

STALEN EN ALUMINIUM LICHTMASTEN

Een nadere beschouwing van een aantal oriënterende botsproeven met personenauto's, die in opdracht van de Rijkswaterstaatwerkgroep Lichtmasten in 1971 gehouden zijn op "De Vlasakkers" te Amersfoort

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV
Afdeling Crash- en Post-crashonderzoek

R-76-3
Voorburg, april 1976

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

INHOUD

VOORWOORD	2
1. INLEIDING	4
1.1. Doel van de proeven	4
1.2. Testcriteria ten aanzien van de agressiviteit	5
1.3. Nadere beschouwing van de testcriteria	6
1.3.1. De weerstand die het proefvoertuig ondervindt	6
1.3.2. De indeuking van het dak door de vallende mast	9
1.3.3. De ligging van de mast(delen) na de botsing	9
2. OPZET PROEVENPROGRAMMA	10
2.1. Proefterrein	10
2.2. Proefvoertuigen	10
2.3. Beproefde lichtmasten	10
2.4. Registratie	11
3. HET VERLOOP VAN DE PROEVEN	12
3.1. Algemeen verloop	12
3.2. Bijzonderheden in de afloop van de proeven	14
3.2.1. Stalen masten met lichtpunthoogte 10 m	14
3.2.2. Aluminium masten met lichtpunthoogte 10 m	16
3.2.3. Aluminium masten met lichtpunthoogte 12 m	18
4. NABESCHOUWING	21
4.1. Algemeen	21
4.2. Discussie van de resultaten	22
4.2.1. Stalen masten	22
4.2.2. Aluminium masten	23
4.2.3. Samenvatting	24
LITERATUURLIJST	26
Afbeeldingen	28 t/m 38
Tabellen	39 t/m 43
Grafieken	44 t/m 53

VOORWOORD

De hieronder beschreven beperkte serie proeven is gehouden in opdracht van de Rijkswaterstaatwerkgroep Lichtmasten. Doel van de proeven was deze werkgroep op zeer korte termijn een indicatie te geven omtrent het toepassen van aluminium of stalen lichtmasten en wel vanuit een oogpunt van verkeersveiligheid, met name met betrekking tot personenauto's.

In hoofdstuk 1 van dit rapport is het doel van deze serie proeven beschreven en zijn de testcriteria neergelegd.

Het proevenprogramma is omschreven in hoofdstuk 2.

In hoofdstuk 3 volgt de beschrijving van de gehouden proeven.

Ten slotte wordt in hoofdstuk 4 een nabeschouwing gegeven van de gehouden proeven, waarbij de verkregen resultaten ter discussie gesteld worden.

Alle gegevens omtrent de resultaten van de proeven zijn in de vorm van tabellen, afbeeldingen en grafieken toegevoegd.

De botsproeven werden gehouden op het terrein "De Vlasakkers" te Amersfoort, dat ter beschikking werd gesteld door het Ministerie van Defensie. Organisatorische medewerking aldaar werd verleend door Adjudant-Onderofficier-Instructeur J.M. Haazen (Cavalerie).

Door het Laboratorium voor Grondmechanica te Delft zijn vóór elke proef metingen verricht om de grondweerstand rondom de lichtmasten vast te stellen.

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-speedfilm met betrekking tot de optredende snelheden en vertragingen werd verzorgd door het Centraal Technisch Instituut TNO te Delft.

Het ingraven van de masten, de grondverdichtingswerkzaamheden en de overige terreinwerkzaamheden werden verricht door de Fa. Gebr. Kramer te Elst (Utrecht).

De te beproeven lichtmasten werden geleverd door de volgende fabrikanten:

de N.V. Nederlandsche Aluminium Maatschappij te Utrecht voor de aluminium lichtmasten;

de N.V. Fabriek en Handelsbureau "Nederland" te Haarlem voor de stalen lichtmasten;

Nolte Mastenfabriek N.V. te Maarheeze voor de stalen lichtmast met slipconstructie.

Een concept-rapport over deze botsproeven is samengesteld door D.J.R. Jordaan in samenwerking met ing. W.H.M. van de Pol en ing. C.C. Schoon, allen werkzaam op de SWOV-afdeling Crash- en Post-crashonderzoek. Gedeelten van dit rapport zijn in een eerder stadium reeds gepubliceerd in het rapport van de Rijkswaterstaat-werkgroep Lichtmasten: Obstakelwerking Lichtmasten, Nota nr.72-09, Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde, 's-Gravenhage (1973). Een nadere beschouwing van de botsproeven is noodzakelijk geworden doordat enerzijds nieuwe criteria ten aanzien van de agressiviteit van lichtmasten ter beschikking van de onderzoekers gekomen zijn en anderzijds enige bestaande criteria herzien konden worden.

De in dit verslag beschreven proeven hadden een orienterend karakter en liepen vooruit op breder opgezet onderzoek.

In de periode van december 1973 tot januari 1975 heeft de SWOV een uitgebreid lichtmastenonderzoek uitgevoerd. De resultaten van dit onderzoek zullen in een apart rapport worden neergelegd.

1. INLEIDING

1.1. Doel van de proeven

In de voorlopige uitgaven van de ontwerprichtlijnen "Bermbeveiligingen in aardebanen" en "Bermbeveiligingen op kunstwerken" d.d. 30 augustus 1970 werd gesteld, dat starre obstakels binnen een afstand van 10 m vanuit de binnenkant van de kantstreep van de rijbanen van autosnelwegen dienden te worden afgeschermd door een stalen geleiderailconstructie. Het motief hiervoor was, dat de agressiviteit van starre obstakels bij botsingen van personenauto's met deze obstakels dermate groot is, dat zeer zware beschadiging van het voertuig en/of ernstig letsel voor de inzittenden zouden kunnen optreden.

Op grond van het bovenstaande en van uitkomsten, verkregen uit de praktijk van botsingen met de tot 1971 geplaatste typen stalen lichtmasten, kon worden gesteld, dat deze als starre obstakels dienden te worden beschouwd.

