

LICHTMASTEN

lichtmasten

Onderzoek naar het gedrag van lichtmasten bij zijdelingse en frontale botsproeven met personenauto's



STICHTING WETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK VERKEERSVEILIGHEID SWOV

POSTBUS 71 DEERNSSTRAAT 1 VOORBURG 2119

De Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV is in 1962 opgericht. Zij heeft tot taak, op grond van wetenschappelijk onderzoek, aan de overheid gegevens te leveren voor maatregelen die tot doel hebben de verkeersveiligheid te bevorderen. De uit dit wetenschappelijk onderzoek verkregen kennis wordt door de SWOV verspreid, hetzij in de vorm van afzonderlijke publikaties, hetzij in de vorm van artikelen in tijdschriften of door middel van andere communicatiemedia.

Het bestuur van de SWOV wordt gevormd door vertegenwoordigers van verscheidene ministeries, van het bedrijfsleven en van belangrijke maatschappelijke instellingen.

Het bureau van de SWOV wordt geleid door ir. E. Asmussen, directeur. Het bestaat o.a. uit de afdelingen: Wetenschapsbeleid, Onderzoekcoördinatie, Projectvoorbereiding en -begeleiding, Theorievormend onderzoek Pre-crash projecten, Praktijkonderzoek Pre-crash projecten, Crash- en Post-crash onderzoek en Voorlichting.

Inhoud

Voorwoord	7
Ten geleide: Het onderzoek Obstakels in wegbermen	9
Inleiding	12
1. Opzet en uitvoering proevenprogramma	13
1.1. Lichtmasten	13
1.1.1. Proevenserie A	13
1.1.2. Proevenserie B	13
1.1.3. Wijziging normen	14
1.1.4. Proevenserie C	16
1.2. Proefvoertuigen	16
1.3. Wijze van botsen	18
1.4. Botssnelheid	19
1.5. Hoek van inrijden	19
1.6. Proefterrein	20
1.6.1. Algemeen	20
1.6.2. Grondweerstand	20
1.7. Testcriteria	23
1.7.1. Voertuigvertraging	23
1.7.2. Indeuking passagierscompartiment	24
1.7.3. Ligging van de masten	25
1.7.4. Elektrisch gedeelte	25
1.8. Registratie	25
2. Resultaten proeven	27
2.1. Algemeen	27
2.2. Agressiviteit van lichtmasten m.b.t. vertraging	27
2.2.1. Proevenserie A	27
2.2.2. Proevenserie B	28
2.2.3. Proevenserie C	31
2.3. Agressiviteit van lichtmasten m.b.t. indeuking passagierscompartiment	32
2.4. Ligging van de masten	34
2.5. Elektrisch gedeelte	34
2.6. Overige resultaten	36
2.6.1. Weerstand van de grond	36
2.6.2. Zijdelingse botsingen versus frontale botsingen	36
2.6.3. Type proefvoertuig	36

3. Verschillen in resultaten tussen 10 m aluminium masteⁿ bij de proevenseries A, B en C	38
3.1. Algemeen	38
3.2. Verschillen in opzet en uitvoering tussen de proevenserie A en de proevenseries B en C	38
3.3. Factoren waarvan verondersteld mag worden dat deze invloed hebben op de agressiviteit van de mast	38
3.3.1. Basisdiameter	38
3.3.2. Voorschakelapparaat	40
3.3.3. Vulling van de mast met zand	40
3.3.4. Massa van proefvoertuig	42
3.3.5. Registratie	42
3.4. Discussie	42
4. Samenvatting	47
Tabellen A, B en C	51
Geraadpleegde literatuur	58
Verwante SWOV-publikaties en rapporten	60

Voorwoord

In de voorlopige uitgaven van de ontwerprichtlijnen 'Bermbeveiligingen in aardebanen' en 'Bermbeveiligingen op kunstwerken' dd. 30 augustus 1970, werd gesteld dat starre obstakels binnen een afstand van 10 m vanuit de binnenkant van de kantstreep van de rijbaan van autosnelwegen dienden te worden afgeschermd door een geleiderailconstructie. Het motief hiervoor was dat starre obstakels bij botsingen van personenauto's een te hoge weerstand bieden, zodat ernstig letsel voor de inzittenden en/of zeer zware beschadiging van het voertuig zouden kunnen optreden.

Obstakels die zich bij botsingen 'weinig agressief' gedragen voor personenauto's, behoeven echter bij plaatsing binnen de zone van 10 m geen afscherming.

Om te voorkomen dat een geleiderailconstructie geplaatst zou moeten worden uitsluitend om lichtmasten af te schermen, heeft de SWOV in opdracht van de overheid door het uitvoeren van experimenteel onderzoek bepaald welke typen lichtmasten wel en welke niet afgeschermd behoeven te worden. Met andere woorden: er is nagegaan welke typen lichtmasten bij een aanrijding voor personenauto's zó weinig weerstand opleveren, dat de auto-inzittenden geen gevaar lopen. Als ook anderszins weinig risico met betrekking tot de inwerking van mechanisch geweld bestaat voor de inzittenden van de botsende personenauto, dan spreken wij in dit verband over 'voor personenauto's weinig agressieve lichtmasten'.

Ten einde te onderzoeken welke typen lichtmasten bij een aanrijding door een personenauto voor de autoinzittenden geen gevaar zouden opleveren waren botsproeven noodzakelijk.

In 1971 heeft de SWOV voor de Rijkswaterstaatswerkgroep Lichtmasten, een beperkte serie proeven uitgevoerd (SWOV, herziene versie, 1976). Deze, uitsluitend frontaal uitgevoerde, botsproeven waren noodzakelijk om op korte termijn aan de Rijkswaterstaat een indruk te kunnen geven over de grootte van de weerstand van de lichtmasten die toen op de markt waren. In deze publikatie zal deze ad hoc proevenserie gemakshalve de proevenserie A genoemd worden.

Vervolgens heeft de SWOV in de periode december 1973 tot januari 1975 twee series proeven uitgevoerd in opdracht van de Rijkswaterstaat. Deze proevenseries B en C betreffen lichtmasten die op twee manieren werden beproefd, nl. door middel van frontale en zijdelingse botsingen. Tot dusver zijn botsproevenseries van enige omvang tegen obstakels uitsluitend frontaal uitgevoerd. De SWOV is het eerste instituut dat ook reproduceerbare zijdelingse botsingen heeft uitgevoerd. De installatie die dit mogelijk maakt is ontworpen door het Instituut voor Wegtransportmiddelen TNO.

Het type proefvoertuig, de botssnelheid en overige beproevingscondities zijn bepaald, zowel aan de hand van statistische gegevens als met behulp van uit de literatuur bekende beschrijvingen van lichtmastproeven. De te beproeven masten

werden zo geplaatst dat de reële situatie zo goed mogelijk benaderd werd. Tevens werden de masten uitgerust met voorzieningen die in de praktijk ook aangebracht worden.

De botsproeven werden gehouden op het terrein 'De Vlasakkers' te Amersfoort, dat ter beschikking werd gesteld door het Ministerie van Defensie.

Het filmwerk ter registratie van de proeven werd verzorgd door een filmploeg van de Stichting Film en Wetenschap te Utrecht onder leiding van de heer W. van den Berg.

De analyse van de high-speedfilms met betrekking tot de optredende snelheden en vertragingen werd verzorgd door het Centraal Technisch Instituut TNO te Delft.

Tijdens de proevenseries B en C werd het meettechnische gedeelte verzorgd door het Instituut voor Wegtransportmiddelen TNO te Delft.

Het Laboratorium voor Grondmechanica te Delft verrichtte tijdens de proevenserie A metingen van de grondweerstand.

De terreinwerkzaamheden werden verricht door de Fa. Gebr. Kramer te Elst (Utrecht).

De lichtmasten die in de proevenseries zijn beproefd werden geleverd door de volgende fabrikanten:

Lips Aluminium B.V., Drunen

Nedal B.V., Nederlandse Aluminium Maatschappij, Utrecht

N.V. Fabriek en Handelsbureau Nederland, Haarlem

Nolte Mastenfabriek B.V., Maarheeze

Schott's Lichtmastenfabriek, Veendam

Vulkan A.G., Keulen, Duitsland

Deze publikatie, gebaseerd op het rapport Stalen en aluminium lichtmasten (SWOV, herziene versie, 1976) en het concept-rapport Onderzoek naar het gedrag van lichtmasten (SWOV, 1975), is samengesteld door de projectleider van het onderzoek Lichtmasten, ing. C. C. Schoon en ir. A. Edelman, hoofd afdeling Crash en Post-crash onderzoek, in samenwerking met de afdeling Voorlichting van de SWOV.

De film Zijdelingse en frontale botsproeven, welke voor de SWOV is vervaardigd door de Stichting Film en Wetenschap, Hengeveldstraat 26, Utrecht, is aldaar verkrijgbaar.

Ir. E. Asmussen

Directeur Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

Ten geleide: Het onderzoek Obstakels in wegbermen

Het onderzoek Obstakels in wegbermen is uitgevoerd opdat op basis daarvan de gelijknamige Begeleidende Overheidswerkgroep, die door de Minister van Verkeer en Waterstaat is ingesteld, aanbevelingen kan formuleren met als doel de zone naast de rijbaan zo veilig mogelijk en daardoor de kans op ongevallen of ernstige gevolgen daarvan, zo klein mogelijk te maken.

Uitgangspunt bij het creëren van een zo veilig mogelijke berm is dat het voertuig van de weg afraakt en in de berm terecht komt. Getracht moet worden de berm zodanig in te richten dat in dergelijke gevallen de kans op een letselongeval zo gering mogelijk is. Gevaarlijke objecten zoals palen en bomen, maar ook (steile) taluds, dienen op een zodanige wijze in de berm te worden ingepast dat de aanwezigheid ervan zo weinig mogelijk risico oplevert voor van de weg afgeraakte weggebruikers. Er zijn drie typen wegbermen te onderscheiden, die elk een zekere mate van veiligheid bieden.

In het eerste type berm, dat als het meest veilige wordt beschouwd, bevinden zich geen gevarenczones of obstakels. Van de weg afgeraakte voertuigen kunnen hier vrij uitrijden of mogelijk weer onder controle worden gebracht. Een dergelijke berm dient echter wel voldoende draagkracht te hebben, zodat een in de berm geraakt voertuig niet over de kop slaat, en voldoende breed te zijn.

Het tweede type berm, dat iets minder veilig is, is de berm waarin zich wel obstakels als lichtmasten, praatpalen en bewegwijzeringsborden bevinden. Deze obstakels moeten dan echter zo geconstrueerd zijn dat ze bij een aanrijding door een personenauto of een zwaarder voertuig geen gevaar voor de inzittenden opleveren. Bij deze eis is uitgegaan van personenauto's omdat deze obstakels – absoluut gezien – het meest door deze categorie vervoermiddelen worden aangereiden. De mogelijkheid deze obstakels met betrekking tot personenauto's te beveiligen is bovendien praktisch gezien het meest uitvoerbaar.

Het lijkt dan dat alleen de inzittenden van personenauto's en vrachtauto's een redelijke mate van veiligheid geboden wordt. Maar ook de veiligheid van berijders van tweewielers (vooral motorrijders en bromfietzers) is hiermee gediend. De genoemde noodzakelijke obstakels kunnen namelijk als ze weinig gevaar voor auto's inhouden, zonder meer in de berm geplaatst worden, dus zonder dat ze bijvoorbeeld met een geleiderailconstructie afgeschermd behoeven te worden. Hierdoor wordt de kans met een object in de berm in aanraking te komen veel geringer. Juist voor berijders van tweewielige voertuigen is dit een belangrijk aspect, daar voor deze groep relatief kwetsbare verkeersdeelnemers een aanrijding met een geleiderailconstructie zeer ernstige gevolgen kan hebben.

Daarnaast zijn er nog starre obstakels die relatief gezien niet veel voorkomen en die niet veilig gemaakt kunnen worden, zoals pijlers van viaducten of portalen. Willen

deze binnen het tweede type berm ingepast worden, dan zullen ze buiten de veilige zone moeten staan. Indien dit om bepaalde redenen niet mogelijk is, zullen ze afzonderlijk afgeschermd moeten worden met bijvoorbeeld een obstakelbeveiliger of met een bepaalde lengte geleiderailconstructie.

De minst veilige van de relatief veilige bermen is de berm waarbij zich te dicht bij de rijbaan een gevarezone bevindt, zoals een sloot, een steil talud, of bijvoorbeeld een rij starre lichtmasten. Deze dient dan te worden afgeschermd, bijvoorbeeld door een geleiderailconstructie. Voor inzittenden van een personenauto is een dergelijke constructie voldoende veilig. Voor bestuurders van tweewielers is echter het risico van zwaar, zo niet dodelijk letsel groot.

In 1971 zijn, in het kader van het onderzoek Bermbeveiliging, de eerste ad hoc proeven uitgevoerd aan lichtmasten, bewegwijzeringsborden, verkeersborden, praatpalen, obstakelbeveiligers. Ook zijn toen aan de hand van de beschikbare ongevallencijfers, de verkeersongevallen tegen vaste voorwerpen nader geanalyseerd.

Het onderzoek Obstakels in wegbermen is gestart met het geven van een overzicht en beschrijving van in de literatuur beschreven onderzoek omtrent het gedrag van obstakels bij botsingen. Deze literatuurstudie, die in 1973 is afgerond, is tevens een belangrijk onderdeel geworden van het in 1975 door de OECD gepubliceerde rapport *Roadside obstacles*.

Mede als uitvloeisel van de literatuurstudie is begonnen met een deelonderzoek naar de relatie tussen aanrijdingen tegen obstakels langs diverse wegtypen en de afstand van deze obstakels tot de wegrand. Uit dit onderzoek zullen aanbevelingen resulteren omtrent de grootte van een obstakelvrije zone.

Het deelonderzoek aan lichtmasten werd voortgezet, ten einde na te gaan welke typen lichtmasten bij frontale of zijdelingse aanrijdingen als 'voor personenauto's weinig agressief' beschouwd kunnen worden. De resultaten van dit experimentele onderzoek zijn door de Rijkswaterstaat gebruikt voor aanbevelingen voor wegbeheerders.

Als consequentie van het plaatsen van 'weinig-agressieve' lichtmasten kwam naar voren dat, als deze ten gevolge van een botsing omvallen, ze onder bepaalde omstandigheden gevaar kunnen opleveren voor andere weggebruikers. Ook naar deze gevaren deed de SWOV onderzoek. Hierover is afzonderlijk verslag uitgebracht.

Over het onderwerp Obstakels in wegbermen zijn, naast de reeks gepubliceerde rapporten en artikelen (zie blz. 60 e.v.), de volgende SWOV-publikaties verschenen of zullen verschijnen:

1. Obstakels in wegbermen: Literatuurstudie betreffende onderzoek omtrent het gedrag van obstakels bij botsingen.
2. Lichtmasten: Onderzoek naar het gedrag van lichtmasten bij zijdelingse en frontale botsproeven met personenauto's.
3. Gevaren bij het omvallen van lichtmasten: Overwegingen bij het plaatsen van voor personenauto's weinig agressieve lichtmasten.

4. **Obstakelvrije zone: Onderzoek naar de relatie tussen aanrijdingen tegen obstakels langs diverse typen wegen en de laterale afstand van deze obstakels tot de wegrand.**

Projectleider van het onderzoek Obstakels in wegbermen, dat wordt begeleid door de gelijknamige Begeleidende Overheidswerkgroep, is ing. C. C. Schoon (Afdeling Crash en Post-crash onderzoek).

Inleiding

Onderzoek naar het gedrag van lichtmasten bij aanrijdingen door personenauto's behoort tot het soort onderzoek dat zich beperkt tot de crashfase van het ongeval. Het is hoofdzakelijk gericht op het voorkomen van letsel, of het verminderen van de ernst van letsel, bij ongevallen. Kennis verkregen uit dit soort onderzoek kan overigens ook een belangrijke bijdrage leveren bij het ontwikkelen van maatregelen gericht op het voorkomen van (bepaalde soorten) ongevallen.

In de crashfase zijn principieel twee verschillende botsingen te onderscheiden, nl. de primaire en de secundaire botsing. De primaire botsing is de aanrijding van het voertuig tegen andere voorwerpen, zoals tegen andere voertuigen of obstakels, waardoor het voertuig vertraagd wordt. Deze voertuigvertraging heeft de secundaire botsing tot gevolg. Dit is de botsing van de *mens* (de bestuurder en eventuele passagiers) met delen van het voertuig of bij het eruit of vanaf geslingerd worden, met andere voorwerpen of met de grond.

Bij de secundaire botsing zijn o.a. de autogordels in personenauto's en voor bromfietzers en motorrijders de helmen van grote invloed op het voorkomen van letsel, c.q. het verminderen van de ernst van letsel. Bij de primaire botsing zijn o.a. kreukelzones van personenauto's van belang, maar vooral ook de grootte van de weerstand van de obstakels waartegen gebotst wordt.

Uit ongevallenonderzoek is bekend dat een botsing tegen een starre lichtmast kan resulteren in een ernstig ongeval.

De ernst van een botsing met een lichtmast kan verminderd worden door er voor te zorgen dat bij een aanrijding het bovengrondse gedeelte van de mast ongeveer op maaiveldhoogte van het ondergrondse gedeelte gescheiden wordt.

Twee principes zijn daartoe onderzocht, nl. bij aluminium masten het breken van de mast aan de voet, en bij stalen masten het toepassen van een speciale beveiligingsconstructie. Deze constructie bestaat uit twee flenzen waarvan er één aan het bovendeel van de mast en één aan het grondstuk is bevestigd. Beide flenzen zijn zo aan elkaar bevestigd dat ze bij een aanrijding van elkaar los komen.

Naast proeven met stalen en aluminium lichtmasten is nog een polyester mast beproefd waaraan geen bijzondere voorzieningen zijn aangebracht.

