^e percentiel van de volwassen Nederlandse bevolking (Molenbroek & Dirken, 1986). Dit betekent dat bovenstaande conclusies voor 5% van de Nederlanders niet geheel opgaan. Voor hen zal plaatsing van OBU I wellicht wat eerder een beperking van het uitzicht opleveren en zal OBU II het zicht op de weg op een nog kortere afstand voor het voertuig belemmeren. In dit verband wordt dan ook aanbevolen om een OBU te ontwerpen die aan de onderkant van de ruit bevestigd kan worden. Dit zal voor het uitzicht niet of nauwelijks negatieve consequenties hebben. Bovendien verbetert dit, door de lagere achtergrondluminantie, de afleesbaarheid van het display. Omdat een goede afleesbaarheid van de OBU voor de verkeersveiligheid van doorslaggevend belang is dient in ieder geval aan de geformuleerde eisen met betrekking tot luminantieverhoudingen en spiegeling te worden voldaan. Dit betekent ook dat een goede zichtbaarheid van het display, boven, naast, of eventueel onder de spiegel noodzakelijk is. Mede in verband met minimalisering van uitzichtbeperkingen dient de OBU daarom over goede plaatsingsvoorschriften beschikken.

Tevens is het voor de veiligheid van groot belang dat de aandacht alleen getrokken wordt in situaties waarin dat verwacht kan worden, en wel via akoestische signalen. In de overige situaties mag alleen gebruik worden gemaakt van pictogrammen en/of blanco display. Positieve en negatieve signalen dienen daarbij goed onderscheidbaar te zijn. Omdat de OBU ongetwijfeld tijdens het rijden zal worden bediend (insetzen smart card, bediening verlichtingstoets), dient de bediening zeer eenvoudig te zijn.

De mogelijkheid werd geopperd dat de hoogte van het verrekenende tolgeld op elektronische borden langs de weg wordt aangegeven. Een voordeel hiervan is dat er geen accommodatietijd nodig is. Een nadeel is echter dat een dergelijk systeem niet goed toe te passen is bij tariefdifferentiatie naar voertuig. Wenselijk is het tenslotte dat bij het insteken van de smart-card (extra) aangegeven wordt dat de OBU correct functioneert en dat het resterende saldo zich in de kritische zone bevindt.

DANKWOORD

Dank is verschuldigd aan E. Ellens voor zijn waardevolle adviezen ten aanzien van de leesbaarheid en herkenbaarheid van boodschappen op het display.

REFERENTIES

- Brandes & Meurs (1990). Evaluatie personenauto-OBUs. Brandes en Meurs Industrial Design, Hilversum.
- Galer, M. & Simmonds, G. (1984). Ergonomic aspects of electronic instrumentation: A guide for designers. SP-576. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, Inc.
- Gramberg-Danielsen, B. (1967). Sehen und Verkehr. Berlin: Springer.
- Imbeau, D., Wierwille, W.W., Wolf, L.D. & Chun, G.A. (1989). Effects of instrument panel luminance and chromaticity on reading performance and preference in simulated driving. Human Factors 31, 147-160.
- Korteling, J.E. & Osinga, D.S.C. (1989). De IZF ergonomie checklist voor vrachtautocabines. Rapport IZF 1989-37, Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Matthews, M.L. (1989). Visual performance with coloured CRT displays: Research update. Applied Ergonomics 20, 58.
- Molenbroek, J.F.M. & Dirken, J.M.J. (1986). Dined Tabel 1986, Nederlandse lichaamsmaten voor ontwerpen. Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, Technische Universiteit, Delft.
- Posner, M.I., Nissen, M.J. & Klein, R. (1976). Visual dominance: An information-processing account of its origin and significance. Psychological Review 83, 157-171.
- Poynter, D. (1988). The effects of aging on perception of visual displays. SAE Technical paper 881754, Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, Inc.
- Rockwell, T.H. (1988). Spare visual capacity in driving - revisited. In A.G. Gale et al. (Eds). Vision in Vehicles II. Amsterdam: North Holland. pp. 317-324.
- Schuffel, H. (Ed.). (1989). Richtlijnen voor de ergonomie van werkplekken. Voorburg: Directoraat-Generaal van de Arbeid.
- Smiley, A. & Michon, J.A. (1989). Conceptual framework for Generic Intelligent Driver Support. Deliverable no. 1 GIDS-GEN. Groningen: Traffic Research Center.
- Theeuwes, J. (1989). Effects of location and form cuing on the allocation of attention in the visual field. Acta Psychologica 72, 177-192.
- Todd, J.T. & Van Gelder, P. (1979). Implications of a transient-sustained dichotomy for the measurement of human performance. Journal of Experimental Psychology: Human, Perception and Performance 5, 625-638.

- Treat, J.R. et al. (1977). Tri-level study of accident causes of traffic accidents. Report No. DOT-HS-034-3-535-7, Indiana University. Cited in Rockwell (1988).
- Verwey, W.B. (1990). Adaptable driver-car interfacing and mental workload: A review of the literature. Report IZF 1990 B-3. Soesterberg: The Netherlands. TNO Institute for Perception.
- Willingham, D.B., Nissen, M.J. & Bullemer, P. (1989). On the development of procedural knowledge. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition 15, 1047-1060.

Soesterberg, 31 augustus 1990

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'J.E. Korteling', written over a horizontal line.

Drs. J.E. Korteling