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

De voornaamste doelstelling van deze kleine serie proeven was de Rijkswaterstaatwerkgroep Lichtmasten op korte termijn te kunnen informeren over de vraag, of aluminium lichtmasten, stalen lichtmasten met schuifconstructie en stalen lichtmasten van lichte constructie tot de starre obstakels dienen te worden gerekend. Met andere woorden: vertonen genoemde lichtmasten bij botsingen een zodanig agressieve werking ten aanzien van personenauto's, dat zij moeten worden afgeschermd?

1.2. Testcriteria ten aanzien van de agressiviteit voor personen-
auto's

Met betrekking tot het gedrag van de beproefde lichtmasten zijn uit de resultaten van de proeven de volgende punten beoordeeld (zie ook SWOV, 1972^a):

1. De grootte van de weerstand die het proefvoertuig ten gevolge van de aanrijding ondervindt. Deze weerstand kan worden uitgedrukt in de voertuigvertraging en/of het verschil in snelheid van het voertuig voor en na de botsing en/of de door de lichtmast opgenomen botsenergie.
2. De indeuking van het dak van het voertuig door de vallende mast. De diepte van de indeuking van het dak van het proefvoertuig, veroorzaakt door de vallende mast, is mede bepalend voor de kans op letsel voor de inzittenden.
3. De ligging van de mast, c.q. de mastdelen, na de botsing. Hierbij is het van belang vast te stellen, of de mast of delen ervan in de berm, op de eigen rijbaan van het voertuig of op de rijbaan van het tegemoet komende verkeer terecht komen.

1.3. Nadere beschouwing van de testcriteria

1.3.1. De weerstand die het proefvoertuig ondervindt

A. 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).

De formule, afgeleid in Ross & Post (1971), 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

Omdat bij de botsproeven van de SWOV de laterale vertraging niet is gemeten, komt in de formule de daarbij behorende term $\frac{g_{lat}}{g_{lat_a}}$ te vervallen.

De in dit rapport vermelde waarden voor ASI zullen daarom in de meeste gevallen iets lager uitvallen dan wanneer de volledige formule van Ross & Post gehanteerd zou zijn.

In de tellers van de formule worden de geregistreeerde voertuigvertragingen ingevuld. Als waarden voor deze vertragingen worden uit de vertragingcurven (zie grafieken 1 t/m 10) 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 serie proeven aan toegevoegd dat de maxima van de beide perioden - nl. voor de longitudinale en de verticale vertraging - binnen een tijdsinterval van 50 ms

moesten liggen. Bij het aannemen van deze voorwaarde is er van 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 ASI dan niet groter wordt dan één, duidt dit erop, dat de inzittenden van het voertuig niet ernstig gewond zullen raken.

B. Snelheidsverlies

Een andere methode om de ernst van een botsing te bepalen is het snelheidsverlies van de auto tijdens de botsing als maatstaf te nemen. Dit verlies van snelheid (Δv) wordt bepaald uit het verschil tussen de snelheid vóór de botsing en die na de botsing. Daarom kan deze methode alleen gebruikt worden bij botsingen met een relatief korte duur (bv. botsingen tegen palen of masten). De snelheid na de botsing werd bepaald op het moment dat de vertraging van het voertuig in de vertragingcurve voor de eerste keer de nulwaarde bereikte.

Bij het vaststellen van een "acceptabele" waarde van Δv kan ondermeer naar een onderzoek van Patrick (1967) verwezen worden. Zijn studie en die van anderen wees uit dat, bij botsingen van personenauto's tegen starre voorwerpen, inzittenden zonder autogordels geen letsel opliepen, als het snelheidsverlies tijdens de botsing niet meer bedroeg dan 18 km/h. Deze waarde kan gehanteerd worden bij het beoordelen van het maximaal toegestane snelheidsverlies van de proefvoertuigen tijdens de botsing.

C. Opgenomen botsenergie

Weer een andere methode om de ernst van een botsing te bepalen is, volgens Rowan & Edwards (1969), het berekenen van de verandering

van de hoeveelheid beweging (Δp) ten gevolge van de botsing. Deze Δp is gelijk aan de impuls die de mast op het voertuig uitoefent en deze is weer de kracht bij een bepaalde duur van de botsing ($\Delta p = \sum F \cdot \Delta t$).

Volgens Edwards (1970) geeft de verandering van de hoeveelheid beweging Δp - deze is het produkt van de voertuigmassa m en het snelheidsverlies Δv gedurende de botsing ($\Delta p = m \cdot \Delta v$) - een indicatie ten aanzien van de kracht die de paal op het voertuig uitoefent, en daarmee van de ernst van de botsing (Δp is volgens Edwards - bij botsingen van gelijke voertuigen tegen gelijke masten - min of meer een constante bij verschillende botssnelheden). De in de formule voorkomende Δv is, evenals bij de methode die onder B. beschreven is, het verschil tussen de snelheden vóór en na de botsing. Hieruit volgt, dat ook de methode van Rowan & Edwards alleen geschikt is voor proeven met palen en masten.

Edwards (1970) beveelt als maximale "acceptabele" waarde voor $\Delta p = 4900$ Ns (Amerikaans: 1100 lb-sec) aan, wanneer de inzittenden van het voertuig geen autogordel dragen.

Slotopmerkingen

Alle genoemde normen dienen met de nodige omzichtigheid gehanteerd te worden, omdat nog geen enkele norm op wetenschappelijk verantwoorde wijze vastgesteld kon worden. De SWOV is het meest gerporteerd voor de ASI-norm, aangezien deze bij de meeste botsproeven hanteerbaar is. Δv en Δp zijn bij botsingen van langere duur moeilijk of zelfs niet toepasbaar, doordat de remweg van het voertuig dan te lang is. De relatie tussen Δv of Δp en de uitwerking van de botsing op de inzittenden is dan namelijk moeilijk of niet te bepalen. De uitkomsten voor ASI, Δv en Δp zijn ter onderlinge vergelijking naast elkaar gesteld in tabel 5 en komen verder ter sprake in par. 4.2.