Zoals gezegd, is het toegepaste principe bij de niet-starre mast, de zgn. weinig-agressieve mast, dat hij aan de voet afbreekt of kan worden afgeschoven. Dit kan met zich meebrengen dat de mast na een aanrijding valt en bijvoorbeeld op het botsende voertuig, op andere verkeersdeelnemers, of op de rijbaan terecht komt. Ook deze consequenties zijn nagegaan. Dit aspect zal in de publikatie *Gevaren bij het omvallen van lichtmasten*, nog nader worden belicht.

1. Opzet en uitvoering proevenprogramma

Er zijn drie series proeven uitgevoerd. De proevenseries B en C vonden plaats onder dezelfde condities. De verschillen van deze proevenseries ten opzichte van de proevenserie A zijn in de betreffende paragrafen weergegeven en in hoofdstuk 3 samengevat waarbij tevens een discussie is gegeven.

1.1. Lichtmasten

1.1.1. Proevenserie A (L1 t/m L10)

De proevenserie A, die de SWOV in 1971 heeft uitgevoerd voor de Rijkswaterstaatswerkgroep Lichtmasten, had tot doel op korte termijn een indruk te verkrijgen over de grootte van de weerstand van lichtmasten die toen op de markt waren. Beproefd zijn stalen lichtmasten met een lichtpunthoogte van 10 m, nl. een normale mast (L1), een mast met schuifconstructie (L4) en een mast van lichte constructie (L8). Door een technische storing was de grondweerstand bij de proef met de normale stalen mast (L1) kleiner dan bij de daarop volgende proeven. Daarom is een dergelijke mast nogmaals beproefd (L5).

Ook zijn botsproeven uitgevoerd met aluminium lichtmasten met een lichtpunthoogte van 10 m (L2, L7, L9 en L10) en met aluminium lichtmasten met een lichtpunthoogte van 12 m (L3 en L6).

Alle aluminium lichtmasten waren berekend op 3% topuitwijking bij een winddruk van 100 kgf/m². De stalen masten hadden 2% topuitwijking, met uitzondering van de stalen mast van lichte constructie (L8), die evenals de aluminium masten een topuitwijking van 3% had (zie Werkgroep Lichtmasten, 1972).

De beproefde masten waren niet voorzien van een voorschakelapparaat en een grondkabel.

Een overzicht van de afmetingen en overige bijzonderheden van deze masten is gegeven in Tabel A (zie blz. 52); voor een volledige beschrijving van de proeven wordt verwezen naar SWOV (1976).

1.1.2. Proevenserie B (L11 t/m L30)

Ten behoeve van deze tweede serie proeven werd van de Rijkswaterstaat, Provinciale Waterstaten en diverse Gemeenten een opgave verkregen van de lengten van lichtmasten die in de komende jaren geplaatst zouden worden. De lichtpunthoogte bleek te variëren van 8 tot 12 m, waarbij het accent bij de Provincies en Gemeenten op de kortere masten (8, 10 m) lag en bij Rijkswaterstaat op de langere (10, 12 m). Als meest voorkomende lengten van de uitlegger werden 1,50 en 3 meter genoemd. Op grond van de ervaring opgedaan bij proevenserie A werd geconcludeerd dat als bij een uitgebreider onderzoek 10 en 12 m masten zouden voldoen, dit zeker het geval zou zijn bij 8 m lichtmasten.

De lichtmastfabrikanten werd verzocht 10 en 12 m masten te leveren waarvan redelijkerwijs verwacht kon worden dat de botsweerstand gering zou zijn. De masten moesten aan de statische eisen van Rijkswaterstaat voldoen (RWS, 1972). Dit verzoek resulteerde in de levering van stalen masten voorzien van een schuifconstructie en verder in aluminium masten en een polyester mast zonder speciale voorzieningen. In Tabel B staan een aantal bijzonderheden van de diverse typen masten vermeld (zie blz. 54).

De stalen masten met een schuifconstructie zijn weliswaar door verschillende fabrikanten geleverd, wat de werking van de schuifconstructie betreft zijn ze echter identiek. Bij de aluminium masten is per fabrikant een enigszins verschillend fabricageproces toegepast. De mechanische eigenschappen van het materiaal zijn evenwel gelijk.

In Afbeelding 1 is een schuifconstructie weergegeven: onderaan de mast is een flens gelast die met drie bouten aan de flens van het grondstuk van de mast wordt bevestigd. De bevestigingsbouten worden in V-vormige gleuven aangebracht, zodat bij een aanrijding de flenzen ten opzichte van elkaar kunnen verschuiven. Het aanhaalmoment van de bouten bedroeg in alle gevallen 150 Nm. De hoogte van deze schuifconstructie was bij twee proeven (L11 en L13) ca. 10 cm boven maaiveld en werd daarna verminderd tot ca. 3 cm boven maaiveld.

De masten werden voorzien van een voorschakelapparaat (VSA), van een imitatie-armatuur en van een grondkabel. Om te kunnen controleren of er ten gevolge van de aanrijding spanning op de mast of op het proefvoertuig zou komen te staan, werd spanning op het voorschakelapparaat gezet.

Het grondstuk van de masten werd tot maaiveldhoogte met zand gevuld, omdat dit in de praktijk gebruikelijk was.

Een van de statische sterkte-eisen van de Rijkswaterstaat is dat de top van een lichtmast ten gevolge van de windbelasting maximaal 4% van de lichtpunthoogte mag uitwijken (RWS, 1972). Teneinde dit te kunnen controleren zijn statische buigproeven uitgevoerd. De mast werd hierbij horizontaal ingespannen, waarna met de windbelasting corresponderende krachten op de diverse geleidingen werden aangebracht.

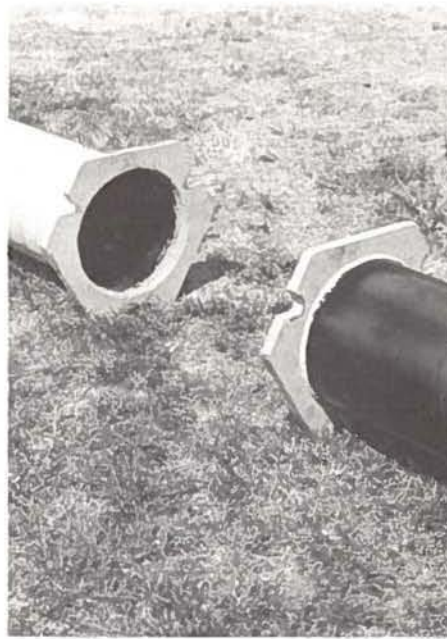
Het bleek dat alle masten die in de proevenserie B zijn onderzocht, voldeden aan de norm van 4%, uitgezonderd de 12 m aluminium mast met uitlegger 3 m (L26) en de polyester mast (L22).

De uitwijking van de polyester mast was dermate groot dat de wanddikte en/of basisdiameter aanzienlijk vergroot zou moeten worden om beneden de norm van 4% te komen. Om te kunnen beoordelen of dit type mast al-dan-niet tot de weinig-agressieve masten gerekend dient te worden is een botsproef uitgevoerd.

1.1.3. *Wijziging normen*

Met de hierboven genoemde masten zijn in de periode september 1973 tot maart 1974 in totaal 21 proeven uitgevoerd: LT, L11 t/m L30 (zie voor de beschrijving van de proeven par. 2.2.2.).

Uit de resultaten bij proevenserie B bleek o.a. dat in tegenstelling tot de resultaten bij proevenserie A, ook de 10 m aluminium lichtmasten een te hoge weerstand hebben.



Afbeelding 1.

De schuifconstructie is ontworpen om de mast bij een aanrijding onder gecontroleerde omstandigheden van het grondstuk te laten afschuiven. Daartoe zijn aan grondstuk en mast flenzen aangebracht, die door middel van bouten aan elkaar te bevestigen zijn. De flens van het grondstuk dient ca 3 cm boven het maaiveld te bevinden.

De oorzaak werd onder meer gezocht in de diameter van de onderste geleiding van de mast die bij proevenserie B groter was dan bij proevenserie A ten gevolge van gewijzigde statische sterkte-eisen. Verder waren de masten die beproefd zijn in proevenserie B berekend op grote armaturen waarmee slechts 5% van de door de Rijkswaterstaat geplaatste masten worden uitgerust. Indien de statische sterkte van de masten gebaseerd zou worden op masten met armaturen die in 95% van de gevallen worden gebruikt, zou dit een reductie in het oppervlak van het armatuur geven van ruim 25%. Bij de verdere proeven is hiervan uitgegaan. Om de mast nog minder agressief te maken, werd besloten de lengte van de uitlegger terug te brengen van 1,50 naar 1,25 m, conform de normalisatie van het Nederlands Normalisatie-instituut (NNI, z.j.).

1.1.4. Proevenserie C (L31 t/m L43)

Met de aangepaste normen (RWS, 1974) werden zowel voor de 10 als 12 m aluminium masten opnieuw berekeningen uitgevoerd. Hieruit bleek dat de basisdiameter bij gelijkblijvende of iets grotere wanddikte met 12,5% tot 20% gereduceerd kon worden.

Uit de statische buigproeven bleek wel dat alle masten de 4% norm overschreden. Op grond van de geringe overschrijding van deze norm bij 10 m aluminium masten concludeerde Rijkswaterstaat dat door de lengte van de geleidingen van de mast te wijzigen, het mogelijk moest zijn een dergelijke mast te construeren met een basisdiameter/wanddikte van 175/4 mm, die wel zou voldoen.

Besloten werd daarom toch een aanvullende proevenserie (C-serie) te houden, welke in januari 1975 is uitgevoerd (L31 t/m L43). Nadere bijzonderheden over de masten staan vermeld in Tabel C (zie blz. 56).

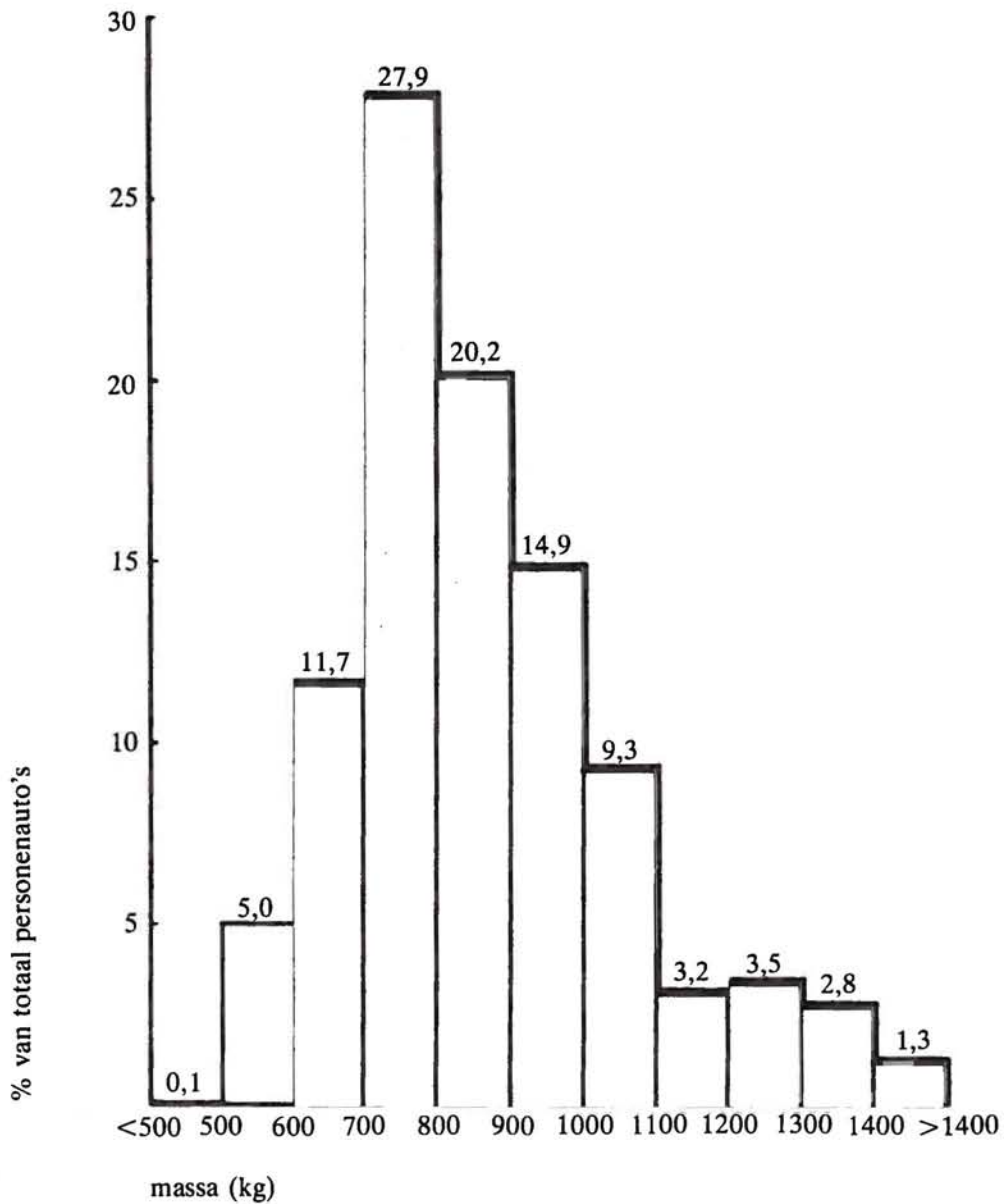
In alle gevallen is, evenals in proevenserie B, het grondstuk tot maaiveldhoogte met zand gevuld.

1.2. Proefvoertuigen

Uit literatuur over lichtmastproeven (en uit de mechanica) is bekend dat naarmate de massa van een botsend voertuig groter is, de weerstand die het van de mast ondervindt, kleiner is. Bij de keuze van het type voertuig was daarom het uitgangspunt dat bij een gunstig resultaat van de botsproeven met een personenauto uit de lichtere gewichtsklasse, het resultaat met een zwaardere auto gunstiger zal zijn. De te kiezen gewichtsklasse diende verder met een redelijk aandeel in het voertuigenpark vertegenwoordigd te zijn (zie Afbeelding 2).

In eerste instantie (proevenserie A) werd gekozen voor Opels Record 1700, bouwjaar 1960/1962. Deze auto's hebben een lege massa van ca. 900 kg en vallen daarmee in de klasse van 800-100 kg, die toen ca. 25% van het totale personenwagenbestand uitmaakte. Doordat alle proeven met dit type auto konden plaatsvinden, werd ook hier voldaan aan de eis van reproduceerbaarheid.

Voor de proevenseries B en C viel de keuze op de klasse 700 tot 800 kg. Deze is thans met ca. 28% vertegenwoordigd. De proeven hebben dus geldigheid voor voertuigen uit deze klasse en voor voertuigen in de zwaardere klassen (55%). Ze



Afbeelding 2.
De verdeling in procenten van het personenautopark in het jaar 1975, naar gewichtklassen (Bron CBS).

hebben in mindere mate geldigheid voor voertuigen in de klasse onder de 700 kg (17%). Er is getracht de voertuigmassa zoveel mogelijk constant te houden. Door het inbouwen van de instrumenten voor het registreren van o.a. voertuigvertragingen, werd de gestelde maximum massa in sommige gevallen overschreden. De gemiddelde massa bepaald over alle voertuigen in de proevenserie B en C bedroeg 770 kg.

Om tevens het mogelijke verschil in gedrag tussen een auto met de motor voorin en een met de motor achterin bij een zijdelingse botsing met een lichtmast te kunnen constateren, dienden dergelijke botsproeven met beide typen voertuigen te worden uitgevoerd. De uiteindelijke keus is gevallen op Opel Kadett type B en VW 'Kever'.

Bij de proeven zijn gebruikte auto's gebruikt. Getracht is zo gaaf mogelijke carrosserieën te verkrijgen. Ten eerste om de reproduceerbaarheid van de proeven te kunnen waarborgen en ten tweede omdat bij zijdelingse botsingen de mate van indeuking direkt afhankelijk is van de stijfheid van de carrosserie.

1.3. Wijze van botsen

De bepaling van het type botsing tegen een lichtmast dat op het proefterrein gesimuleerd diende te worden is gebaseerd op ongevalgegevens.

Uit het SWOV-ongevallenonderzoek is de volgende verdeling van de typen aanrijdingen tegen bomen en lichtmasten bekend: frontaal 52%, flank 21%, roll-over 9%, achter 4%, overig/onbekend 13%. De voornaamste typen aanrijdingen zijn hier dus de frontale en zijdelingse botsingen.

In de proevenserie A zijn, vanwege de beperkte doelstelling, uitsluitend frontale botsproeven uitgevoerd.

Uit buitenlands onderzoek (Edwards, 1969) bleek echter dat bij aanrijdingen tegen masten voorzien van een agressiviteit verlagende constructie, de zijdelingse botsingen een ernstiger afloop hebben dan de frontale. Hoewel het aantal geanalyseerde ongevallen bij dit onderzoek niet groot was, gaf het de indicatie dat als de afloop van een frontale botsing tegen een mast bevredigend is, dat niet het geval behoeft te zijn bij een zijdelingse botsing.

Op basis van bovenstaande gegevens is besloten in de proevenseries B en C zowel frontale als zijdelingse botsingen uit te voeren en daarbij het accent op de zijdelingse proeven te leggen.

Om bij de beoordeling van de agressiviteit van de masten de invloed van het proefvoertuig zoveel mogelijk uit te sluiten (zoveel mogelijk gelijke omstandigheden), was bij de frontale proeven in alle gevallen het raakpunt het midden van de auto. Bij zijdelingse botsingen was dit het voorportier.