Bij deze serie proeven zijn de snelheden en vertragingen bepaald door middel van analyse van de high-speedfilm (400 beelden per seconde). 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 opgezet (zie grafieken 1 t/m 10). **Voor de procedure die bij de verwerking gevolgd is, zie SVOV (1972^b). Bij de vertraginggrafieken zijn naast de botssnelheden ook de snelheden vermeld op het punt dat de vertraging voor de eerste maal nul was. Deze laatste snelheden worden beschouwd als de uitrijnsnelheden na de botsing.**

1.3.2. De indeuking van het dak door de vallende mast

Een ten gevolge van de botsing afgebroken of afgeschoven mast kan op het dak van de auto terecht komen en daar een indeuking veroorzaken. 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 mag bedragen dan ca. 8 cm (3 inches). Deze eis lijkt ook in de Nederlandse situatie bruikbaar. Voorzover indeuking van het dak plaatsvond, is de diepte ervan vermeld in tabel 5.

1.3.3. De ligging van de mast(delen) na de botsing

Een mast die ten gevolge van de botsing afbreekt of afgeschoven wordt, valt en kan daardoor gevaar opleveren voor kwetsbare verkeersdeelnemers zoals voetgangers, fietsers en bromfietzers. Ook kan de mast op de rijbaan terecht komen en daar eveneens gevaar opleveren voor de weggebruikers. Na elke proef werd de ligging van de mast bepaald. De ligging van de diverse masten na de botsing is in beeld gebracht in afbeelding 2 en wordt voorts vermeld in tabel 5.

2. OPZET PROEVENPROGRAMMA

2.1. Proefterrein

De proeven werden gehouden op het proefterrein "De Vlasakkers" te Amersfoort, waar gebruik werd gemaakt van de reeds aanwezige faciliteiten voor het beproeven van de beveiligingsconstructies in wegbermen en op kunstwerken.

De lichtmasten waren in verdichte grond geplaatst. De reproduceerbaarheid van de proeven werd bevorderd, doordat vóór elke proef de grondweerstand rond de lichtmast werd gecontroleerd door het Laboratorium voor Grondmechanica (zie Werkgroep Lichtmasten, 1973, Bijlage 6).

2.2. Proefvoertuigen

Ten aanzien van de proefvoertuigen viel de keuze op gebruikte Opels Rekord 1700, bouwjaar 1960/1962. Deze auto's hebben een lege massa van ca. 900 kg en vallen daarmee in de klasse van 800-1000 kg, die ca. 30% van het totale personenwagenbestand uitmaakte. Doordat alle proeven met dit type auto konden plaatsvinden, werd ook hier voldaan aan de eis van reproduceerbaarheid.

2.3. Beproefde lichtmasten (zie ook afbeeldingen 7 t/m 11)

Beproefd zijn:

A. Stalen lichtmasten met een lichtpunthoogte van 10 m, nl. een normale mast (L1), een mast met schuifconstructie (L4) - beveiligingsbouten 8.8.- 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).

B. Aluminium lichtmasten met een lichtpunthoogte van 10 m (L7, L2).

C. Aluminium lichtmasten met een lichtpunthoogte van 12 m (L3, L6).

Bij alle genoemde proeven werd gekozen voor - arbitraire - 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.

Alle aluminium lichtmasten waren berekend op 3% topuitwijking bij een winddruk van 100 kg/m^2 . De stalen masten hadden 2% topuitwijking, met uitzondering van de stalen mast van lichte constructie (proef L8), die evenals de aluminium masten een topuitwijking van 3% had (zie Werkgroep Lichtmasten, 1973).

De hoek van de aanloopbaan ten opzichte van de kantstrook - de inrijhoek - bedroeg bij alle proeven 10^0 . Ook de keuze van deze hoek was arbitrair.

2.4. Registratie

Het verloop van de proeven werd op film vastgelegd door 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.

3. HET VERLOOP VAN DE PROEVEN

3.1. Algemeen verloop

In de nu volgende omschrijvingen van de proeven en in de tabellen zijn de aanduidingen "links" en "rechts" gezien vanuit de rijrichting. Door de situatie van het proefterrein (zie afbeelding 1) en door de gebruikte beproevingsmethode werd 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 de 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.

Vanaf het moment van het eerste contact van het proefvoertuig met de mast tot het moment dat bij de mast sterke knik of breuk optrad, kan het algemene verloop van de proeven met de diverse lichtmasten in het kort als volgt worden samengevat.

Na het eerste contact van het proefvoertuig met de mast vervormden eerst de bumper, de grille, de motorkap en de radiator, dus die delen van de auto die weinig weerstand geven. De vertraging die daarbij optrad, was zeer gering.

Pas toen de mast zover in de wagen was gedrongen, dat de genoemde delen tegen het motorblok gedrukt werden, nam de weerstand sterk toe, en daardoor de vertraging van het voertuig.

Dit was het moment waarop merkbare vervorming optrad in de mast en - afhankelijk van het materiaal - knik of breuk werd ingeleid. Bij de stalen masten traden op dit moment eveneens kleine knikken op ter hoogte van de eerste en tweede verjonging. Bij de aluminium 10-m-masten kwam dit laatste verschijnsel niet voor. Bij de aluminium 12-m-masten trad knik op ter hoogte van de tweede verjonging.

Sterke knik (bij de stalen masten) of breuk (bij de aluminium

masten) boven het maaiveld trad bijna altijd op ter hoogte van de dekselspanning.

Na de botsing werden stalen masten zonder schuifconstructie door de proefvoertuigen uit de grond getrokken en meegenomen, waarna zij in rijrichting kantelden. Dit gold voor de proeven L1, L5 en L8. Het verdere verloop van deze proeven met stalen lichtmasten vertoonde kleine onderlinge verschillen en wordt daarom voor iedere proef afzonderlijk weergegeven.

Proef L4 is genomen met een stalen mast, voorzien van een schuifconstructie op maaiveldhoogte. Na de botsing en het daarop volgende verbreken van de schuifverbinding werd het bovendeel van de mast door het proefvoertuig meegenomen. Het verdere gedrag week zodanig van dat van de andere stalen masten af, dat het proefverloop in zijn geheel wordt beschreven.

In het verdere verloop van de botsingen met aluminium lichtmasten zijn twee mogelijkheden te onderscheiden. Een deel van de masten brak onder het maaiveld en ter hoogte van de dekselspanning, waarbij het tussenliggende breukstuk over korte afstand door het proefvoertuig werd meegevoerd; het onderstuk van de mast (ca. 125 cm) bleef in de grond achter (de proeven L2 en L7). Bij de proeven L3 en L6, L9 en L10 brak de paal ter hoogte van de dekselspanning en trad knik op of net onder maaiveldhoogte of bij de kabelinvoer (ca. 45 cm onder het maaiveld). De verdichte grond ging in het laatste geval ter hoogte van het maaiveld als draaipunt werken en het ondereind van de mast werd omhooggetrokken, zodanig dat de knik ter hoogte van het maaiveld kwam te liggen. Voor het overige vertoonde het gedrag van de afgebroken bovendeelen per proef dusdanige afwijkingen, dat dit voor elk geval afzonderlijk is beschreven.

De knik- en breukplaatsen zijn voor alle proeven aangegeven in tabel 1, onder opgave van: de snelheid vóór de botsing - de inrijnsnelheid -; het tijdstip (gerekend vanaf het botsmoment) waarop voor het eerst merkbare vervorming van de mast waarneembaar was; en het tijdstip waarop knik of breuk optrad.

In tabel 2 en 3 zijn o.a. verenigd: de snelheid vóór de botsing, die onmiddellijk na de botsing, en het snelheidsverschil Δv ; de kantelrichting van de mast, de tijdstippen in het verdere verloop van de botsing met de daarbij optredende deformaties van de proefvoertuigen, voor zover deze zijn veroorzaakt door de neervallende mast en letsel voor de inzittenden zouden kunnen veroorzaken.

Deze beschadigingen zijn eveneens in par. 3.2. per proef vermeld. In tabel 4 zijn alle schades opgenomen die zijn ontstaan aan de proefvoertuigen als gevolg van de botsing, met de waarden van de blijvende vervorming of inkorting en de afstand waarover de motor naar achteren is gekomen.

In tabel 5 worden de uitkomsten van de proeven met elkaar vergeleken aan de hand van de testcriteria.

Afbeelding 2 toont de ligging van de tien beproefde lichtmasten na de botsproeven. In deze afbeelding is een denkbeeldige kantstrook getrokken op een afstand van 1 m van de oorspronkelijke standplaats van de lichtmast.

3.2. Bijzonderheden in de afloop van de proeven

3.2.1. Stalen masten met lichtpunthoogte 10 m

A. Normale masten (zie ook afbeelding 7)

Proef L1

De mast kantelde voorover in de rijrichting en draaide daarbij links zijwaarts weg. Het proefvoertuig werd door de wegdraaiende mast naar rechts gedrongen. Het omgebogen ondereind van de mast klemde zich daarbij vast tussen de onderkant van de auto (achter het rechtervoorwiel) en de grond, waardoor het proefvoertuig en de mast gelijktijdig tot stilstand kwamen.

De blijvende vervorming van de auto (de inkorting) bedroeg 48 cm, waarbij de motor 7 cm naar achteren kwam. Door het vastlopen van de auto op de mast waren de dwarsbalk van de voorwielophanging en de stabilisatiestang beschadigd. Het voertuig was niet meer bestuurbaar.

Uit de metingen van het Laboratorium voor Grondmechanica (zie Werkgroep Lichtmasten, 1973) bleek dat de grondverdichting bij deze proefopstelling onvoldoende was.

Hierdoor werden resultaten verkregen die afweken van die van de overige proeven. De proef is daarom later herhaald onder overigens vrijwel gelijke omstandigheden, de waarde van de grondvastheid was nu echter in overeenstemming met die van de overige proeven. Zie hiervoor proef L5.

Proef L5 (zie ook afbeelding 7 en afbeelding 3, boven)

De mast kantelde voorover in de rijrichting en werd aan de onderzijde naar rechts weggedrukt. De mast werkte zich vast tussen de grond en de onderzijde van de auto achter het rechtervoorwiel. Hierdoor kwamen het proefvoertuig en de mast gelijktijdig tot stilstand.

De blijvende vervorming van de auto (de inkorting) bedroeg 62 cm, waarbij de motor 21 cm naar achteren kwam. Ook de dwarsbalk van de voorwielophanging was ingedeukt en de stabilisatiestang verbogen. Door het vastlopen op de mast werd het rechtervoorwiel ontzet. Het voertuig was niet meer bestuurbaar.

B. Stalen mast met schuifconstructie

Proef L4 (zie ook afbeelding 8 en afbeelding 3, midden)

Na het moment van botsen en het daarop volgende verbreken van de verbinding werd de mast aan de onderzijde meegenomen door de auto en kwam hiervan nauwelijks los. Door het relatief zware onderende van de mast met de flens werd de mast niet omhooggeworpen, maar haakte de flens zich vast aan de voorzijde van het voertuig. Met dit punt als draaipunt kantelde de mast boven de auto achterover. De flens schoot los van de voorzijde, waarna de voorruit van de auto ermee in contact kwam. De voorruit brak en het dak werd ingedeukt boven de voorruitsponning. Kort daarna

raakte de arm van de mast met armatuur de grond nabij de oorspronkelijke standplaats; ongeveer tezelfdertijd sloeg de flens aan de onderzijde van de mast op het kofferdeksel, dat daardoor werd ingedeukt. De mast gleeed van de auto en verplaatste zich nog iets in rijrichting. Het ingegraven onderstuk van de schuifconstructie kon in onbeschadigde toestand worden verwijderd. De auto kwam verderop dwars op de rijrichting tot stilstand. De blijvende vervorming van de auto bedroeg bij deze proef 41 cm. De motor was iets ontzet. De stabilisatiestang was beschadigd. Het voertuig was niet meer bestuurbaar. De voorruit was versplinterd en het dak aan de rechterzijde, achter de sponning van de voorruit, ca. 7 cm ingedeukt. Het kofferdeksel vertoonde een deuk met een diepte van 16 cm.

C. Stalen mast van lichte constructie

Proef L8 (zie ook afbeelding 9 en afbeelding 3, onder)

De mast kantelde voorover in de rijrichting en draaide iets naar links weg. Het proefvoertuig liep met het rechtervoorwiel en de achterzijde vast op de mast en kwam gelijktijdig met de mast tot stilstand.