De draaiende beweging van een slippend voertuig is niet gesimuleerd. Het effect hiervan, bijvoorbeeld op de richting waarheen de mast valt, is niet groot aangezien de directe botsing gebeurt met een snelheidscomponent waarop de relatief traag draaiende beweging van het voertuig weinig invloed heeft. Ter oriëntatie in Amerikaanse literatuur wordt voor een 'normale' snelheid van de draaiende beweging (giersnelheid) een waarde van 0,6 rad/s aangegeven.

1.4. Botssnelheid

Bij de proevenserie A werd – arbitrair – gekozen voor snelheden van ca. 100 en 75 km/h. Het verloop van de proeven met de aluminium 10 m masten maakte het noodzakelijk tevens een proef te nemen met een snelheid van ca. 30 km/h (L9) en één met een snelheid van ca. 50 km/h (L10) om het gedrag van deze masten bij lagere snelheden te kunnen nagaan.

Uit de resultaten van proevenserie A blijkt en uit de literatuur is bekend dat de weerstand van masten die zo ontworpen zijn dat ze ten gevolge van een aanrijding afbreken of afschuiven, kleiner is bij hogere snelheid. Dit in tegenstelling tot masten die niet (gemakkelijk) afbreken, waarbij bij hogere snelheid ook de voertuigvertraging groter zal zijn. Aangezien het verdere onderzoek zich bepaalde tot die masten waarvan aangenomen werd dat ze aan de voet zouden afbreken of afschuiven, kunnen juist de lagere snelheden de meest kritische zijn.

Het tweede punt betreft de ligging van lichtmasten na een aanrijding. Bij de proevenserie A is n.l. geconstateerd dat bij een weinig-agressieve mast die bij hoge snelheid wordt aangereden, deze ligging voorspelbaar is; de mast zal ongeveer in dezelfde baan komen te liggen als het proefvoertuig na de botsing aflegt. Bij lage snelheid kan de mast echter zijdelings vallen met het gevaar dat hij daarbij op de rijbaan terecht komt. De kans op dit gevaar diende eveneens verder proefondervindelijk onderzocht te worden.

Bovenstaande motieven hebben er toe geleid de maximale botssnelheid bij de proevenseries B en C op 65 km/h te stellen en de laagste snelheid op 25 km/h. Als tussenliggende snelheid werd 45 km/h genomen.

Bij de uitvoering van proevenserie C bleek dat de 10 m aluminium lichtmasten bij hogere snelheid een grotere voertuigvertraging veroorzaakten. Teneinde na te gaan of dit boven de 65 km/h ook nog het geval zou zijn, werd een extra proef met een snelheid van ca. 80 km/h uitgevoerd (L43).

1.5. Hoek van inrijden

De hoek waaronder het voertuig tegen de mast botst, kan van invloed zijn op de grootte van de weerstand van de mast ten opzichte van het voertuig. Bij aluminium masten kan zowel de plaats van het deurtje als die van het kabelgat een rol spelen en bij stalen masten de driehoekige vorm van de schuifconstructie. Bij proeven waarvan de resultaten onderling vergeleken moeten kunnen worden, dient dan ook van een uniforme inrijhoek uitgegaan te worden. Deze uniforme inrijhoek is ook van belang voor het vaststellen van de ligging van de masten na de aanrijding. De grootte van deze hoek kan uit ongevallengegevens bepaald worden.

Uit buitenlandse literatuur (Hutchinson & Kennedy, 1967; Garrett & Tharp, 1969) is bekend dat bij het overgrote deel van de voertuigen die van de weg afraakten de uitrijhoek kleiner dan 15° was.

Hoewel deze in Amerika gevonden resultaten voor de Nederlandse situatie geen geldigheid behoeven te hebben is – omdat betere gegevens ontbreken – bij de

proevenseries B en C de stand van de mast zo gekozen dat een inriehoek van 15° werd bewerkstelligd. Bij de proevenserie A was deze destijds (arbitrair) op 10° gesteld.

1.6. Proefterrein

1.6.1. Algemeen

Alle proeven zijn gehouden op het proefterrein 'De Vlasakkers' te Amersfoort, waar onder meer gebruik werd gemaakt van de reeds aanwezige faciliteiten voor het beproeven van de beveiligingsconstructies in wegbermen en op kunstwerken.

Bij proevenserie A is door de situatie van het proefterrein (zie Afbeelding 3) en door de gebruikte beproevingsmethode het proefvoertuig vaak door een aarden wal opgevangen, waardoor het soms kantelde; in een aantal gevallen liep het vast op de keerschijf van de aandrijfinstallatie. Ook in andere gevallen was de terreingesteldheid in sterke mate bepalend voor de uitloop van het proefvoertuig en deze is dan ook niet in het onderzoek betrokken. Eén en ander vormde aanleiding tot een gewijzigde proefopstelling.

Afbeelding 4 geeft een overzicht van het proefterrein zoals dat werd gebruikt bij de proevenseries B en C. Zowel de baan voor frontale proeven als voor zijdelingse proeven staan hierop afgebeeld.

Net als bij de proevenserie A, is bij die proeven in de series B en C waarbij frontale botsingen gesimuleerd werden, het proefvoertuig via een kabel al rijdend tegen de lichtmast aangetrokken; spoorrails zorgen hierbij voor de geleiding.

Voor het uitvoeren van zijdelingse botsproeven is een dolly ontworpen, waarop het proefvoertuig dwars op de rijrichting wordt neergezet. De dolly wordt op dezelfde wijze aangedreven als het voertuig bij de frontale proeven. Aan het eind van de baan wordt de dolly plotseling afgeremd, waardoor het proefvoertuig van de dolly glijdt, enkele meters zijdelings op een gladgemaakte baan doorglijdt en vervolgens tegen de lichtmast botst. (Afbeelding 5).

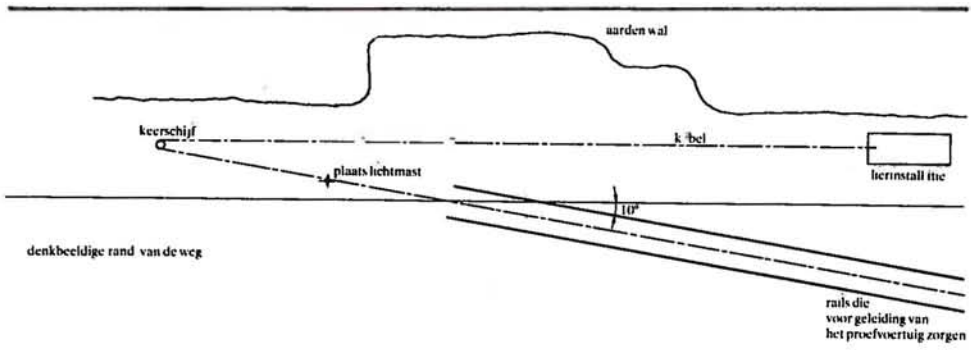
1.6.2. Grondweerstand

Alle beproefde masten zijn ingegraven, waarbij de ingraafdiepte, afhankelijk van de lengte van de mast, varieerde van 1,70 tot 2,00 m. Uit de praktijk is bekend dat de mast ten gevolge van een aanrijding slechts weinig door de grond snijdt. In verband daarmee en aangezien de mate van gronddoorsnijding mogelijk bepalend is voor de ernst van de afloop van een aanrijding, is getracht de gronddoorsnijding bij alle proeven te beperken.

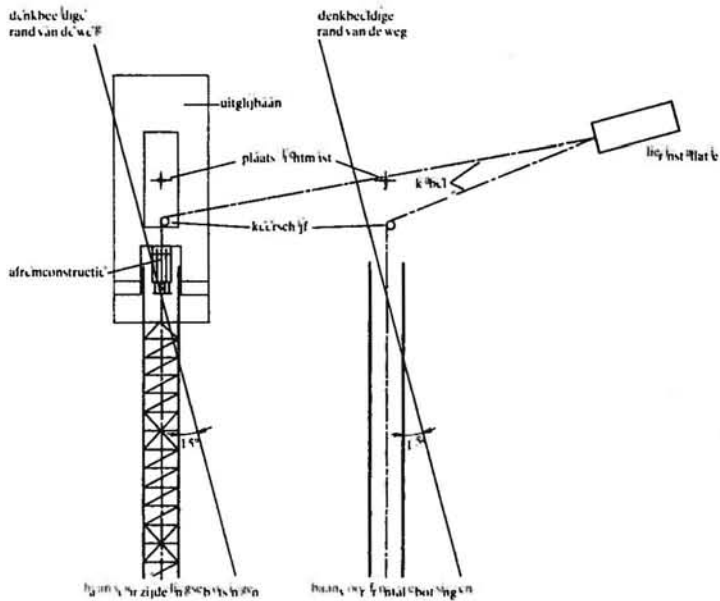
Omdat de masten steeds op dezelfde plek geplaatst werden, kon zodoende geen natuurlijke verdichting van de grond verkregen worden, en werd de grond verdicht met mechanische handstampers.

De reproduceerbaarheid van de proeven werd in proevenserie A bevorderd doordat vóór elke proef de grondweerstand rond de lichtmast werd gecontroleerd door het Laboratorium voor Grondmechanica (zie Werkgroep Lichtmasten, 1972, Bijlage 6).

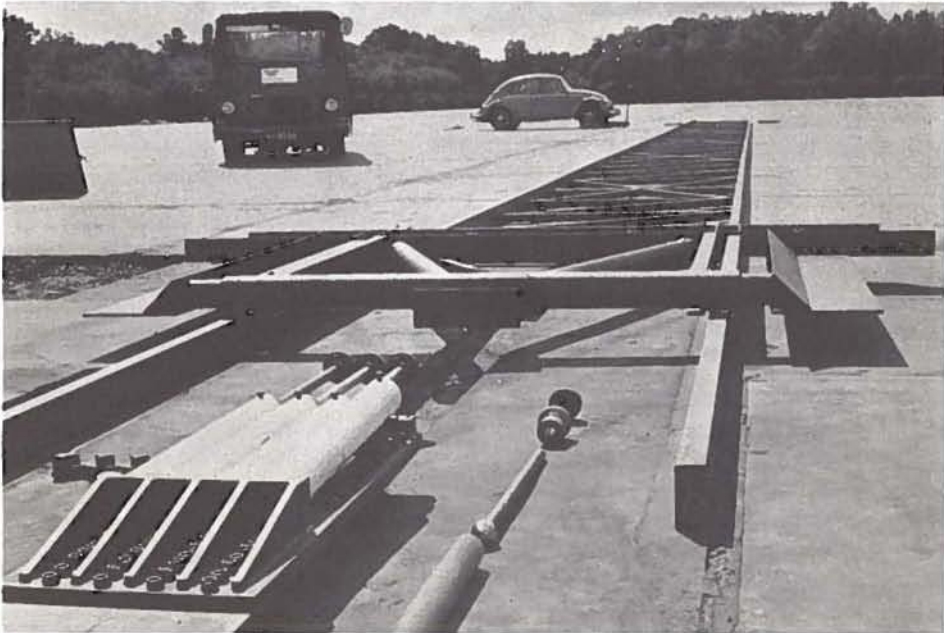
In verband met het vochtgehalte van het zand kon met behulp van (mechanische) handstampers echter geen voldoende verdichting van de grond gerealiseerd worden. Daarom werd een beperkte gronddoorsnijding bij de proevenseries B en C verwe-



Afbeelding 3.
Beproevinginstallatie voor frontale botsproeven (provenserie A).



Afbeelding 4.
Beproevinginstallaties voor zijdelingse en frontale botsproeven (provenseries B en C).



Afbeelding 5.

Om zijdelingse botsproeven reproduceerbaar uit te voeren is een speciale installatie ontworpen. Het voertuig wordt dwars op een dolly geplaatst, die over rails kan worden voortbewogen. Aan het einde van de baan wordt de dolly door een afremconstructie abrupt afgeremd, het voertuig glijdt van de dolly af, waarna het slippend botst tegen het botsobject.

zenlijkt door het plaatsen van een schot achter de mast ter hoogte van het kabelgat. Om een reproduceerbare gronddoorsnijding te krijgen, en om beschadigingen aan de mast te voorkomen, werd een plaat polystyreen van 5 cm dik tussen het schot en de mast gezet.

1.7. Testcriteria

Als een mast voldoet aan de criteria met betrekking tot de voertuigvertraging en de indeuking van het passagierscompartiment, dan wordt deze mast 'voor personenauto's weinig agressief' genoemd.

Bij het beoordelen van de uitgevoerde botsproeven met lichtmasten is ook aandacht besteed aan de ligging van na de aanrijding gevallen lichtmasten en van het gevaar van de aangesloten netspanning.

1.7.1. Voertuigvertraging

Gebleken is dat de bij botsingen optredende voertuigvertragingen een belangrijke maatstaf zijn bij de beoordeling van de kans op letsel voor de inzittenden. Bij een aanrijding zal de vertraging nooit exact in één richting werken. Het is daarom gewenst een norm te hebben waaraan de samengestelde vertraging moet voldoen. Zo'n norm is de Acceleration Severity Index (ASI), die werd opgesteld door Ross & Post (1972 a en b).

De formule, afgeleid in Ross & Post (1972a), luidt:

$$ASI = \sqrt{\left(\frac{g_{long}}{g_{long_a}}\right)^2 + \left(\frac{g_{lat}}{g_{lat_a}}\right)^2 + \left(\frac{g_{vert}}{g_{vert_a}}\right)^2}$$

long = longitudinaal

lat = lateraal

vert = verticaal

index a = acceptabel

In de tellers van de formule worden de geregistreeerde voertuigvertragingen ingevuld. Als waarden voor deze vertragingen worden uit de vertragingcurven de gemiddelde vertragingen over een periode van 50 ms bepaald. Deze periode dient zo gekozen te worden dat de waarde voor de gemiddelde vertraging daarmee zo groot mogelijk wordt. (Om de rekenkundige bewerkingen te vereenvoudigen heeft de SWOV hier als extra voorwaarde voor deze proevenseries aan toegevoegd dat de maxima van de drie perioden – nl. voor de longitudinale, laterale en verticale vertraging – binnen een tijdsinterval van 50 ms moesten liggen. Bij het aannemen van deze voorwaarde is ervan uitgegaan dat dan de optredende vertragingen nog als 'samenwerkend' kunnen worden beschouwd en dus een gezamenlijke uitwerking op de inzittenden van het voertuig zullen hebben).

In de noemers komen de voor de mens 'acceptabele' voertuigvertragingen te staan. Voor inzittenden zonder autogordel zijn deze in longitudinale, laterale en verticale

richting op resp. 7, 5 en 6 g gesteld. Als de waarde voor de ASI niet groter wordt dan één, duidt dit erop dat de inzittenden van het voertuig niet ernstig gewond zullen raken.

Bij het gebruiken van deze formule dient echter wel het nodige voorbehoud gemaakt te worden. In de eerste plaats omdat een juiste relatie tussen de kans op letsel van de inzittenden en voertuigvertraging niet eenvoudig te vinden is, zolang dummies nog niet representatief zijn voor de mens en zolang op grote schaal nog geen voertuigvertragingen bij werkelijke ongevallen vastgesteld kunnen worden. In de tweede plaats kunnen door verschillen in voertuigeigenschappen de voor de mens acceptabele voertuigvertragingen per voertuig aanzienlijk variëren. Zolang er echter nog geen normen zijn die op een wetenschappelijk meer verantwoorde manier zijn vastgesteld, zal de beschikbare norm met de nodige voorzichtigheid gehanteerd moeten worden.

In verband met het (gelukkig) sterk toegenomen gebruik van autogordels is het interessant een waarde voor de ASI aan te geven die acceptabel is voor inzittenden met autogordel. Aangezien een dergelijke formule niet uit de literatuur bekend is, zijn, met behulp van de afleiding van de reeds gegeven formule van de ASI, waarden berekend die gebruikt kunnen worden voor inzittenden met autogordel en die op dezelfde wijze in de formule gesubstitueerd kunnen worden. Als acceptabele voertuigvertraging voor inzittenden met autogordel werden voor de longitudinale, laterale en verticale vertraging respectievelijk de waarden 12, 9 en 10 g gevonden. Uiteraard geldt ook voor deze cijfers dat ze slechts indicatief gebruikt mogen worden.

Opmerking 1

Het ontwerp van lichtmasten zou overigens met betrekking tot de crash-aspecten minder kritisch bekeken hoeven te worden als ervan kon worden uitgegaan dat *alle* auto-inzittenden gordels droegen. Maar zolang dit nog niet het geval is, bijvoorbeeld omdat de draagplicht niet voor iedereen geldt (bijvoorbeeld de achterinzittenden en auto's van voor 1971), moet in het onderzoek in de eerste plaats worden nagegaan welke lichtmasten bij aanrijdingen door personenauto's waarvan inzittenden geen gordels dragen, aan het desbetreffende ASI-criterium voldoen en welke niet.

Opmerking 2

Ten einde de weerstand van de masten bij frontale en zijdelingse botsingen, uitgedrukt in voertuigvertragingen, onderling te kunnen vergelijken, is voor de berekening van de ASI bij alle proeven de richting van de langsvertraging zo gekozen, dat deze overeenkomt met de bewegingsrichting van het voertuig. Bij zijdelingse botsingen wordt dan echter de kans op ernstig letsel t.o.v. die bij frontale botsingen met dezelfde ASI-waarde, ondergewaardeerd. Met andere woorden: bij zijdelingse botsingen zou een op deze wijze berekende ASI enigszins kleiner dan één moeten zijn, opdat bij een dergelijke botsing geen kans op ernstig letsel bestaat. Met deze constatering is overigens uitsluitend rekening gehouden bij de beoordeling of een mast al-dan-niet als agressief moet worden beschouwd.

1.7.2 Indeuking passagierscompartiment

In het ASI-criterium zijn alleen de vertragingen van het voertuig verdisconteerd. Maar ook de indeuking van het passagierscompartiment vergroot de kans op letsel.

Als de zitruimte van de inzittenden wordt verkleind, hetgeen bij een zijdelingse botsing betekent dat de *inwendige* indeuking ter hoogte van het midden van het portier meer dan 10 cm bedraagt, wordt aangenomen dat dit van invloed is op de kans op ernstig(er) letsel. De genoemde maat is gebaseerd op de eis die is opgesteld ten behoeve van het Experimental Safety Vehicle project. Als er bovendien van wordt uitgegaan dat bij een zijdelingse botsing de doorsnede van de deur met ca. 5 cm afneemt, zal bij een *uitwendig* gemeten indeuking van meer dan ca. 15 cm, de zitruimte verkleind worden.

Een ten gevolge van een botsing afgebroken of afgeschoven mast kan op het dak van het voertuig terecht komen. Ook deze indeuking mag niet te diep zijn, omdat anders de inzittenden er letsel door kunnen oplopen.

Een door Slechter (1971) ten behoeve van het Experimental Safety Vehicle project opgestelde eis zegt dat de indeuking van het dak niet meer dan ca. 8 cm (3 inches) mag bedragen. Deze eis lijkt ook in de Nederlandse situatie bruikbaar.

1.7.3. *Ligging van de masten*

Bij masten die ontworpen zijn om bij een botsing gemakkelijk te kunnen afbreken of afschuiven, zal de mast of naar voren geworpen kunnen worden of zijdelings kunnen vallen met het gevolg dat hij op de weg kan komen te liggen. Na elke proef werd de ligging van de mast bepaald. Daarbij is ervan uitgegaan dat de rand van het verharde weggedeelte overeenkomt met een lijn die onder een hoek van 15° met de inrijrichting op 1,5 m van de standplaats van mast is te trekken. De betreffende gegevens uit proevenserie A zijn hiertoe aangepast.

1.7.4. *Elektrisch gedeelte*

Bij voor personenauto's weinig agressieve masten is het van belang te onderzoeken of de elektrische veiligheid gewaarborgd is. Immers zal bij een aanrijding tegen een dergelijke mast de grondkabel gemakkelijk bloot komen te liggen met het gevaar dat de mast of de auto onder spanning kan komen te staan. Ook is het gevaar niet denkbeeldig dat tijdens een aanrijding waarbij kortsluiting kan ontstaan en bijvoorbeeld een benzineleiding wordt geraakt, brand ontstaat.

Tijdens de proevenseries B en C werd via een hoofdzekering en een zekering in de mast spanning op het voorschakelapparaat gezet om bovengenoemde aspecten te kunnen beoordelen. (De spanning werd geleverd door een aggregaat, spanning 220 V, vermogen 40 kW).

1.8. Registratie

Het verloop van de proeven werd op film vastgelegd door ten minste drie camera's, waarvan er één high-speedopnamen maakte (400 beelden per seconde). Ter controle van de voertuigsnelheden werd tevens gebruik gemaakt van radar. De eindtoestand werd gefotografeerd, opgemeten en schriftelijk vastgelegd.

Bij de proevenserie A zijn de snelheden en vertragingen bepaald door middel van analyse van de high-speedfilm. De film is hiertoe per beeld afgelezen, waarna over drie aflezingen is gemiddeld. Aan de hand van deze gemiddelde waarden zijn de

snelheden en de vertragingen berekend, met behulp waarvan de vertragingcurven zijn uitgezet (zie ook SWOV, 1976). Voor de procedure die bij de verwerking gevolgd is, zie SWOV (1971).

Omdat bij deze proeven de laterale vertraging niet kon worden gemeten, komt in de formule voor het berekenen van de ASI de daarbij behorende term g_{lat}/g_{lat_a} te vervallen.

Uit proevenseries B en C waar wel de laterale vertraging is gemeten, bleek dat de invloed van deze vertraging niet groot was. Wel zullen de voor de proevenserie A vermelde waarden voor ASI (zie Tabel A, blz. 52) in de meeste gevallen iets lager zijn dan wanneer de volledige formule van Ross & Post gehanteerd zou zijn.

Ter bepaling van de voertuigvertragingen bij de proevenseries B en C zijn in het proefvoertuig twee tri-axiale versnellingsopnemers gemonteerd, waarvan één in het zwaartepunt en één in de bagageruimte. Verder werd bij wijze van experiment een versnellingsopnemer in de borst van een proefpop gemonteerd.

Om de resultaten uit de proevenserie A te kunnen vergelijken met die van de series B en C, zijn naast de elektronische wijze van registratie, bij diverse frontale proeven tevens high-speedfilmopnamen gemaakt. Door middel van een gewijzigde analyse-methode (zie SWOV, 1972) zijn hieruit eveneens vertragingcurven van de voertuigen bepaald.

Door het uitvallen van de elektronische apparatuur konden bij enkele zijdelingse botsproeven (L20 t/m L23) geen voertuigvertragingen vastgesteld worden. Om bij deze proeven toch de ernst van de aanrijding te kunnen bepalen, is gebruik gemaakt van de gegevens van andere proeven (zie verder par. 2.1.).

Bij de proeven L18 en L19 is noodgedwongen gebruik gemaakt van vertragingwaarden verkregen uit analyse van de high-speedfilms.

2. Resultaten proeven

2.1. Algemeen

In de Tabellen A, B en C zijn de resultaten vermeld van de stalen masten, de aluminium masten en de polyester mast die tijdens de proevenseries A, B en C beproefd zijn (zie blz. 52 e.v.)

In de genoemde tabellen is de waarde van de ASI (Acceleration Severity Index) voor zowel inzittenden *met* als *zonder* autogordel gegeven. De bijbehorende vertragingwaarden zijn terug te vinden in de desbetreffende SWOV rapporten (SWOV, 1975 en 1976).

Zoals reeds in paragraaf 1.8 is aangegeven is bij de proevenserie A de laterale vertraging niet gemeten. Deze kon dus niet in de formule voor het berekenen van de ASI worden toegepast. De in de Tabel A vermelde waarden voor de ASI zullen daarom in de meeste gevallen iets lager zijn dan wanneer de volledige formule gehanteerd zou zijn.

In Tabel B kon in vier gevallen (L20, L21, L22 en L23) geen exacte waarde van de ASI worden gegeven omdat de elektronische apparatuur niet functioneerde. Bij al deze proeven is het proefvoertuig tegen de lichtmast tot stilstand gekomen. De botsnelheid bedroeg in drie gevallen (L21, L22 en L23) ca. 45 km/h en in een geval (L20) 27 km/h.

Op basis van de resultaten van andere proeven kan gesteld worden dat bij een botsing waarbij het voertuig van ca. 45 km/h abrupt tot stilstand wordt gebracht de waarde voor de ASI zonder gordelgebruik ver boven de één ligt en met gordelgebruik ongeveer één bedraagt. Wordt de snelheid van het voertuig van ca. 25 km/h abrupt tot nul vertraagd, dan bleek uit vergelijkbare proeven dat de waarde van de ASI zonder en met gordelgebruik resp. ongeveer één en kleiner dan één was. In de tabel is ook de terminologie groter, kleiner en ongeveer gelijk aan één gebruikt. Verder is in de tabel aangegeven of de masten voorzien van een schuifconstructie al dan niet zijn afgeschoven en of de andere masten al dan niet ten gevolge van de aanrijding zijn afgebroken. Ook is aangegeven of het voertuig tegen de mast tot stilstand is gekomen en of het over de kop gegaan is.

2.2. Agressiviteit van lichtmasten m.b.t. vertraging

2.2.1. Proevenserie A

Stalen masten (zonder en met schuifconstructie)

De twee normale stalen masten (L1 en L5) leverden gedurende de frontale botsing zoveel weerstand op dat de ASI-norm voor een acceptabele voertuigvertraging werd overschreden. Ook de stalen mast van lichtere uitvoering (L8) leverde gedurende de botsing een te hoge weerstand voor het proefvoertuig op.

Bij de stalen mast met schuifconstructie (L4) bleef de waarde voor de voertuigvertraging wel onder de limietwaarde. Op basis van deze proef kon destijds voorzichtig gesteld worden dat een dergelijke constructie goede perspectieven biedt voor het reduceren van de agressiviteit van lichtmasten ten aanzien van personenauto's.

Aluminium masten

Bij alle beproefde aluminium lichtmasten in proevenserie A is geconstateerd dat het bovengrondse deel van de mast ten gevolge van de aanrijding ter hoogte van het deurtje brak. Het grondstuk van de masten werd in vijf van de zes gevallen zover uit de grond getrokken, dat het gat voor de kabelinvoer ongeveer op maaiveldhoogte kwam. Aangezien het grondstuk op de plaats van het gat voor de kabelinvoer tengevolge van de aanwezigheid van dit gat verzwakt was, konden de masten op dit punt breken (L7, L2) of knikken (L10, L9, L6).

De 10 m masten, waarvan de wanddikte 4 mm bedroeg, braken ter hoogte van de kabelinvoer totaal af bij voertuigsnelheden boven de 65 km/h en gedeeltelijk bij snelheden onder de 65 km/h. In die gevallen waarin de breuk bij de kabelinvoer totaal was (L7 en L2), bleek de weerstand die het voertuig gedurende de botsing ondervond, kleiner te zijn dan in de gevallen waarin de breuk slechts gedeeltelijk was (L10 en L9). In alle vier gevallen bleef de waarde voor de ASI zonder gordel onder de limietwaarde.

Bij de 12 m masten bedroeg de wanddikte 1 mm meer dan bij de 10 m masten. Het gevolg hiervan was dat het grondstuk niet brak, maar platgevouwen werd ter hoogte van het maaiveld (L3) of bij de kabelinvoer (L6). Zowel bij proef L3 als bij proef L6 steeg de waarde voor de voertuigvertraging boven de limietwaarde uit.

Voor een vollediger beschrijving van de proeven in deze serie A zie SWOV (1976).

2.2.2 Proevenserie B

Stalen masten zonder schuifconstructie

Deze stalen mast gaf bij een zijdelingse proef (L12) een zeer hoge waarde voor de ASI te zien. Het proefvoertuig kwam tegen de mast tot stilstand, waarbij een zeer grote indeuking van het passagierscompartiment ontstond. De mast werd ca. 15° omgebogen.

Stalen masten met schuifconstructie

Acht stalen masten voorzien van een schuifconstructie, waarvan twee met een lichtpunthoogte van 10 en zes met een lichtpunthoogte van 12 m zijn – op één uitzondering na – door middel van zijdelingse botsingen beproefd.

Zowel de 10 m mast met een enkele uitlegger (L16) als die met een dubbele uitlegger (L17), bleken bij een zijdelingse botsing met ca. 40 km/u een zeer lage weerstand te bieden (waarde voor de ASI zonder gordel: 0,3).

De 12 m masten met een uitlegger van 1,5 m zijn beproefd door middel van zijdelingse botsingen bij de snelheden 25, 40 en 57 km/h (resp. L11, L15 en L14), en door middel van een frontale botsing met een snelheid van 46 km/h (L19). Ook hier zijn lage waarden voor de ASI geconstateerd. Uit deze waarden blijkt dat bij de masten die een geringe weerstand bieden, de botssnelheid weinig invloed schijnt te hebben op de grootte van de weerstand. Verder bleek dat de masten die zowel



Afbeeldin 8 6.

Deze 12 m hoge aluminium mast werd in proef serie A frontaal aangereden met een snelheid van 70 km/h. De mast brak bij de onderkant van het deurtje. Het grondstuk van de mast brak niet, maar werd bij de kabelinvoer platgevouwen.

zijdelings als frontaal met vergelijkbare snelheid aangereden zijn, (L15: 40 km/h en L19: 46 km/h) geen grote verschillen in vertragswaarden te zien geven (ASI zonder gordel resp. 0,3 en 0,4).

De 12 m mast met een uitlegger van 3 m (L25) geeft als enige mast voorzien van een schuifconstructie, een vertraging te zien die voor inzittenden zonder een autogordel niet acceptabel is (ASI = 1,1). Voor inzittenden met autogordel is de waarde evenwel acceptabel (ASI = 0,6). Als een mogelijke oorzaak voor de grotere vertraging kan de grotere massa van de mast genoemd worden (ca. 35 kg zwaarder dan de andere 12 m masten).

Opmerking

Bij het plaatsen van lichtmasten voorzien van een schuifconstructie dient men er op bedacht te zijn dat de afstand van deze constructie tot aan het maaiveld zeer klein moet zijn. Bij één van de eerste proeven (L13) werd de schuifconstructie 10 cm boven maaiveld geplaatst met als gevolg dat bij een zijdelingse botsing waarbij de carrosserie van het proefvoertuig ver overhelde, de onderflens van de mast achter de bodemplaat van het voertuig bleef steken. Het resultaat was dan ook een voertuigvertraging die ruim het tweevoudige was van hetgeen acceptabel is. Een hoogte van de schuifconstructie van 3 cm boven maaiveld bleek bij de overige proeven zowel bij de zijdelingse als bij de frontale botsingen geen problemen meer op te leveren.

Aluminium masten

De proeven met aluminium lichtmasten zijn in de proevenserie B gestart met masten die berekend waren voor grote armaturen (dus grotere windbelastingen en dus zwaarder uitgevoerde masten) waarmee 5% van de door de Rijkswaterstaat geplaatste masten zijn uitgerust. Als zou blijken dat deze masten bij een aanrijding voldoen, zouden lichter geconstrueerde masten naar alle waarschijnlijkheid ook voldoen.

De resultaten bleken echter slecht te zijn. Bij de zes proeven die met 10 m masten zowel zijdelings als frontaal zijn uitgevoerd (L21, L23, L27, L28, L29 en L30), bleek alleen in de laatste (frontale) proef de mast aan de ASI-norm te voldoen. Van de drie beproefde 12 m masten (L18, L20 en L26) voldeed er geen. Bij de 12 m mast met een uitleggerlengte van 3 m (L26) is getracht door het toepassen van een relatief grote basisdiameter en een kleine wanddikte de mast gemakkelijker te laten afbreken. Hoewel de mast bij het deurtje is gebroken, was de vertraging die het voertuig hierbij opliep ontoelaatbaar hoog.

Polyester mast

De polyester lichtmast (basisdiameter/wanddikte ter hoogte van het maaiveld 275/10 mm) die door middel van een zijdelingse botsing met een snelheid van 45 km/h aangereden is (L22), is ter hoogte van het deurtje afgebroken, waarbij het bovenste gedeelte van de mast in de rijrichting is omgeknikt. Het ondereind is rechtop in de grond blijven staan met het gevolg dat het proefvoertuig daartegen tot stilstand is gekomen.

Ondanks dat bij deze proef de elektronische meetapparatuur niet naar behoren functioneerde, kan op basis van hetgeen in paragraaf 2.1. gesteld is, aangenomen worden dat de waarde voor de ASI voor inzittenden zonder gordel meer dan één heeft bedragen en voor inzittenden met gordel tenminste één.

Uit de resultaten van de statische buigproeven bleek overigens dat deze mast nog zwaarder uitgevoerd zou moeten worden om aan de statische sterkte-eisen te kunnen voldoen. Wil een dergelijke mast weinig-agressief zijn, dient hij, evenals aluminium masten, ter hoogte van het maaiveld of bij het kabelgat af te breken.

2.2.3. Proevenserie C

Aluminium masten 10 m

Omdat in proevenserie A gebleken was dat een 10 m aluminium lichtmast met een basisdiameter van 190 mm weinig weerstand opleveren, lag het voor de hand na te gaan of er mogelijkheden waren de dimensies van de masten terug te brengen tot die van proevenserie A. Daarop is besloten de statische sterkte-eisen voor de lichtmasten van proevenserie C aan te passen, in die zin dat uitgegaan werd van kleinere armaturen en kortere uitleggers, waardoor een basisdiameter verkregen kon worden die zelfs geringer was dan bij de lichtmasten beproefd tijdens de proevenserie A. Ter vergelijking: de basisdiameter/wanddikte van de 10 m aluminium masten bij de series A, B en C bedroeg respectievelijk 190/4, 200/4 of 220/3,75 en 175/4 mm. Ook de 12 m aluminium mast bleek lichter geconstrueerd te kunnen worden, waardoor ook deze mast nog enkele malen opnieuw beproefd is. De resultaten van de proevenserie C zijn in Tabel C gegeven (blz. 56).

Van de twee *zijdelings* uitgevoerde proeven met de 10 m aluminium masten, bleek alleen bij de proef bij lage snelheid van ca. 30 km/h (L42) de waarde voor de ASI zonder gordel kleiner dan 1. Bij deze proef is de mast niet gebroken en is de auto tegen de mast tot stilstand gekomen.

De proef met de hogere snelheid van ca. 50 km/h (L41) gaf het volgende verloop te zien. De mast brak aan de bovenzijde van het deurtje, waardoor het grondstuk nog ca. één meter boven de grond uitstak. Dit grondstuk knikte wel bij het gat voor de kabelinvoer, maar leverde nog zoveel weerstand op dat het proefvoertuig daardoor over de kop is geslagen. De waarde voor de ASI zonder gordelgebruik bedroeg 1,7 hetgeen ontoelaatbaar hoog is. (Voor de ASI met gordelgebruik is een waarde = 1,0 berekend).

Bij proef L40 (proef L41 is hiervan een herhaling) ging de mast ten gevolge van de aanrijding over de gehele lengte splijten, met als gevolg dat de mast niet geheel bij het deurtje is gebroken. De resultaten van deze proef zijn evenals die van de proeven waarbij de masten abusievelijk te veel met zand gevuld werden (L31, L32 en L33) bij de conclusies verder buiten beschouwing gebleven.