De blijvende vervorming van de auto bedroeg 57 cm, waarbij de motor 16 cm naar achteren kwam. De dwarsbalk van de voorwielop-hanging werd ingedeukt, de stabilisatiestang vervormd en het rechtervoorwiel door het mastondereinde ontzet. De auto was niet meer bestuurbaar.

3.2.2. Aluminium masten met lichtpunthoogte 10 m

Proef L7 (zie ook afbeelding 10 en afbeelding 4, boven)

Na de botsing en de daaropvolgende breuk werd het bovendeele van de mast door de motorkap meegenomen en omhoog geslingerd, en kwam het volledig los van het proefvoertuig. De armatuur brak

af en kwam op korte afstand van de oorspronkelijke standplaats op de grond. Ongeveer gelijktijdig raakte de arm de grond. Het ondereinde raakte de auto niet. De binnenhuls en het deksel werden beide weggeslingerd en kwamen op grote afstand van de oorspronkelijke standplaats op de grond terecht. De voorruit brak kort na het begin van de botsing. De blijvende vervorming van de auto bedroeg 37 cm; de motor kwam niet naar achteren. Na afloop van de proef was het proefvoertuig nog bestuurbaar.

Proef L2 (zie ook afbeelding 10 en afbeelding 4, onder)

Het verloop vlak na het moment van botsen was gelijk aan dat van proef L7. Toen de arm van de mast met de armatuur de grond raakte ter hoogte van de oorspronkelijke standplaats, sloeg vrijwel gelijktijdig het ondereinde van de mast op de volle lengte van het dak van de auto. Het dak werd ingedeukt en de achterraut brak. Het proefvoertuig en de mast verplaatsten zich met verschillende snelheden in de oorspronkelijke rijrichting. Hierbij verplaatste het voertuig zich sneller dan de mast, waardoor de mast van de auto afgleed.

De blijvende vervorming van de auto bedroeg 40 cm; de motor kwam niet naar achteren. De grootste diepte van de deuk in het dak bedroeg 6 cm en bevond zich aan de achterzijde bij de lijst van de achterraut. Het voertuig was nog bestuurbaar, ondanks het feit dat het op de keerschijf van de lierinstallatie was vastgelopen.

Proef L10 (zie ook afbeelding 10)

Het bovendeele van de mast werd na het botsen rechtstandig meegenomen en kwam daarbij vrijwel niet los van het proefvoertuig; het zakte echter, kwam rechtstandig met het breukvlak op de grond, veerde op en raakte los van de auto. Deze botste voor de tweede maal en slingerde de mast naar voren. De mast raakte op

enige afstand voor de auto voor de tweede keer de grond, waarop spoedig de derde botsing volgde. De mast werd nu aan het onder-eind weggeslingerd en kantelde langzaam, draaiende om de lengte-as, achterover. Het onder-eind van de mast raakte daarbij de sponning van de voorruit en het dak op de plaats van de bestuurder. Het dak werd iets ingedeukt, de voorruit bleef heel. De mast werd als het ware horizontaal getrokken en lag dan ook kort daarna vlak op het dak. De armatuur raakte toen de grond en de mast werd van het dak van de auto afgetrokken, waarbij het breukvlak van de mast eerst nog op het kofferdeksel terecht kwam. De blijvende vervorming van de auto bedroeg 40 cm; de motor kwam niet naar achteren. De diepte van de deuk in het dak boven de sponning van de voorruit bedroeg ca. 2 cm. De indeuking van het dak was minder dan 1 cm diep en de schade aan het kofferdeksel bleef beperkt tot enkele krassen. Het voertuig was nog bestuurbaar.

Proef L9 (zie ook afbeelding 10 en afbeelding 5)

Na de botsing kaatste de mast van de auto en kwam ca. 80 cm voor de auto, ca. 270 cm van de voorspronkelijke standplaats van de mast, met het breukvlak op de grond. Hierop volgde de tweede botsing, waarbij de mast aanvankelijk rechtstandig in de rijrichting werd meegenomen en daarna - naar rechts uitwijkend - voorover kantelde. Het voertuig liep met de rechtersvoorwielophanging vast op de mast. Beide kwamen gelijktijdig tot stilstand. De blijvende vervorming bedroeg ook hier 40 cm. De motor kwam niet naar achteren. Het voertuig was nog bestuurbaar.

3.2.3. Aluminium masten met lichtpunthoogte 12 m

Proef L3 (zie ook afbeelding 11 en afbeelding 6, boven)

Het bovendeeel van de mast werd na de botsing rechtstandig door het proefvoertuig meegenomen en kwam hiervan eerst langzaam los.

Kort daarna botste het voertuig voor de tweede keer tegen de mast. Deze kantelde boven de auto achterover. De binnenhuls " werd daarbij als het ware uitgeschoven en door de auto meegenomen. Toen de arm met de armatuur in de omgeving van de oorspronkelijke standplaats de grond raakte, sloeg het ondereinde van de mast op het kofferdeksel, dat werd ingedeukt; de indeuking bedroeg minder dan 1 cm. De mast gleed van de auto en kwam in de rijrichting tot stilstand.

De blijvende vervorming van de auto bedroeg 50 cm, hierbij kwam de motor 9 cm naar achteren. De dwarsbalk van de voorwielophanging was ingedeukt en deze balk en de stabilisatiestang waren beide ontzet. Mede hierdoor was bij het vastlopen in de zandwal, waarbij het voertuig op de rechterzijde kantelde, het rechtervoorwiel afgerukt en het voertuig onbestuurbaar geworden. De rechterzijde van de carrosserie was door het kantelen beschadigd.

Proef L6 (zie ook afbeelding 11 en afbeelding 6, onder)

Het bovendeel van de mast werd na de botsing rechtstandig door het proefvoertuig meegenomen en kwam vrijwel niet los hiervan; het raakte voor de eerste keer met het breukvlak de grond, veerde op, kwam voor de tweede keer op de grond, veerde weer op en kwam voor de derde keer, los van het voertuig, op de grond. Tezelfdertijd vond de tweede botsing plaats, waarbij het mastondereinde omhoog werd geslingerd. De mast kantelde achterover. Toen de arm met armatuur op de standplaats de grond raakte, sloeg het ondereinde van de mast op het kofferdeksel bij het linkerachterspatbord, dat ter plaatse werd ingedeukt. De achterruit kwam aan de onderzijde uit de spanning. De binnenhuls, die ter hoogte van het deksel was aangebracht ter versterking, bleef in de mast.