Bij de vier *frontale* botsproeven tegen 10 m aluminium masten (L35, L36, L37 en L43) is gebleken dat de weerstand van deze masten aanvankelijk groter is naarmate de botssnelheid hoger is, maar daarna afneemt. Er is dus een snelheidsgebied waarbij de weerstand het grootst is en volgens de berekende ASI-waarde voor inzittenden zonder autogordel niet acceptabel (bij een botssnelheid van 64 km/h (L35): 1,2 en bij 76 km/h (L43): 1,1). Aangenomen mag worden dat in het snelheidsgebied van ca. 55 km/h tot ca. 80 km/h geen acceptabele waarden voor de ASI gevonden zullen worden, tenminste voor inzittenden zonder autogordels. Alleen als wordt uitgegaan van inzittenden die wel autogordels dragen zullen deze 10 m aluminium masten bij een aanrijding aan het ASI criterium voldoen.

Bij deze proeven was in alle gevallen het grondstuk van de masten met zand gevuld. Of de resultaten gunstiger zullen zijn zonder zand in het grondstuk zal worden nagegaan in par. 3.3.3 en 3.4.

Bij deze frontale proeven is de mast in alle gevallen bij het deurtje gebroken. Bij de proeven met de hogere snelheden werd het grondstuk plat tegen de grond gedrukt waardoor het voertuig er overheen kon rijden. Bij de proef met de laagste snelheid (L36: 30 km/h) was de kinetische energie van het proefvoertuig onvoldoende om geheel over het grondstuk heen te rijden zodat het voertuig er tegen tot stilstand is gekomen, waarbij de waarde van de ASI zonder gordelgebruik beneden de één is gebleven.

Aluminium masten 12 m

De zijdelingse botsproef (L34) en de beide frontale botsproeven (L38 en L39) geven onacceptabel hoge waarden voor de ASI zonder gordelgebruik te zien. Onder de toegepaste testcondities blijkt volgens het criterium 'ASI met autogordel' de samengestelde voertuigvertraging bij deze masten kleiner dan één te zijn.

Bij de zijdelingse botsing is de mast aan de bovenzijde van het deurtje gebroken. Het gedeelte van de mast dat nog in de grond stak gaf echter nog zoveel weerstand dat de auto er tegen tot stilstand is gekomen. Bij de twee frontale botsproeven is de mast ook bij het deurtje gebroken maar in één geval werd het grondstuk zo plat gedrukt, dat het voertuig er in zijn geheel overheen kon rijden. In het andere geval is de auto halverwege op dit grondstuk blijven steken.

Overigens bleken alle 10 en 12 m aluminium masten die beproefd zijn in proevenserie C niet te voldoen aan de 4% norm met betrekking tot de statische sterkte (zie verder hoofdstuk 4).

2.3. Agressiviteit van lichtmasten m.b.t. indeuking passagierscompartiment

Bij zijdelingse botsingen kan naast de grootte van de ASI de grootte van de indeuking van invloed zijn op de mate van letsel voor de inzittenden.

Bij vier zijdelingse botsproeven waarbij de berekende ASI-waarden zonder gordel kleiner dan één waren, bleek de zijdelingse indeuking van het voertuig ter hoogte van het voorportier het gehanteerde maximum van 15 cm te overschrijden. Dit is geconstateerd in twee gevallen bij stalen masten met een schuifconstructie waarbij de overschrijding 3 cm bedroeg (L11 en L14), en in twee gevallen bij aluminium masten waarbij de overschrijding 11 en 8 cm bedroeg (resp. L32 en L42). Deze waarden zijn aan de hoge kant. Daarop is van invloed geweest de omstandigheid dat de gebruikte proefvoertuigen niet in alle gevallen gave carrosserieën hadden. Vooral bij een zijdelingse botsing heeft dit een grote invloed op de grootte van de indeuking. Bij geen van de frontale proeven had de indeuking van het front tot gevolg dat het passagierscompartiment verkleind werd.

De maximale indeuking die de vallende masten in het dak van de proefvoertuigen veroorzaakten, heeft ca. 7 cm bedragen. Dit is net beneden de Amerikaanse norm die nl. ca. 8 cm bedraagt. Van de masten die op het dak van de proefvoertuigen terecht zijn gekomen bedroeg de grootste massa van het bovengrondse deel 138 kg.



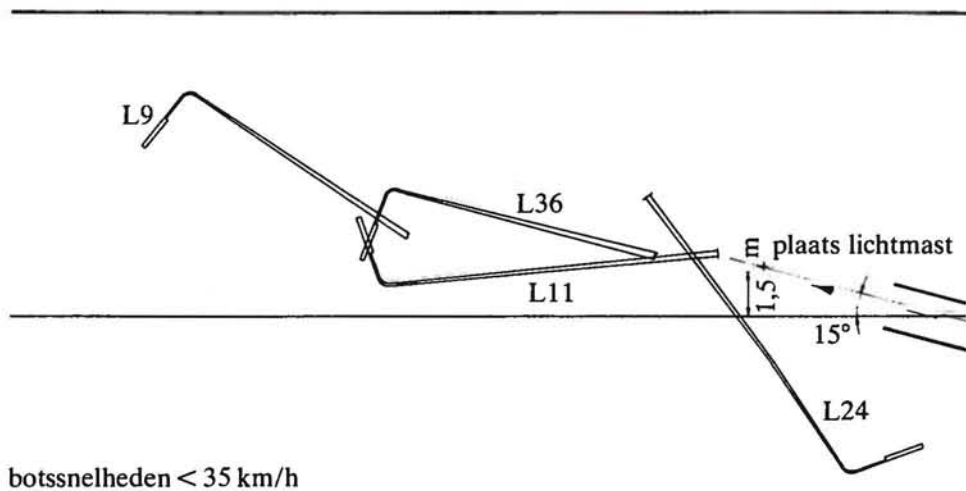
Afbeelding 7.

Bij deze 10 m hoge stalen mast met schuifconstructie, die in proevenserie B zijdelings werd aangereiden met een snelheid van 42 km/h, werden lage waarden voor de voertuigvertraging geconstateerd. De mast kwam op het dak van het voertuig terecht, zowel de indeuking aan de zijkant als van het dak bleef binnen de gehanteerde maxima.

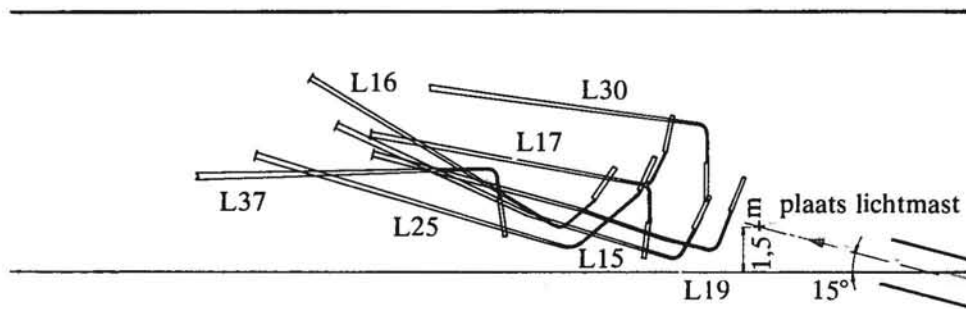


Afbeelding 8.

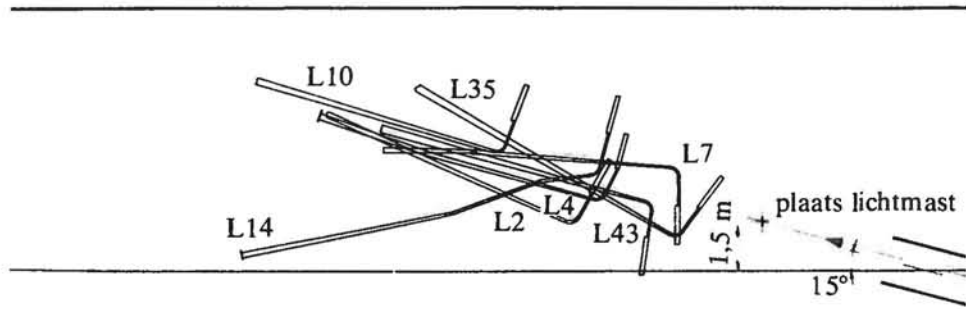
Bij deze 10 m hoge aluminium mast die in proevenserie C zijdelings werd aangereiden met een snelheid van 30 km/h zijn acceptabele waarden voor de voertuigvertraging geconstateerd. De mast brak echter niet, het voertuig kwam tegen de mast tot stilstand. De indeuking van de flank van het voertuig was groter dan het gehanteerde maximum.



botssnelheden < 35 km/h



botssnelheden ca. 45 km/h



botssnelheden > 55 km/h

Afbeelding 9
De ligging van de weinig-agressieve masten na de aanrijding persnelheidscategorie: tot 35 km/h, ca. 45 km/h, en hoger dan 55 km/h.

2.4. Ligging van de masten

Bij proevenserie A was reeds gebleken dat geen van de lichtmasten onder de daar geldende condities (frontale botsing, inrijhoek 10° , standpunt lichtmast 1 m van de denkbeeldige rand van de weg) in een werkelijke situatie op het verharde gedeelte van de weg terecht zou zijn gekomen (zie SWOV, 1976).

Voor de beoordeling of een aangereden lichtmast al dan niet op de rijbaan terecht zou zijn gekomen, geeft Afbeelding 9 een goed overzicht. Er is een indeling gemaakt in drie snelheidscategorieën nl. < 35 , ca. 45 en > 55 km/h. Alle gevallen weinig-agressieve masten (waarbij de ASI zonder gordel < 1) zijn opgenomen en verder nog enkele masten waarvan de ASI net iets boven de één is uitgekomen. De masten uit de proevenserie A die aan deze criteria voldeden zijn eveneens opgenomen, echter nu onder de aangepaste condities. Hierbij wordt wel aangetekend dat het hier masten betreft die niet voorzien waren van een armatuur van het vereiste gewicht.

Duidelijk blijkt uit de afbeelding dat van de beproefde lichtmasten er slechts één (L24) een aanzienlijke afstand (ca. 5,5 m) over de rand van het verharde weggedeelte zou zijn gekomen en wel in de laagste snelheidscategorie. Bij hogere snelheden zijn de lichtmasten bij een aanrijding niet zijdelings gevallen daar de weerstand van de mast gering is en het voertuig na de aanrijding nog zoveel snelheid heeft, dat het ondereinde van de mast door het voertuig in zijn bewegingsrichting wordt meegenomen. De masten liggen dan ook ongeveer in de baan van het voertuig.

2.5. Elektrisch gedeelte

De masten die beproefd zijn in proevenserie A, waren niet voorzien van een voorschakelapparaat en een grondkabel.

In geen enkel geval is in de proevenseries B en C, waar deze voorzieningen wel zijn aangebracht ten aanzien van het eventuele gevaar dat de aangesloten netspanning kan opleveren, geconstateerd dat er na de aanrijding spanning op het voertuig of op de mast is komen te staan. Wel is bij diverse proeven geconstateerd dat er na de aanrijding nog spanning op het voorschakelapparaat of op een blank kabeleinde stond in die gevallen waarbij er geen kortsluiting was opgetreden. Ontstond deze wel, dan viel bij analyse van high-speedfilms soms een duidelijke vonkvorming waar te nemen. Bij gevallen van kortsluiting bleek de hoofdzekering te zijn doorgeslagen. Bij de stalen masten met schuifconstructie die afgeschoven zijn, is de grondkabel in alle gevallen ter hoogte van de schuifconstructie eveneens afgeschoven. In die gevallen waarbij geen kortsluiting bij de schuifconstructie ontstaan was, stond het blanke kabeleinde nog onder spanning.

Bij de aluminium masten die gebroken zijn, was het algemene patroon dat de grondkabel uit het voorschakelapparaat werd losgetrokken. In sommige gevallen ontstond daarna kortsluiting, of indien dit niet het geval was, bleef er spanning op het blanke kabeleinde staan. Bij de aluminium masten die niet gebroken zijn, bleef in de meeste gevallen het deurtje op zijn plaats. Zodoende was het na de aanrijding niet mogelijk met de netspanning in de mast in aanraking te komen.

Opmerking

Teneinde de kans op elektrocutie of brand te reduceren, zou een beveiliging in de kabel aangebracht kunnen worden. In het buitenland heeft men bij toepassingen in schuifconstructies (Hignet, 1969) goede ervaringen met een dergelijke beveiliging opgedaan.

2.6. Overige resultaten

2.6.1 Weerstand van de grond

In Tabel 1 zijn de resultaten van twee zijdelingse botsproeven (L11 en L24) vergeleken, die mede uitgevoerd zijn om een indruk van het effect van de gronddoorsnijding te verkrijgen bij een 12 m stalen lichtmast voorzien van een schuifconstructie. De botsnelheid bedroeg in beide gevallen ca. 25 km/h.

De gronddoorsnijding was bij proef L11 ca. 20 cm waarbij het proefvoertuig een massa had van 710 kg en in het andere geval, waarbij de voertuigmassa 815 bedroeg, was de gronddoorsnijding nihil. Bij de proef met de grootste gronddoorsnijding was de waarde voor de ASI ook het grootst (ASI zonder gordel bij L11 bedroeg 0,8, bij L24 was deze 0,5). Hieruit kan de indruk worden verkregen dat bij een minder goed verdichte grond de weerstand van een weinig-agressieve mast toeneemt. Wel dient hierbij opgemerkt te worden dat bij de proef waarbij de waarde van de ASI het geringst was, de massa van het proefvoertuig ca. 100 kg meer bedroeg dan bij de andere proef. Aangezien bij toenemende massa van het voertuig de weerstand die het voertuig van de mast ondervindt geringer wordt, zou het geconstateerde verschil tussen de beide waarden van de ASI minder groot zijn geweest, indien de voertuigen beide dezelfde massa hadden gehad.

2.6.2. Zijdelingse botsingen versus frontale botsingen

Het verschil tussen de resultaten van zijdelingse en frontale botsingen, uitgedrukt in de grootte van de voertuigvertraging, wordt groter naarmate de weerstand van de mast toeneemt (zie Tabel 2).

Is de weerstand van de mast gering dan zal de ernst van de afloop van deze beide typen botsingen ongeveer dezelfde zijn. Naarmate de weerstand van de mast toeneemt, zal de vertraging die het voertuig van de mast ondervindt bij een zijdelingse botsing sterker toenemen dan bij een frontale botsing.

In het algemeen kan gesteld worden dat als de afloop van een zijdelingse botsing een goede afloop te zien geeft, dit zeker het geval zal zijn bij een frontale botsing.

2.6.3. Type proefvoertuig

Alleen bij zijdelingse botsingen is verschil in gedrag te constateren tussen de voertuigen met de motor voor- of achterin. Bij dit type botsing draaide de auto nl. enigszins om het botspunt waarbij de kant van de auto waar zich de motor bevindt, het verst in de bewegingsrichting doorgleed.

Proef-nummer	Type botsing	Gronddoorsnijding	Snelheid km/h	Proefvoertuig		ASI zonder gordel
				Type	Massa	
L11	zijdelings	19 cm	23	Opel	710 kg	0,8
L24	zijdelings	nihil	25	Opel	815 kg	0,5

Tabel 1. Resultaten botsproeven bij verschillende gronddoorsnijdingen
Type mast: 12 m stalen mast met schuifconstructie

Proef-nummer	Type botsing	Type mast	Snelheid km/h	Proefvoertuig		ASI zonder gordel
				Type	Massa	
Geringe weerstand van de mast						
L19	frontaal	1)	46	VW	820	0,4
L15	zijdelings	1)	40	VW	790	0,3
Grotere weerstand van de mast						
L36	frontaal	2)	30	Opel	740	0,6
L42	zijdelings	2)	29	Opel	780	0,9
Grote weerstand van de mast						
L37	frontaal	2)	50	Opel	730	0,9
L41	zijdelings	2)	50	Opel	810	1,7

1) 12 m stalen mast met schuifconstructie

2) 10 m aluminium mast

Tabel 2. Weerstand van de mast bij zijdelingse en frontale botsingen.

3. Verschillen in resultaten tussen 10 m aluminium masten bij de proevenseries A, B en C

3.1. Algemeen

In 1971 zijn door de SWOV enkele botsproeven gedaan met stalen lichtmasten zonder en één met een schuifconstructie, en met aluminium lichtmasten (proevenserie A). De conclusie naar aanleiding van deze proevenserie was dat een 10 m aluminium lichtmast voldoende 'botsveilig' was en dat een 12 m aluminium lichtmast maar net 'botsveilig' was.

De proeven die daarna door de SWOV zijn uitgevoerd met zowel zwaarder (proevenserie B), als lichter uitgevoerde masten van aluminium (proevenserie C), gaven slechtere resultaten te zien.

In deze discussie zal aangegeven worden wat de verschillen tussen aan de ene kant de A-serie en aan de andere kant de B- en C-series zijn geweest. Deze discussie zal zich beperken tot de 10 m aluminium lichtmasten, aangezien juist van de 10 m aluminium lichtmasten, verwacht mocht worden dat ze weinig-agressief zouden zijn.

3.2. Verschillen in opzet en uitvoering tussen de proevenserie A en de proevenseries B en C

In Tabel 3 zijn de verschillen tussen de proevenserie A en de proevenseries B en C vermeld.

De grootte van de invloed van de genoemde factoren is moeilijk te kwantificeren. Wel kan aangegeven worden of de invloed van sommige factoren groot of klein mag worden verondersteld.

Alle genoemde factoren hebben de agressiviteit van de masten die tijdens de proevenseries B en C beproefd zijn, ten opzichte van de gevonden waarden in de proevenserie A, nadelig beïnvloed. Als uitzonderingen hierop gelden de hoogte van het kabelgat onder maaiveld, waar de invloed van deze plaats gunstiger is geweest voor de weerstand van de masten beproefd tijdens de series B en C, en de dimensies van de masten in proevenserie C.

Een factor die niet of nauwelijks van invloed is, is de inrijhoek van 10° of 15° en het al-of-niet aanbrengen van een grondkabel. Een grondkabel levert nl. pas enige weerstand op als de mast al gebroken is.

3.3. Factoren waarvan verondersteld mag worden dat deze invloed hebben op de agressiviteit van de mast

3.3.1. Basisdiameter

Aangenomen mag worden dat bij gelijkblijvende materiaaleigenschappen bij een verkleining van de basisdiameter en de wanddikte, de agressiviteit van de mast zal

	Proevenserie A	Proevenserie B en C
<i>Mast (10 m)</i>		
Basisdiameter/wanddikte (mm)	190/4	200/4, 220/3,75 en 175/4
Plaats deurtje	100 cm boven maaiveld	60 cm boven maaiveld
Plaats kabelinvoer	40 cm onder maaiveld	50 cm onder maaiveld
VSA aangebracht	nee	ja
Armatuur gemonteerd	ja, niet vereist gewicht	ja, dummyarm., vereist gewicht (10 kg)
Grondkabel aangebracht	nee	ja
Zandvulling in mast	nee	ja, tot aan maaiveld
<i>Wijze beproeving</i>		
Massa voertuigen	850 – 900 kg	gem. 770 kg
Inrijhoek	10°	15°
Type botsing	frontaal	frontaal en zijdelings
Dichtheid grond om mast	groot d.m.v. goed aantrillen	groot d.m.v. schot achter de mast + aantrillen
<i>Registratie</i>		
Wijze van registratie	1. filmanalyse, deze is ca. 10% lager dan de elektronische registratie 2. ASI bepaald zonder laterale vertraging	elektronische registratie

Bij de proevenserie A zijn de masten na het plaatsen niet tot maaiveldhoogte met zand gevuld. Ten tijde van het uitvoeren van de proevenserie A was het in de praktijk nl. niet gebruikelijk de masten met zand te vullen. Onder andere met het doel corrosie te voorkomen en om de mast stabiel te maken is dit in latere jaren wel praktisch geworden.

Bij de series B en C werd dan ook na het plaatsen van de mast via het deurtje in het ondereind van de mast, de mast tot aan maaiveldhoogte met zand gevuld.

Tabel 3: Verschillen tussen proevenserie A en proevenseries B en C

afnemen. Als dit tijdens de proeven de enige veranderde parameter was geweest, hadden de resultaten van de proevenserie C gunstiger moeten zijn dan die van serie A.

3.3.2. Voorschakelapparaat

Door het aanbrengen van een voorschakelapparaat wordt tevens de massa en ook de massatraagheid van het onderste gedeelte van de mast groter, waardoor de agressiviteit van de masten beproefd tijdens de proevenseries B en C zal zijn toegenomen. De invloed van dit voorschakelapparaat is evenwel geringer dan die van de andere factoren die in deze paragraaf aan de orde komen.

3.3.3. Vulling van de mast met zand

In Tabellen A en C (blz. 52, resp. blz. 56) kunnen de resultaten van de proevenserie A worden vergeleken met die van de proevenserie C. Tevens is in deze beschouwing het resultaat van een botsing opgenomen, die uitgevoerd is ter beproefing van de botsinstallatie voor zijdelingse botsingen (LT, zie Tabel B, blz. 54). Bij deze proef is geen vertraging geregistreerd.

Zowel de masten beproefd tijdens de proevenserie A als de mast die bij de zijdelingse testbotsing is gebruikt, waren niet met zand gevuld. Bij de testbotsing was de gronddoorsnijding groter dan bij de andere proeven, omdat de grond niet voldoende verdicht was.

Bij vergelijking van de resultaten van de proeven, vallen drie zaken duidelijk op. Ten eerste: Bij het vergelijken van de ASI-waarden van de 10 m aluminium lichtmasten die frontaal beproefd zijn tijdens proevenserie A (L2, L7, L9, L10) en die welke beproefd zijn in proevenserie C (L35, L36, L37, L43) blijkt dat bij de laagste botssnelheid (30 km/h) bij serie C (L36) de ASI de geringste waarde heeft. De frontale proef in serie C met een snelheid van 50 km/h (L37) heeft dezelfde waarde voor de ASI als dergelijke proeven van serie A bij 35 km/h en 60 km/h (L9 en L10). Bij hogere snelheden in de serie C zijn de waarden voor de ASI ook hoger dan bij lagere snelheden, dit in tegenstelling tot de hogere snelheden bij de serie A waar de waarde voor de ASI juist afneemt.

Ten tweede: Bij alle genoemde proeven van de serie A is een breuk ter hoogte van het kabelgat geconstateerd. In twee gevallen is de mast op deze plaats geheel, en in de twee andere gevallen gedeeltelijk gebroken. In het laatste geval knikte het ondereind ten gevolge van het overrijden 90° om en werd in het zand neergedrukt.

Ten derde: Bij de zijdelingse testbotsing met een mast die niet met zand gevuld was en waarvan de basisdiameter/wanddikte 190/4 mm bedroeg, is de mast wel aan de onderzijde van het deurtje afgebroken, maar niet bij het kabelgat. Het ondereinde van de mast dat door de gronddoorsnijding schuin is komen te staan, leverde voor de auto zoveel weerstand op, dat deze daardoor over de kop is geslagen.

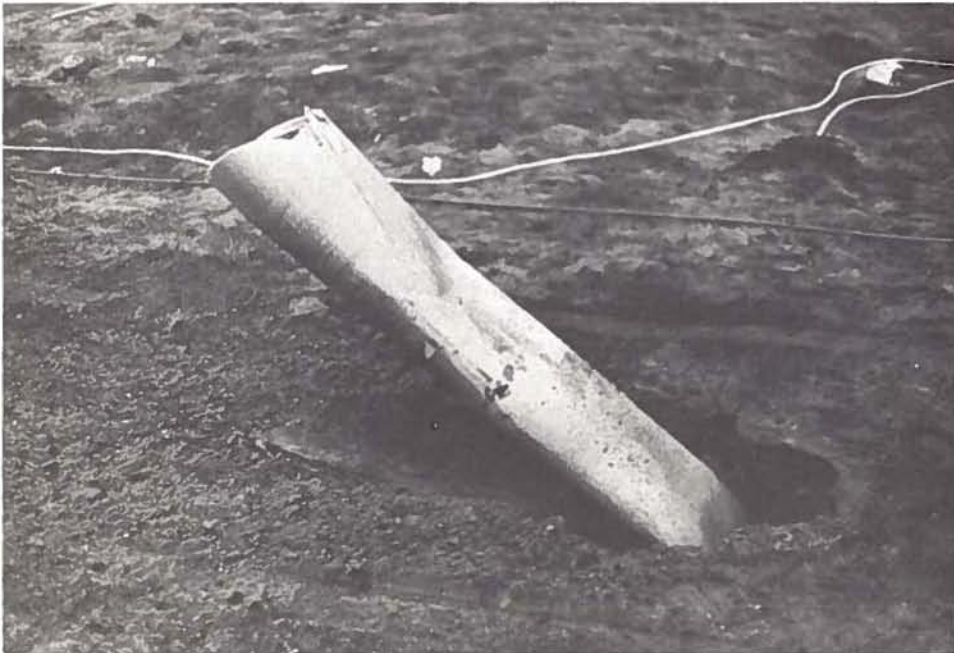
De grotere weerstand van de mast bij hogere botssnelheden is veroorzaakt door het zand in het grondstuk van de mast, evenals het feit dat de masten niet bij het kabelgat zijn gebroken.

Dat bij de zijdelingse testbotsing waarbij de mast niet met zand was gevuld, de mast toch niet bij het kabelgat is gebroken, is deels het gevolg van een ander krachtenspel bij zijdelingse botsingen dan bij frontale botsingen, deels het gevolg van de grotere gronddoorsnijding.



Afbeelding 10.

Bij frontale proeven met 10 m aluminium niet met zand gevulde masten zijn de masten aan de onderzijde van het deurtje gebroken, de grondstukken zijn ca. 30 cm uit de grond getrokken, en ter hoogte van het kabelgat geheel of gedeeltelijk gebroken.



Afbeelding 11.

Bij proeven met met zand gevulde masten brak de mast ook ter hoogte van het deurtje. Het grondstuk werd echter slechts in geringe mate uit de grond getrokken, brak niet, maar vouwde om op maaiveldhoogte.

3.3.4. *Massa van proefvoertuig*

Het verschil in massa tussen de proefvoertuigen die in de proevenserie A, en die welke in de proevenserie B en C zijn gebruikt (ca. 100 kg) heeft in het nadeel gewerkt van de masten beproefd tijdens laatstgenoemde proevenseries. Zowel uit de literatuur over botsproeven als uit de mechanica is nl. bekend dat bij toenemende massa van het proefvoertuig dit voertuig tijdens de botsing een geringere vertraging van de mast ondervindt.

Omdat het breken van de mast een dynamisch proces is waarbij visco-elastische effecten een rol spelen, is het effect van de geringere massa niet zonder meer in een factor uit te drukken. De ten opzichte van proevenserie A beduidend hogere waarden voor de ASI bij de hogere botssnelheden in de proevenserie C kunnen niet uitsluitend het gevolg zijn van het verschil in voertuigmassa, aangezien dit slechts ongeveer 10% bedraagt.

3.3.5. *Registratie*

In Tabel 3 is reeds aangegeven dat de registratie van de gemiddelde voertuigvertraging door middel van filmanalyse die tijdens de proevenserie A is toegepast, ca. 10% lager is dan de elektronische registratie die tijdens de series B en C is toegepast. Dit verschil is geconstateerd tijdens de proevenserie B toen de voertuigvertragingen bij diverse frontale proeven door middel van beide methoden zijn geregistreerd en daarna met elkaar zijn vergeleken. Voor één geval (L26) is dit verschil in Afbeelding 12 grafisch weergegeven. De streeplijn geeft de registratie aan volgens de oude filmanalysemethode zoals die ook ten tijde van de proevenserie A is gebruikt, de stippellijn geeft de elektronische registratie weer. Tevens is hierin door middel van de getrokken lijn aangegeven hoe volgens een verbeterde analysemethode een nauwkeuriger filmanalyse mogelijk is. De voor het berekenen van de ASI benodigde gemiddelde voertuigvertraging is uit de curves bepaald als de gemiddelde vertraging gedurende 50 ms. Het bleek dat de afwijking tussen de waarden voor de gemiddelde vertraging volgens de elektronische registratie en die volgens de filmanalyse 'oude-methode', gemiddeld 10% bedroeg. In Tabel A zijn deze verschillen bij de proevenserie A verdisconteerd.

De invloed van het feit dat in de proevenserie A de laterale vertraging niet gemeten is blijkt voor het berekenen van de ASI niet groot te zijn. Gerekend wordt dat het kleine verschil in de hierboven aangegeven 10% verdisconteerd is.

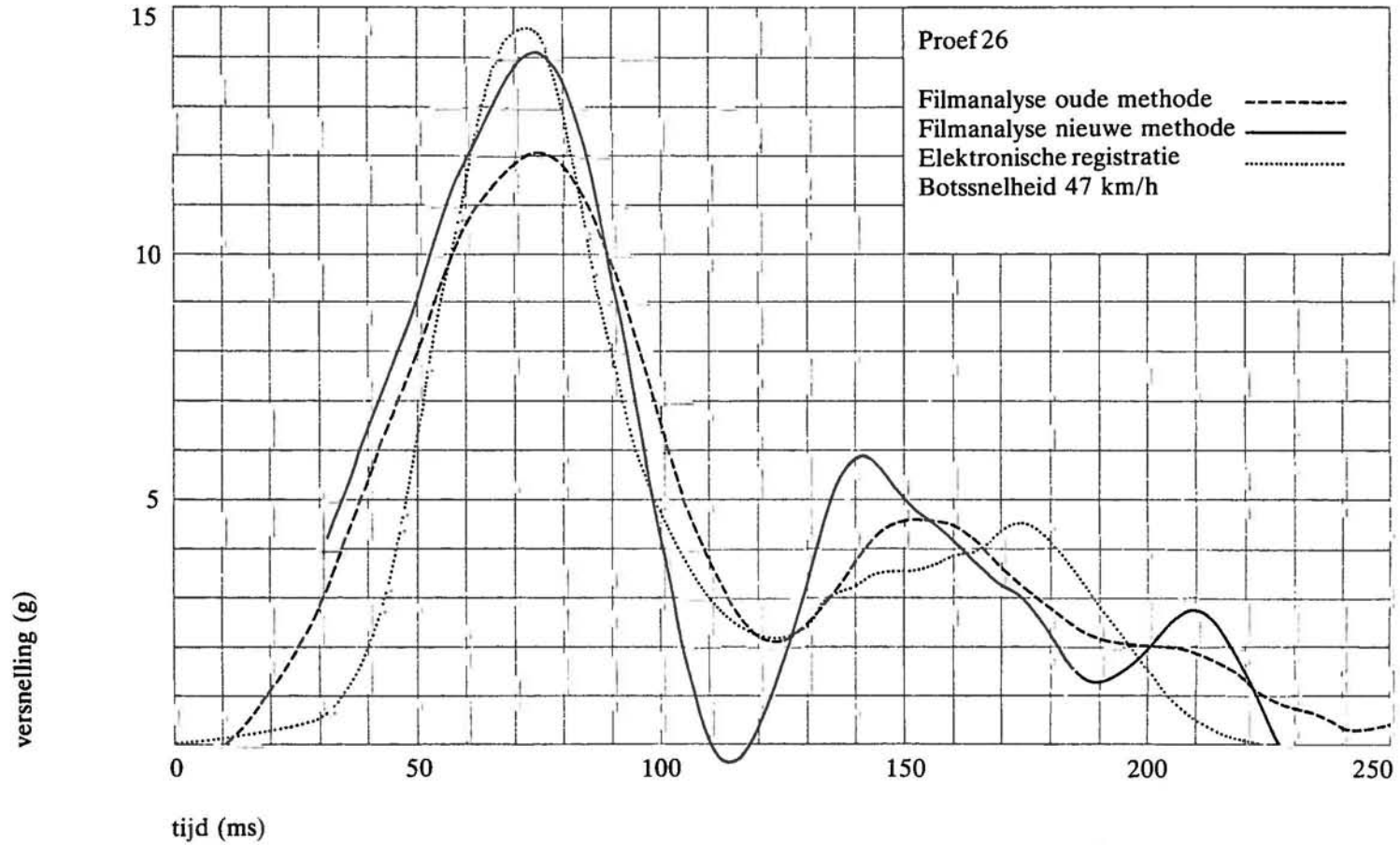
De wijze van registratie heeft hiermee verder geen invloed uitgeoefend op de interpretatie van de ASI-waarden.

3.4. **Discussie**

Ten einde de verschillen in de resultaten van de botsproeven van de proevenseries A en C te kunnen verklaren, is het noodzakelijk aan te geven wat er zich bij een botsing afspeelt.

Bij een aanrijding wordt de mast op buiging belast. Bij grote belasting zal de mast bij het deurtje afbreken.

Bij zijdelingse botsingen zal, omdat de krachten over een grotere lengte (hoogte) gespreid zijn, het resulterende aangrijpingspunt hoger liggen dan bij frontale aanrijdingen. Dit heeft tot gevolg dat bij een zijdelingse aanrijding de mast eerder zal



Afbeelding 12.
 Verragingscurven volgens de elektronische registratie en volgens twee filmanalysemethoden.

afbreken ter hoogte van de *bovenkant* van het deurtje en bij een frontale aanrijding eerder aan de *onderkant* ervan.

Tevens veroorzaakt buiging van de mast een trekkracht op het grondstuk van de mast. Naarmate de weerstand die dit grondstuk ondervindt kleiner is, zal dit gemakkelijker uit de grond worden getrokken. Daarbij kan het grondstuk zover omhoog komen dat het zwakste punt – het gat van de kabelinvoer – ongeveer op maaiveldhoogte komt, waarbij door buiging en afschuiving grote krachten op dit punt worden uitgeoefend en een tweede potentiële breukplaats ontstaat. Als er geen zand in het grondstuk zit, zal het grondstuk gemakkelijker vervormen (bijvoorbeeld knikken) waardoor bij relatief dunne wanddikte een breuk zal worden ingeleid.

Indien ten aanzien van de hierboven geschetste hypothesen de processen bekeken worden die zich bij de botsingen in de proevenseries A en C hebben afgespeeld, blijkt het volgende.

Bij de proevenserie A, *frontale* proeven met 10 m aluminium *niet met zand gevulde* masten (L2, L7, L9, L10) zijn de masten aan de onderzijde van het deurtje gebroken en zijn door de trekkrachten die het gevolg waren van de buiging in de mast, de grondstukken ca. 30 cm uit de grond getrokken. Door de daarna optredende buiging en afschuifkrachten zijn de grondstukken ter hoogte van het kabelgat bij hogere snelheden totaal gebroken en bij lagere snelheden voor ongeveer driekwart. In deze laatste gevallen klapte het grondstuk 90° om, waarna het voertuig er in zijn geheel overheen kon rijden.

Bij de proevenserie C, *frontale* proeven met 10 m aluminium *met zand gevulde* masten (L35, L36, L37, L43) werd de mast ook op buiging belast. Door de buiging is de mast aan de onderzijde van het deurtje gebroken. Door de grote massa van het grondstuk (zandvulling) werd verhinderd dat de mast omhoog getrokken kon worden. Deze zandvulling heeft eveneens voorkomen dat de breuk ter hoogte van het kabelgat (bijvoorbeeld door knikken) voldoende ingeleid kon worden, waardoor er op dit punt weinig breuk geconstateerd is. Een en ander heeft er toe geleid dat de langsvertraging van het voertuig hoog kon oplopen. Het grondstuk is ter hoogte van het kabelgat slechts omgebogen, waardoor het ondereinde van de mast schuin omhoog kwam te staan. Bij de proef met de laagste snelheid (L36) gaf dit onder-einde nog zoveel weerstand, dat het proefvoertuig hierop tot stilstand is gekomen (zie Afbeelding 13).