De blijvende vervorming van de auto bedroeg 52 cm; de motor kwam 11 cm naar achteren. De dwarsbalk van de voorwielophanging en de stabilisatiestang waren beide beschadigd, maar niet zodanig dat de auto onbestuurbaar was geworden. De verdere carrosserieschade

bleef beperkt tot een deuk in het kofferdeksel ter diepte van ca. 9 cm. Tengevolge van de terreingesteldheid sloeg het voertuig om op de rechterzijde, die hierdoor diverse beschadigingen opliep.

4. NABESCHOUWING

4.1. Algemeen

Hieronder worden de resultaten vergeleken die uit deze beperkte proevenserie zijn verkregen. Deze resultaten kunnen door de beperkte opzet van de proeven slechts een indicatie geven van de agressiviteit van de beproefde masten in relatie tot de botssnelheid. De opzet was te beperkt om eventuele kritische punten op te sporen, zoals de snelheid waarbij het voertuig tegen de mast tot stilstand komt zonder dat deze uit de grond getrokken wordt, afbreekt of afschuift. Eveneens te beperkt om te kunnen bepalen bij welke inrijnsnelheid aluminium masten of stalen masten met schuifconstructie in rijrichting zullen kantelen of opgeworpen worden. Daarbij zou dan weer een kritische snelheid vast te stellen zijn, waarboven het voertuig juist niet door het vallende deel getroffen wordt.

Over de agressiviteit van lichtmasten voor inzittenden van personenauto's zonder gesloten carrosserie, waarvan het marktaandeel overigens gering is, kon op basis van deze serie proeven vanzelfsprekend geen voorspelling gedaan worden.

Bij volgende proeven kunnen bovenstaande punten nader bezien worden en kan daarnaast ook het gedrag van lichtmasten met grotere lichtpunthoogte onderzocht worden. Ook zou een aantal flankbotsingen uitgevoerd kunnen worden. Deze zijn eveneens van belang om de gevolgen hiervan voor de proefvoertuigen, met daarbij de kans op letsel voor de inzittenden, na te kunnen gaan.

De masten die beproefd zijn, waren niet voorzien van een voorschakelapparaat en een grondkabel. Hoewel bij het aanwezig zijn van een voorschakelapparaat de massa van de mast zou zijn toegenomen en bij het aanwezig zijn van een grondkabel de weerstand van de mast tijdens de botsing groter zou zijn geweest, wordt verondersteld dat beide factoren een geringe invloed op de totale agressiviteit van de mast zouden hebben gehad. Ook het gevaar van brand tengevolge van kortsluiting van een grondkabel onder spanning kon niet onderzocht worden.

Verder zijn de masten na het plaatsen niet tot maaiveldhoogte met zand gevuld. In de praktijk wordt dit vaak gedaan om corrosie in de mast te voorkomen en om de mast stabiel te maken. De invloed van het vullen van de mast op de agressiviteit ervan is niet bekend.

De resultaten van de proeven, uitgedrukt in de waarden voor ASI, Δv en Δp , geven een duidelijke overeenkomst tussen deze waarden te zien. Weliswaar vallen de uitkomsten voor Δv en Δp verhoudingsgewijs iets hoger uit dan die voor ASI, maar dit vindt mede zijn oorzaak in het feit dat bij deze serie proeven de dwarsvertraging niet werd gemeten en de bijbehorende term in de formule van ASI kwam te vervallen.

4.2. Discussie van de resultaten (zie ook tabel 5 en afbeelding 2)

4.2.1. Stalen masten

De twee normale stalen masten (L1 en L5) leverden gedurende de botsing zoveel weerstand op, dat de ASI-norm voor een "acceptabele" voertuigvertraging ver werd overschreden. Ook de waarden voor het snelheidsverschil Δv en de botsimpuls Δp kwamen ver boven de limietwaarden uit. De vallende masten hebben de daken van de proefvoertuigen niet geraakt.

De stalen mast met schuifconstructie (L4) leverde een relatief lage weerstand voor het proefvoertuig op. Zowel de waarde voor de voertuigvertraging als die voor het snelheidsverschil en die voor de botsimpuls bleven onder de limietwaarden. Het aanhaalmoment van de vier bouten van de schuifconstructie bedroeg 250 Nm. Mogelijk kan de agressiviteit van de mast nog enigszins gereduceerd worden door het aanhaalmoment te verlagen. De vallende mast kwam op het dak van het proefvoertuig terecht en veroorzaakte een 7 cm diepe indeuking.

De stalen mast van lichtere uitvoering (L8) leverde gedurende de botsing een te hoge weerstand voor het proefvoertuig op. De vallende mast raakte het proefvoertuig niet.

Geen enkele van de beproefde stalen masten kwam op de rijbaan terecht.

4.2.2. Aluminium masten

Bij alle beproefde aluminium lichtmasten is geconstateerd, dat het bovengrondse deel van de mast ten gevolge van de aanrijding ter hoogte van de dekselsponning 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), afhankelijk van de wanddikte van de mast en de inrijnsnelheid van het proefvoertuig. Alleen bij proef L3 knikte de mast niet ter hoogte van de kabelinvoer, maar ca. 30 cm erboven.

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). Bij de proeven L7 en L2 bleven de waarden voor de voertuigvertraging, het snelheidsverschil en de botsimpuls alle onder de limietwaarden. Bij proef L2 kwam de vallende mast na de botsing op de achterzijde van het dak terecht en veroorzaakte daar een indeuking van 6 cm. Bij proef L10 bleef de waarde voor de voertuigvertraging onder de limietwaarde, maar de waarden voor het snelheidsverschil en de botsimpuls kwamen boven de limietwaarden uit. De vallende mast veroorzaakte een indeuking van 2 cm in de bovenkant van de raamlijst van de voorruit. Bij proef L9 bleven de waarden voor de voertuigvertraging en de botsimpuls onder de limietwaarden, de waarde voor het snelheidsverschil steeg iets boven de limietwaarde uit. De vallende mast raakte het dak van het proefvoertuig niet.