Bij de andere proeven werd het grondstuk zover in het zand gedrukt, dat het voertuig er geheel overheen kon rijden. Dat bij de proef L36 de waarde van de ASI nog ver onder de één is gebleven (ASI zonder gordel = 0,6), komt door de lage waarde van de verticale vertraging, en door de vervorming van mast en voertuig.

Bij de zijdelingse botsingen van proevenserie C zijn de masten die gebroken zijn, aan de bovenzijde van het deurtje gebroken. Breuk ter hoogte van het kabelgat trad niet op. Het voertuig ondervond doordat het gedeelte van de mast onder de breukplaats niet tegen de grond werd platgedrukt, zoveel weerstand dat het over de kop kon gaan.

Bij een *zijdelingse* botsing tegen een *niet met zand gevulde* lichtmast met afmetingen als in proevenserie C, is te verwachten dat het grondstuk (analoog aan proevenserie A) eerst zover uit de grond getrokken zal worden, dat het kabelgat ongeveer op maaiveldhoogte komt. De mogelijkheid blijft echter aanwezig dat het voertuig (dat



Afbeelding 13.

Bij frontale proeven met 10 m aluminium met zand gevulde masten is het grondstuk ter hoogte van het kabelgat slechts omgebogen, waardoor het ondereinde van de mast schuin omhoog kwam te staan. Door de lage botsnelheid kwam het proefvoertuig hierop tot stilstand.

de buiging en afschuifkracht op het grondstuk zal moeten uitoefenen om dit te doen breken) zoveel weerstand van dit grondstuk ondervindt dat het over de kop zal gaan.

Conclusie

De basisdiameter van de 10 m aluminium masten beproefd tijdens de proevenserie C was kleiner dan die bij de proevenserie A, zodat verondersteld mocht worden dat de masten van de serie C minder weerstand gedurende een botsing zouden opleveren. Dat de masten bij de proevenserie A toch een gunstiger resultaat te zien gaven, kan voornamelijk worden toegeschreven aan twee factoren, nl. aan het niet met zand gevuld zijn van de masten beproefd tijdens de serie A en aan de grotere voertuig-massa bij deze serie.

4. Samenvatting

Er zijn series botsproeven uitgevoerd om na te gaan wat het gedrag van lichtmasten bij (zijdelijke of frontale) botsingen door een personenauto zou zijn. Onderzocht zijn de grootte van de weerstand die het voertuig tijdens de aanrijding van de mast ondervindt, de indeuking van het passagierscompartiment, de ligging van de masten na de aanrijding en de invloed van de elektrische spanning tijdens en na de aanrijding.

De gevonden resultaten dienen met enig voorbehoud beschouwd te worden, aangezien ze gebaseerd zijn op een norm (de ASI) die (nog) niet op een wetenschappelijk geheel verantwoorde manier is vastgesteld. Toch is voor deze norm gekozen omdat het de beste is van die welke tot op heden beschikbaar zijn, aangezien in deze norm de vertragingen van het voertuig in langs-, dwars- en verticale richting zijn samen- gesteld.

Ten einde de weerstand van de masten bij frontale en zijdelingse botsingen uitgedrukt in voertuigvertragingen, onderling te kunnen vergelijken, is voor de berekening van de ASI bij alle proeven de richting van de langsvertraging zo gekozen, dat deze overeenkomt met de bewegingsrichting van het voertuig. Bij zijdelingse botsingen wordt dan echter de kans op ernstig letsel t.o.v. die bij frontale botsingen met dezelfde ASI-waarde, ondergewaardeerd. Met andere woorden: bij zijdelingse botsingen zou een op deze wijze berekende ASI enigszins kleiner dan één moeten zijn, opdat bij een dergelijke botsing geen kans op ernstig letsel bestaat.

Gebleken is dat een personenauto weinig weerstand van de mast ondervindt als het bovengrondse gedeelte van de mast op ongeveer mastveldhoogte gemakkelijk wordt gescheiden van het gedeelte van de mast onder de grond. Dit bleek gerealiseerd te kunnen worden door de masten van een speciale beveiligingsconstructie te voorzien of door de masten aan de voet te laten breken, door gebruik te maken van de materiaaleigenschappen van aluminium.

Alle 10 en 12 m stalen masten voorzien van een schuifconstructie bleken ruimschoots te voldoen aan het criterium dat gesteld was ter bepaling van de grootte van de voertuigvertraging voor personenauto inzittenden zonder autogordels. Een uitzondering vormde een 12 m mast met een extra grote uitleggerlengte van 3 m. De weerstand die deze mast tijdens de botsing opleverde bleek niet te groot te zijn. Van groot belang bij de masten met een schuifconstructie bleek de hoogte van deze constructie boven mastveld te zijn. Deze moet in ieder geval minder dan 10 cm zijn; de toegepaste hoogte van 3 cm bleek bij de botsproeven geen probleem op te leveren.

Op grond van een vergelijking van de resultaten van de proevenserie A en die van de proevenseries B en C wordt aangenomen dat de 10 m aluminium lichtmasten met een

basisdiameter/wanddikte van 175/4 mm voor personenauto-inzittenden *zonder* autogordel zullen voldoen aan het ASI-criterium bij een *frontale* botsing, mits deze masten niet met zand gevuld zijn.

Bij *zijdelingse* botsingen veroorzaken dergelijke masten een samengestelde voertuigvertraging die ongeveer gelijk aan of groter is dan één. De kans op letsel daarbij is, gezien de gevolgde berekeningswijze, groter dan bij vergelijkbare ASI-waarden bij frontale botsingen. Ook is niet uitgesloten dat bij een zijdelingse botsing het voertuig tegen een dergelijke mast over de kop gaat. (Voor inzittenden met autogordel zullen deze 10 m masten bij zijdelingse botsingen weliswaar aan het ASI-criterium voldoen, maar de voorgaande restricties gelden ook hier).

De masten die laatstelijk in proevenserie C zijn beproefd bleken echter nog niet te voldoen aan de 4% uitbuigingsnorm met betrekking tot de statische sterkte. Verwacht mag worden dat door de lengte van de geleidingen van de masten te wijzigen, deze masten uiteindelijk toch aan deze eis zullen kunnen voldoen.

De 12 m aluminium masten zullen bij een aanrijding *niet* voldoen aan het ASI-criterium als de inzittenden van de personenauto geen autogordels dragen.

De enkele proef met de *polyester mast* toonde aan dat deze mast onder de beproefde condities te veel weerstand voor het botsvoertuig opleverde. Voor een lage weerstand dient evenals bij de aluminium masten ook een dergelijke mast op ongeveer maaiveldhoogte af te breken. Bij deze mast, die in verband met de statische sterkte nog zwaarder uitgevoerd zou dienen te worden, is dit niet te verwachten.

Bij de stalen masten met een schuifconstructie is bij twee zijdelingse botsingen een iets te grote *indeuking van de flank* geconstateerd. Rekening houdend met de slechtere kwaliteit van de proefvoertuigen is dit nog wel acceptabel. Bij de aluminium masten is een grotere indeuking gemeten die, ook als rekening wordt gehouden met de kwaliteit van de proefvoertuigen, nauwelijks acceptabel is.

Bij geen van de frontale aanrijdingen is het passagierscompartiment verkleind.

De *indeuking die vallende masten in het dak* van de proefvoertuigen veroorzaakt hebben, heeft niet meer dan 7 cm bedragen, hetgeen een weinig minder is dan een Amerikaanse norm toelaat. Gesteld kan worden dat een vallende mast tot een massa van ca. 150 kg voor inzittenden van voertuigen met een gesloten carrosserie weinig gevaar zal opleveren. Voor inzittenden van voertuigen zonder gesloten carrosserie, waarvan het marktaandeel gering is, kan een vallende mast wel gevaar inhouden.

Wat de *ligging van de masten na de aanrijding* betreft is alleen bij lage botssnelheden te verwachten (ca. 35 km/h en lager) dat weinig-agressieve masten ten gevolge van een aanrijding op de rijbaan terecht zullen kunnen komen. Bij hogere botssnelheden is geen enkele keer geconstateerd dat de mast op de rijbaan terecht is gekomen. Het algemene patroon bij deze hogere snelheden was dat de mast na de aanrijding ongeveer in de baan van het voertuig kwam te liggen.

Uit de proeven is gebleken dat de op het voorschakelapparaat aangesloten *spanning* van 220 V op twee manieren gevaar kan opleveren. In de eerste plaats door vonkvorming in die gevallen waarbij kortsluiting was ontstaan. Dergelijke vonken

kunnen een potentieel brandgevaar vormen indien bijvoorbeeld een benzineleiding geraakt wordt. Bij geen van de proeven is overigens brand ontstaan. In de tweede plaats kan de spanning die of op een blank kabeleind of op het voorschakelapparaat was blijven staan, gevaar opleveren indien men na het ongeval deze plaatsen zou aanraken. Geen enkele keer is evenwel geconstateerd dat er na de aanrijding spanning op de voertuigen of op de lichtmasten is blijven staan. Teneinde de kans op elektrocutie of brand in verband met het hierboven geschetste gevaar te reduceren, zou een beveiliging in de kabel aangebracht kunnen worden. In het buitenland heeft men goede ervaringen met een dergelijke beveiliging opgedaan.

Als wordt uitgegaan van inzittenden van personenauto's die *geen* autogordel dragen kan het volgende worden geconcludeerd:

- 10 en 12 m starre stalen masten zijn voor personenauto's te agressief.
- 10 en 12 m stalen masten voorzien van een schuifconstructie zijn voor personenauto's weinig agressief.
- Van 10 m aluminium masten wordt aangenomen dat ze uitsluitend bij frontale botsingen weinig-agressief te noemen zijn, mits het grondstuk niet met zand gevuld is. Bij zijdelingse botsingen zijn ze te agressief, zeker als wordt rekening gehouden met de grotere kans op letsel dan uit de berekende ASI-waarden mag worden verondersteld, maar ook omdat het gevaar bestaat dat het voertuig over de kop slaat en de indeuking van het passagierscompartiment relatief groot is.
- 12 m aluminium masten zijn voor personenauto's te agressief.

Enige opmerkingen

Het ontwerp van lichtmasten zou met betrekking tot de crash-aspecten minder kritisch bekeken hoeven te worden als ervan kon worden uitgegaan dat *alle* auto-inzittenden gordels droegen. Maar zolang dit nog niet het geval is, bijvoorbeeld omdat de draagplicht niet voor iedereen geldt (bijvoorbeeld achterinzittenden en in auto's van voor 1971), moest in het onderzoek in de eerste plaats worden nagegaan welke lichtmasten bij aanrijdingen door personenauto's waarvan inzittenden *geen* gordels dragen, aan het desbetreffende ASI-criterium voldoen en welke niet.

Voor de goede afloop van een aanrijding tegen een 10 m aluminium mast bleek het essentieel te zijn dat het gedeelte van de mast dat in de grond zit, bij het gat voor de kabelinvoer breekt. Uit de resultaten van de proevenseries A en C bleek dat het breken op deze plaats met grote waarschijnlijkheid werd tegengegaan door de hoeveelheid zand die zich in het grondstuk van de mast bevond. Indien het kabelgat zich, zoals bij de proeven het geval was, ca. 50 cm onder maaiveld bevindt, mag voor de goede afloop van een ongeval het ondereinde van een aluminium mast *niet* met zand gevuld zijn. Indien het kabelgat hoger geplaatst wordt, of als op een andere wijze bewerkstelligd kan worden dat zich ongeveer op maaiveldhoogte een verzwakking bevindt, zal de invloed van het zand in de mast minder groot zijn.

Daar echter de mogelijkheid ontbrak nog een aantal proeven te doen zonder zand in het grondstuk, kon de invloed van het zand niet nader worden gekwantificeerd. Uit de proeven met de aluminium masten is gebleken dat, als de mast bij het deurtje breekt en niet bij het kabelgat, het ondereinde van de mast, dat zich dan nog ca. 60 cm boven maaiveld bevindt, plat tegen de grond gedrukt kan worden. Dit is geconstateerd bij de 10 en 12 m aluminium masten die met zand gevuld waren. Bij frontale

botsingen zal het voertuig in zo'n geval in zijn geheel over dit grondstuk heen kunnen rijden, maar bij zijdelingse botsingen kan dit grondstuk zoveel weerstand opleveren dat het voertuig over de kop zal gaan.

Ten aanzien van de plaats van het kabelgat wordt aangenomen dat de agressiviteit van een aluminium mast afneemt naarmate het kabelgat hoger aangebracht wordt. De proeven hebben geen aanleiding gegeven te veronderstellen dat een andere plaats van het kabelgat en het deurtje in de omtrek de agressiviteit van de mast zal verminderen.

Uit een botsproef is gebleken dat een bij een aanrijding (als gevolg van een fabricagefout) gespleten aluminium mast geheel anders kan afbreken. Hierdoor kunnen niet alleen de botseigenschappen aanmerkelijk worden beïnvloed, maar ook de ligging van de mast na de aanrijding is dan niet voorspelbaar. In hoeverre het hier een uitzondering betreft, kon niet nagegaan worden.

Bij masten met een schuifconstructie werd op basis van twee proeven de indruk verkregen dat bij een minder goed verdichte grond de schuifconstructie iets later afschuift, waardoor de weerstand die de mast ten gevolge van een botsing biedt, enigszins toeneemt.

Het verschil tussen de resultaten van zijdelingse en frontale botsingen, uitgedrukt in de grootte van de voertuigvertraging, wordt groter naarmate de weerstand van de mast toeneemt. Is de weerstand van de mast gering dan zal de ernst van de afloop van deze beide typen botsingen ongeveer dezelfde zijn. Naarmate de weerstand van de mast toeneemt, zal de vertraging die het voertuig van de mast ondervindt bij een zijdelingse botsing sterker toenemen dan bij een frontale. In het algemeen kan gesteld worden dat als een zijdelingse botsing goed afloopt, dit zeker bij een frontale botsing het geval zal zijn.

De twee verschillende typen proefvoertuigen (motor voor en motor achter) gaven tijdens de botsingen geen opmerkelijke verschillen te zien.

Tabellen A, B en C

Proef nr.	Mast						Proefvoertuig		Botsing	
	mate- riaal	l.p.h./ uitl. ¹⁾ (m)	schuif- con- struc- tie	diameter/ wand- dikte (mm)	massa (kg)	uitwijking bij statische beproeving (%) ²⁾	merk en type	massa ³⁾ (kg)	soort	snel- heid (km/h)
L1	Fe	10/1,5	-	178/5	200	2	Opel Rekord 1700	ca. 900	Frontaal	93
L2	AL	10/1,5	-	190/4	62	3	Opel Rekord 1700	ca. 900	Frontaal	66
L3	AL	12/1,5	-	210/5	100	3	Opel Rekord 1700	ca. 900	Frontaal	100
L4	Fe	10/1,5	ja	178/5	175	2	Opel Rekord 1700	ca. 900	Frontaal	78
L5	Fe	10/1,5	-	178/5	200	2	Opel Rekord 1700	ca. 900	Frontaal	105
L6	AL	12/1,5	-	210/5	100	3	Opel Rekord 1700	ca. 900	Frontaal	70
L7	AL	10/1,5	-	190/4	62	3	Opel Rekord 1700	ca. 900	Frontaal	93
L8	Fe	10/1,5	-	152/4,5	160	3	Opel Rekord 1700	ca. 900	Frontaal	82
L9	AL	10/1,5	-	190/4	62	3	Opel Rekord 1700	ca. 900	Frontaal	35
L10	AL	10/1,5	-	190/4	62	3	Opel Rekord 1700	ca. 900	Frontaal	60

¹⁾ l.p.h. = lichtpunthoogte; uitl. = lengte uitlegger.

²⁾ uitwijking in procenten van de lichtpunthoogte (opgave fabrikanten)

³⁾ niet gemeten, cataloguswaarde

⁴⁾ ok = onderkant; bk = bovenkant

Tabel A.

Gegevens betreffende masten, proefvoertuigen, soort en snelheid botsing, alsmede de resultaten betreffende ASI (zonder en met gordel), vervorming masten en proefvoertuigen bij proevenreeks A (L1 t/m L10).