Bij de 12-m-masten bedroeg de wanddikte 1 mm meer dan bij de 10-

m-masten. Het gevolg hiervan was, dat de 12-m-masten - ter hoogte van het maaiveld (L3) of bij de kabelinvoer (L6) - niet braken maar platgevouwen werden. Zowel bij proef L3 als bij proef L6 stegen de waarden voor de voertuigvertraging, het snelheidsverschil en de botsimpuls alle boven de limietwaarden uit. De vallende masten kwamen niet op de daken van de proefvoertuigen terecht.

Zowel bij de 10-m-masten die ter hoogte van de kabelinvoer niet volledig afbraken, als bij de 12-m-masten werd het gedeelte van de mast dat zich onder de dekselspanning bevond, zó plat neergedrukt, dat het proefvoertuig er in zijn geheel overheen kon rijden.

Geen van de aluminium lichtmasten kwam na de botsing op de rijbaan terecht.

4.2.3. Samenvatting

De in dit rapport besproken kleine serie proeven diende om een voorlopige oplossing voor een urgent probleem te vinden. Hierom en omdat het onderzoek masten betrof die in 1971 op de markt waren, hebben de uitkomsten van de proeven slechts een beperkte geldigheid.

De weerstand die de proefvoertuigen tijdens de botsingen met stalen masten zonder beveiligingsconstructie en met aluminium 12-m-masten ondervonden, was dermate groot, dat de betreffende masten te agressief voor personenauto's genoemd konden worden op basis van de ASI-waarden.

De agressiviteit van aluminium 10-m-masten bleef, op basis van de ASI-waarden, binnen aanvaardbare grenzen voor personenauto's. Op basis van één proef met een stalen mast die voorzien was van een schuifconstructie, kon voorzichtig gesteld worden, dat een dergelijke constructie goede perspectieven biedt voor het reduceren van de agressiviteit van lichtmasten ten aanzien van personenauto's.

Geen van de beproefde lichtmasten is na de botsing op de rij-

baan terecht gekomen; de lichtmasten waren 1 m van de rijbaan af geplaatst.

De indeuking die de vallende masten in het dak van de proefvoertuigen veroorzaakten, is onder de gekozen inrijcondities in geen enkel geval meer dan 7 cm diep geweest.

LITERATUURLIJST

Edwards, T.C. (1969). The design and performance of safer luminaire supports. In: Highway Safety. Special report 107. Highway Research Board, Washington D.C., 1970.

Patrick, L.M. et al. (1967). Cadaver knee, chest and head impact loads. In: Conference proceedings 11th Stapp Car Crash Conference, 1967, pp. 106-117. Society of Automotive Engineers, Inc., New York, 1967.

Ross, H.E. & Post, E.R. (1971). Criteria for guardrail need and location on embankments. Research report 140-4. Texas Transportation Institute, 1971.

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

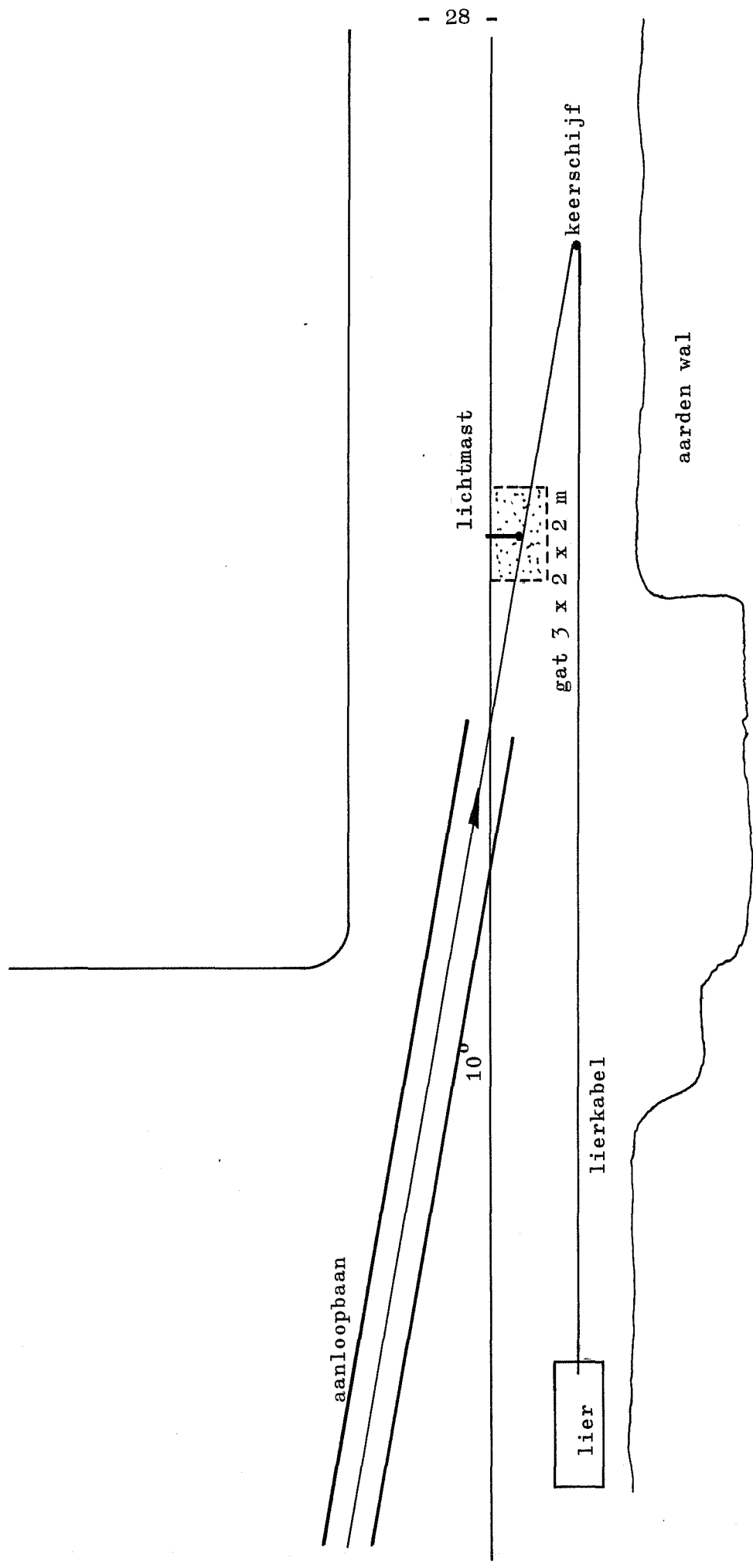
Rowan, N.J. & Edwards, T.C. (1967). Impact behavior of luminaire supports. In: Highway Research Record 222, pp. 20-41. Highway Research Board, Washington D.C., 1968.