SI	Mast		Proefvoertuig				Bijzonderheden		
	onder met ordel gordel	afge- scho- ven	gebroken bij kabel- gat	bij deur ok/bk ⁴)	omgeknikt op maaiveld	tegen mast tot stil- stand	indeuking (uitwendig)		
						front (cm)	flank (cm)	dak (cm)	
0	1,1	-	-	-	-	48	-	-	mast geheel uit grond getrokken
7	0,4	-	ja	ok	-	40	-	6	
5	0,9	-	-	ok	-	50	-	-	
7	0,4	ja	-	-	-	41	-	7	aanhaalmoment 250 Nm.
3	1,3	-	-	-	-	62	-	-	mast geheel uit grond getrokken
6	1,0	-	-	ok	-	52	-	-	
6	0,4	-	ja	ok	-	37	-	-	
9	1,1	-	-	-	-	57	-	-	mast geheel uit grond getrokken
9	0,5	-	-	ok	-	40	-	-	
0	0,6	-	-	ok	-	40	-	2	

Proef nr.	Mast						Proefvoertuig		Botsing	
	mate- riaal	l.p.h./ uitl. ¹⁾ (m)	schuif- con- struc- tie	diameter/ wand- dikte (mm)	massa (kg)	uitwijking bij statische beproeving (%) ²⁾	merk en type	massa ³⁾ (kg)	soort	snel- heid (km/h)
LT	AL	10/1	-	190/4	onb.	onb.	Opel Kadett	740	Zijdelings	53
L11	Fe	12/1,5	ja*	178/4,5	181	3,2	Opel Kadett	710	Zijdelings	23
L12	Fe	10/1,5	-	165/4,5	130	2,7	Opel Kadett	790	Zijdelings	55
L13	Fe	12/1,5	ja*	178/4,5	181	3,2	Opel Kadett	720	Zijdelings	63
L14	Fe	12/1,5	ja	178/4,5	181	3,2	Opel Kadett	785	Zijdelings	57
L15	Fe	12/1,5	ja	178/4,5	181	3,2	Volkswagen 1200	790	Zijdelings	40
L16	Fe	10/1,5	ja	165/4,5	137	2,7	Volkswagen 1200	790	Zijdelings	42
L17	Fe	10/2x1,5	ja	165/4,5	146	onb.	Volkswagen 1200	840	Zijdelings	40
L18	AL	12/1,5	-	250/4	113	3,9	Volkswagen 1200	835	Frontaal	47
L19	Fe	12/1,5	ja	178/4,5	181	3,2	Volkswagen 1200	820	Frontaal	46
L20	AL	12/1,5	-	250/4	113	3,9	Opel Kadett	815	Zijdelings	27
L21	AL	10/1,5	-	220/3,75	84	2,9	Volkswagen 1200	835	Zijdelings	45
L22	Pol.	10/1,5	-	275/10	128	5,4	Volkswagen 1200	765	Zijdelings	45
L23	AL	10/1,5	-	200/4	77	4,0	Volkswagen 1300	785	Zijdelings	43
L24	Fe	12/1,5	ja	178/4,5	181	3,2	Opel Kadett	815	Zijdelings	25
L25	Fe	12/3	ja	219/4	215	4,0	Opel Kadett	755	Zijdelings	41
L26	AL	12/3	-	275/4	132	4,4	Volkswagen 1300	885	Frontaal	47
L27	AL	10/1,5	-	220/3,75	84	2,9	Volkswagen 1200	765	Frontaal	26
L28	AL	10/1,5	-	220/3,75	84	2,9	Volkswagen 1200	835	Frontaal	43
L29	AL	10/1,5	-	220/3,75	84	2,9	Volkswagen 1200	830	Frontaal	61
L30	AL	10/1,5	-	200/4	77	4,0	Volkswagen 1200	805	Frontaal	46

¹⁾ l.p.h. = lichtpunthoogte; uitl. = lengte uitlegger

²⁾ uitwijking in procenten van de lichtpunthoogte, waarden zijn proefondervindelijk bepaald

³⁾ door weging bepaald

⁴⁾ ok = onderkant; bk = bovenkant

* schuifconstructie 10 cm boven maaiveld

Tabel B.

Gegevens betreffende masten, proefvoertuigen, soort en snelheid botsing, alsmede de resultaten betreffende ASI (zonder en met gordel), vervorming masten en proefvoertuigen bij proevenserie B (LT, L11 t/m L30).

SI	Mast				Proefvoertuig				Bijzonderheden	
	nder met rdel gordel	afge- scho- ven	gebroken bij kabel- gat	bij deur ok/bk ⁴)	omgeknikt op maaiveld	tegen mast tot stil- stand	indeuking (uitwendig)			
						front (cm)	flank (cm)	dak (cm)		
b.	onb.	-	-	ok	-	ro.**)	-	17	-	**) roll over; grond weinig verdicht
8	0,5	ja	-	-	-	-	-	18	-	grond weinig verdicht
5	2,0	-	-	-	-	ja	-	55	-	
4	1,4	ja	-	-	-	-	-	75	-	voertuig op onderflens tot stilstand
5	0,3	ja	-	-	-	-	-	18	5	
3	0,2	ja	-	-	-	-	-	10	-	
3	0,2	ja	-	-	-	-	-	11	6,5	
3	0,2	ja	-	-	-	-	-	7	7	
3	0,8	-	-	ok	-	-	11	-	-	ASI berekend uit high speed film; par. 1.8.
4	0,2	ja	-	-	-	-	5	-	1	ASI berekend uit high speed film; par. 1.8.
1.1	< 1	-	-	-	-	ja	-	32	-	ASI geschat; zie par. 1.8.
1	ca. 1	-	-	-	-	ja	-	35	-	ASI geschat; zie par. 1.8.
1	ca. 1	-	-	-	-	ja	-	43	-	ASI geschat; zie par. 1.8.
1	ca. 1	-	-	-	-	ja	-	38	-	ASI geschat; zie par. 1.8.
5	0,3	ja	-	-	-	-	-	13	3,5	
1	0,6	ja	-	-	-	-	-	30	-	
7	1,0	-	-	ok	-	-	10	-	-	
3	0,7	-	-	ok	-	ja	7	-	-	
3	0,7	-	-	-	ja	ja	8	-	-	
4	0,8	-	-	-	ja	ja	10	-	-	
0	0,6	-	-	ok	-	-	9	-	-	

Proef nr.	Mast						Proefvoertuig		Botsing	
	mate- riaal	l.p.h./ uitl. ¹⁾ (m)	schuif- con- struc- tie	diameter/ wand- dikte (mm)	massa (kg)	uitwijking bij statische beproeving (%) ²⁾	merk en type	massa ³⁾ (kg)	soort	snel- heid (km/h)
L31	AL	10/1,25	–	175/4	63	4,4	Opel Kadett	740	Zijdelings	41
L32	AL	10/1,25	–	175/4	63	4,4	Opel Kadett	820	Zijdelings	30
L33	AL	10/1,25	–	175/4	63	4,4	Opel Kadett	765	Zijdelings	60
L34	AL	12/1,25	–	200/5	100	4,5	Opel Kadett	740	Zijdelings	45
L35	AL	10/1,25	–	175/4	63	4,4	Opel Kadett	705	Frontaal	64
L36	AL	10/1,25	–	175/4	63	4,4	Opel Kadett	740	Frontaal	30
L37	AL	10/1,25	–	175/4	67	4,2	Opel Kadett	730	Frontaal	50
L38	AL	12/1,25	–	200/5	100	4,5	Opel Kadett	695	Frontaal	67
L39	AL	12/1,25	–	200/5	100	4,5	Opel Kadett	740	Frontaal	49
L40	AL	10/1,25	–	175/4	63	4,4	Opel Kadett	815	Zijdelings	54
L41	AL	10/1,25	–	175/4	63	4,4	Opel Kadett	810	Zijdelings	50
L42	AL	10/1,25	–	175/4	63	4,4	Opel Kadett	780	Zijdelings	29
L43	AL	10/1,25	–	175/4	63	4,4	Opel Kadett	780	Frontaal	76

¹⁾ l.p.h. = lichtpunthoogte; uitl. = lengte uitlegger

²⁾ uitwijking in procenten van de lichtpunthoogte, waarden zijn proefondervindelijk bepaald.

³⁾ door weging bepaald

⁴⁾ ok = onderkant; bk = bovenkant

***) roll over

Tabel C.

Gegevens betreffende masten, proefvoertuigen, soort en snelheid botsing, alsmede de resultaten betreffende ASI (zonder en met gordel), ver vorming masten en proefvoertuigen bij proevenserie C (L31 t/m L43).

.SI	Mast					Proefvoertuig			Bijzonderheden	
	nder met rdel gordel	afge- scho- ven	gebroken kabel- gat	bij deur ok/bk*)	omgeknikt op maaiveld	tegen mast tot stil- stand	indeuking (uitwendig)			
						front (cm)	flank (cm)	dak (cm)		
4	0,8	-	-	bk	-	ro.**)	-	28	-	Zand in mast tot 50 cm boven maaiveld
9	0,5	-	-	-	-	ja	-	26	-	Zand in mast tot 50 cm boven maaiveld
4	0,8	-	-	bk	-	ro.**)	-	37	3	Zand in mast tot 50 cm boven maaiveld
7	1,0	-	-	bk	-	ja	-	32	-	
2	0,7	-	-	ok	-	-	33	-	-	
5	0,4	-	-	ok	-	ja	33,5	-	-	
3	0,5	-	-	ok	-	-	34	-	-	
7	1,0	-	-	bk	-	-	38	-	4	
4	0,8	-	-	ok	-	ged.	30	-	< 1	
3	0,8	-	-	bk	-	ja	-	33	7	Mast t.g.v. fabricageproces over gehele lengte gespleten.
7	1,0	-	-	bk	-	ro.**)	-	30	33	
9	0,5	-	-	-	-	ja	-	23	-	
1	0,6	-	-	ok	-	-	28	-	-	

Geraadpleegde literatuur

CBS. Jaarstatistiek verkeer en vervoer. Centraal Bureau voor de Statistiek, 1971.

Edwards, T. C. (1969). The design and performance of safer luminaire supports. In: Highway Safety; Proceedings of the Second Western Summer Meeting, 1969. HRB Special Report 107. Highway Research Board, 1970.

Garrett, J. W. & Tharp, K. J. (1969). Development of improved methods for the reduction of traffic accidents. National Cooperative Highway Research Program Report 79. Chapter 4. Highway Research Board, 1969.

Hignet, H. J. (1969). A sideway impact test into a 12.2 m (40 ft) lighting column fitted with a break-away joint. RRL Report LR 241. Road Research Laboratory, 1969.

Hutchinson, J. W. & Kennedy, T. W. (1967). Safety considerations in medium design. In: Geometric aspects of highways. Highway Research Record No. 162. Highway Research Board, 1967.

NNI (z.j.). Ontwerpnorm lichtmasten. NEN-EN 40. Nederlands Normalisatie-instituut. (Nog niet gepubliceerd).

Ross, H. E. & Post, E. R. (1972a). Criteria for guardrail need and location on embankments. Volume I: Development of criteria. Research Report 140-4. Texas Transportation Institute, 1972.

Ross, H. E. & Post, E. R. (1972b). Tentative criteria for the design of safe sloping culvert grates. Texas Transportation Institute, 1972.

RWS (1972). Eisen, waaraan lichtmasten dienen te voldoen. Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde, 1972.

RWS (1974). Aangepaste normen voor lichtmasten. Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde, 1974.

Slechter, A. (1971). The United States 4000 lb. experimental safety vehicle-performance specification. In: Report on the First International Technical Conference on Experimental Safety Vehicles 1971, pp. 24-45. National Highway Traffic Safety Administration, Department of Transportation, 1971.

SWOV (ir. H. Botma) (1971). Verwerking films van Werkgroep Lichtmasten. Intern Memorandum. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV. (Niet gepubliceerd).

SWOV (ir. H. Botma) (1972). Verwerken data van high-speedfilm van botsproeven. Intern Memorandum. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV. (Niet gepubliceerd).

SWOV (C.C. Schoon) (1973). Obstakels in wegbermen; Een overzicht en beschrijving van in de literatuur beschreven onderzoek omtrent het gedrag bij botsingen met vaste voorwerpen die voorkomen in zones langs de rijbaan + Tabellen en afbeeldingen. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, 1973.

SWOV (C. C. Schoon) (1975). Onderzoek naar het gedrag van lichtmasten gedurende zijdelingse en frontale aanrijdingen. Conceptrapport t.b.v. de BOWG Obstakels in wegbermen. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, 1975. (Niet gepubliceerd).

SWOV (C. C. Schoon; D. J. R. Jordaan & W. H. M. van de Pol) (1976). Stalen en aluminium lichtmasten; Een nadere beschouwing van een aantal oriënterende botsproeven met personenauto's, die, in opdracht van de Rijkswaterstaatswerkgroep Lichtmasten, in 1971 gehouden zijn op De Vlasakkers te Amersfoort. Herziene versie. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, 1976.

Werkgroep Lichtmasten (1972). Obstakelwerking Lichtmasten. Nota nr. 72-09. Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde, 1973.

Verwante SWOV-publikaties en rapporten

Obstakels in wegbermen

SWOV (1968). Proeven 'uit'-borden. Intern memorandum. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, 1968. (Niet gepubliceerd).

Pol, W. H. M. van de & Slop, ir. M. (1969). Flexibele geleiderailconstructies en lichtmasten in middenbermen. *Wegen* 43 (1969) (dec.) 649: 358 t/m 361.

Blokpoel, A. (1971). Verkeersongevallen tegen vaste voorwerpen; Een analyse van beschikbare verkeersongevalcijfers. Intern memorandum. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, 1971. (Niet gepubliceerd).

Blokpoel, A. & Klei, H. van der (1971). Moet boom langs de weg verdwijnen; Botsingen tegen obstakels, een analyse van beschikbare ongevalcijfers. *Wegen* 45 (1971) (okt.) 671: 279 t/m 284.

Flury, ir. F. C. & Kampen, ir. L. T. B. van (1971). Eenzijdige ongevallen; Beschouwingen van onderzoek. Intern Memorandum. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, 1971. (Niet gepubliceerd).

Flury, ir. F. C. (1971). Verkeersongevallen en obstakels. *Verkeerstechniek* 22 (1971) 1: 34 t/m 35.

Paar, ir. H. G. (1972). Beveiligingsconstructies op kunstwerken en obstakelbeveiliging; 1. Wetenschappelijk Onderzoek. In: Verslag Verkeerstechnische leergang ANWB, 1972, blz. 48 t/m 59. Koninklijke Nederlandsche Toeristenbond ANWB, 1973.

Schreuder, dr. ir. D. A. (1972). Bermbeveiligingen en lichtmasten. *Verkeerstechniek* 23 (1972) 1: 22 t/m 25.

Jordaan, D. J. R.; Pol, W. H. M. van de & Schoon, C. C. (1973). Praatpalen; Een beschrijving van een aantal ad-hoc proeven in opdracht de Rijkswaterstaatswerkgroep 'Bermbeveiligingen', gehouden in 1971 op De Vlasakkers te Amersfoort. Intern Memorandum. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, 1973. (Niet gepubliceerd).

Jordaan, D. J. R.; Pol, W. H. M. van de & Schoon, C. C. (1973). Obstakelbeveiligers bij beveiligingsconstructies in aardebanen en ter voorkoming van enkelvoudig voorkomende obstakels; Een beschrijving van een aantal proeven in opdracht van de Rijkswaterstaatswerkgroep 'Bermbeveiligingen' gehouden in 1971/1972 op De

Vlasakkers te Amersfoort. Intern Memorandum. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, 1973. (Niet gepubliceerd).

SWOV (C. C. Schoon) (1973). Obstakels in wegbermen; Een overzicht en beschrijving van in de literatuur beschreven onderzoek omtrent het gedrag bij botsingen met vaste voorwerpen die voorkomen in zones langs de rijbaan + Tabellen en afbeeldingen. SWOV-rapport. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, 1973.

Schoon, C. C. (1975). Obstakels in wegbermen; Een overzicht en beschrijving van in de literatuur beschreven onderzoek omtrent het gedrag bij botsingen met vaste voorwerpen die voorkomen in zones langs de rijbaan. *Wegen* 49 (1975) (april) 713: 124 t/m 130.

SWOV (C.C. Schoon; D. J. R. Jordaan & W. H. M. van de Pol) (1976). Stalen en aluminium lichtmasten; Een nadere beschouwing van een aantal oriënterende botsproeven met personenauto's die, in opdracht van de Rijkswaterstaatswerkgroep Lichtmasten, gehouden zijn op De Vlasakkers te Amersfoort. Herziene versie. SWOV-rapport. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, 1976.

Schoon, C.C. (1976). Het gedrag van lichtmasten bij aanrijdingen van personenauto's en de consequenties daarvan. In: SWOV-congres Toekomst in veiligheid: Programma en teksten van de bijdragen voor het SWOV-congres Toekomst in veiligheid, gehouden op 18 mei 1976 in het Internationaal Congrescentrum RAI te Amsterdam. Publikatie 1976-4N. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, 1976.

Flury, ir. F. C. (1976). Veiligheidseconomische beschouwing van verkeersobstakels. Intern memorandum. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, 1976. (Niet gepubliceerd).

SWOV (ing. C. C. Schoon & ir. A. Edelman) (1976). Lichtmasten: Onderzoek naar het gedrag van lichtmasten bij zijdelingse en frontale botsproeven met personenauto's. Publikatie 1976-6N. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, 1976.

SWOV (ing. C. C. Schoon & ir. A. Edelman) (1976). Gevaren bij het omvallen van lichtmasten: Overwegingen bij het plaatsen van voor personenauto's weinig agressieve lichtmasten. Publikatie 1976-7N. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, 1976.

Bermbeveiliging

Ek, ir. J. C. P. van (1964). Metingen en registratie van voertuigen bij beproeving van middenbermbeveiligingsconstructies. Intern memorandum. SWOV, 1964.

Asmussen, ir. E. & Flury, ir. F. C. (1965). Middenbermbeveiliging. *Wegen* 39 (1965) (okt.) 599: 250 t/m 260.

SWOV (ir. F. C. Flury) (1967). Discontinuïteiten in beveiligingsconstructies voor bermen en kunstwerken. Rapport 67-2. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, 1967.

Thoënes, ir. E. & Slop, ir. M. (1969). SWOV-onderzoek leidde tot flexibele en snel te repareren geleiderailconstructies. *Wegen* 43 (1969) okt. 647: 296 t/m 304.

SWOV (ir. M. Slop) (1970). Bermbeveiliging; Een beschrijving van de ontwikkelde geleiderailconstructies. Rapport 1970-1. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, 1970.

Asmussen, ir. E. (1970). Bermbeveiliging(sconstructies). *Verkeerstechniek* 21 (1970) 6 : 301 t/m 305.

Asmussen, ir. E. (1970). Bermbeveiligingsconstructies. In: *Verkeerstechnische leergang ANWB*, 1970, blz. 12 t/m 18. Koninklijke Nederlandsche Toeristenbond ANWB, 1970.

Beukers, B. & Asmussen, E. (1972). Roadside safety structures; Research and Applications. Report Question IV: The road in relation to traffic requirements. XIVth World Congress, Prague, 1971. Association Internationale Permanente des Congrès de la Route, Paris, 1972.

Paar, H. G. (1973). Crash-barrier research and application in the Netherlands. In: *Traffic safety barriers and lighting supports. Highway Research Record No. 460*, pp. 40-48. Highway Research Board, 1973.

Flury, F. C. & Paar, H. G. (1973) Crash barrier research in the Netherlands. *Accid. Anal. & Prev.* 5 (1973) 3 (September): 215-222.