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.

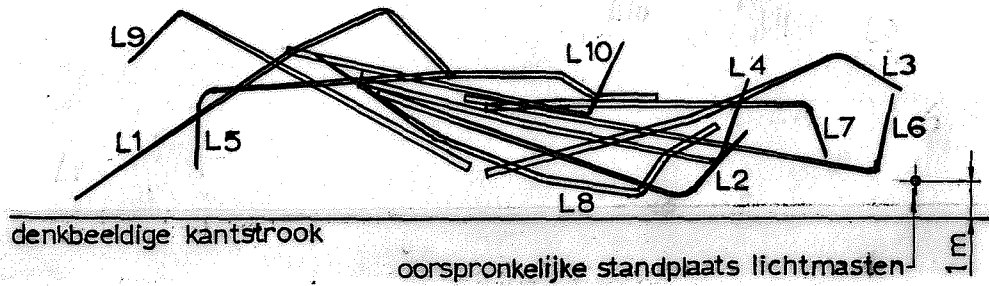
SWOV (1972^a). Obstakels in wegbermen. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Voorburg, 1972.

SWOV (1972^b). Verwerken data van high-speedfilm van botsproeven. Memorandum. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, niet gepubliceerd.

Werkgroep Lichtmasten [1973] Obstakelwerking Lichtmasten. Nota
nr. 72-09. Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde, 's-Gravenhage,
1973.



Afbeelding 1. Situatie proefterrein.

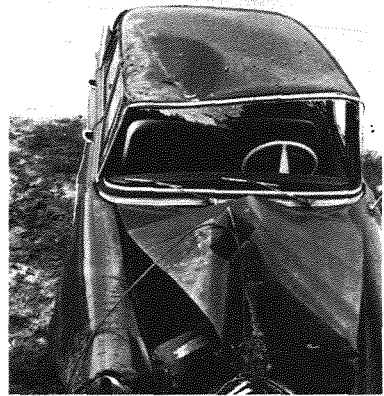


proef nr.	type mast	lichtpunthoogte	botssnelheid
L1	staal	10 m	93 km/h
L5	"	10 m	105 km/h
L4	" /schuifconstr.	10 m	78 km/h
L8	" /lichte constr.	10 m	82 km/h
L7	aluminium	10 m	93 km/h
L2	"	10 m	66 km/h
L10	"	10 m	60 km/h
L9	"	10 m	35 km/h
L3	"	12 m	100 km/h
L6	"	12 m	70 km/h

Afbeelding 2. Ligging van de masten na de botsproeven.



L5



L5



L4



L4

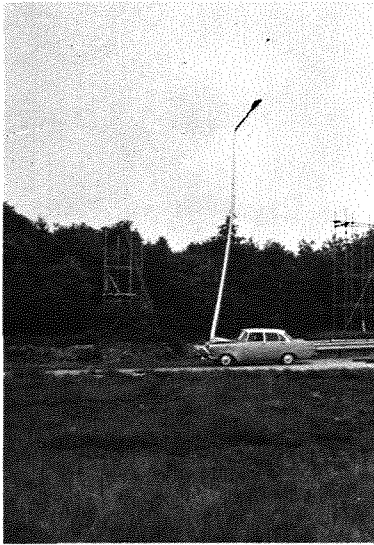


L8



L8

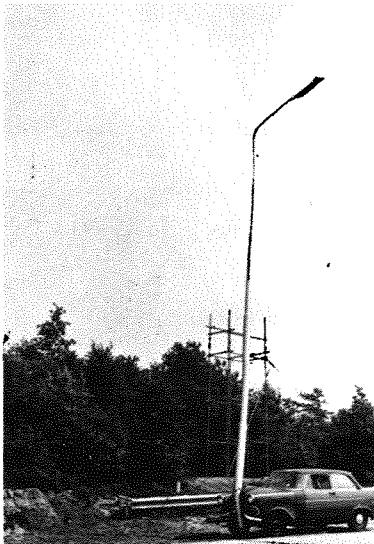
Afbeelding 3. Stalen masten, lichtpunth. 10 m (L5, L4, L8).



L7



L7



L7



L7



L2



L2

Afbeelding 4. Aluminium masten, lichtpunth. 10 m (L7, L2).



L9



L9

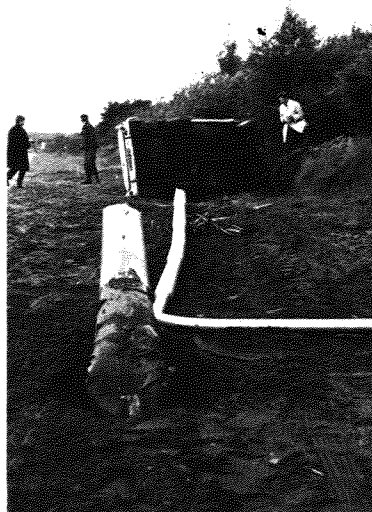


L9

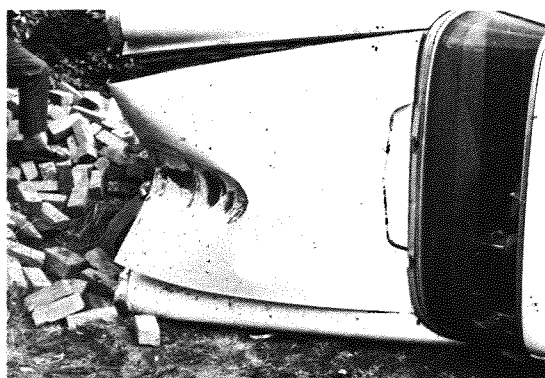
Afbeelding 5. Aluminium mast, lichtpunth. 10 m (L9).



L3



L3



L3

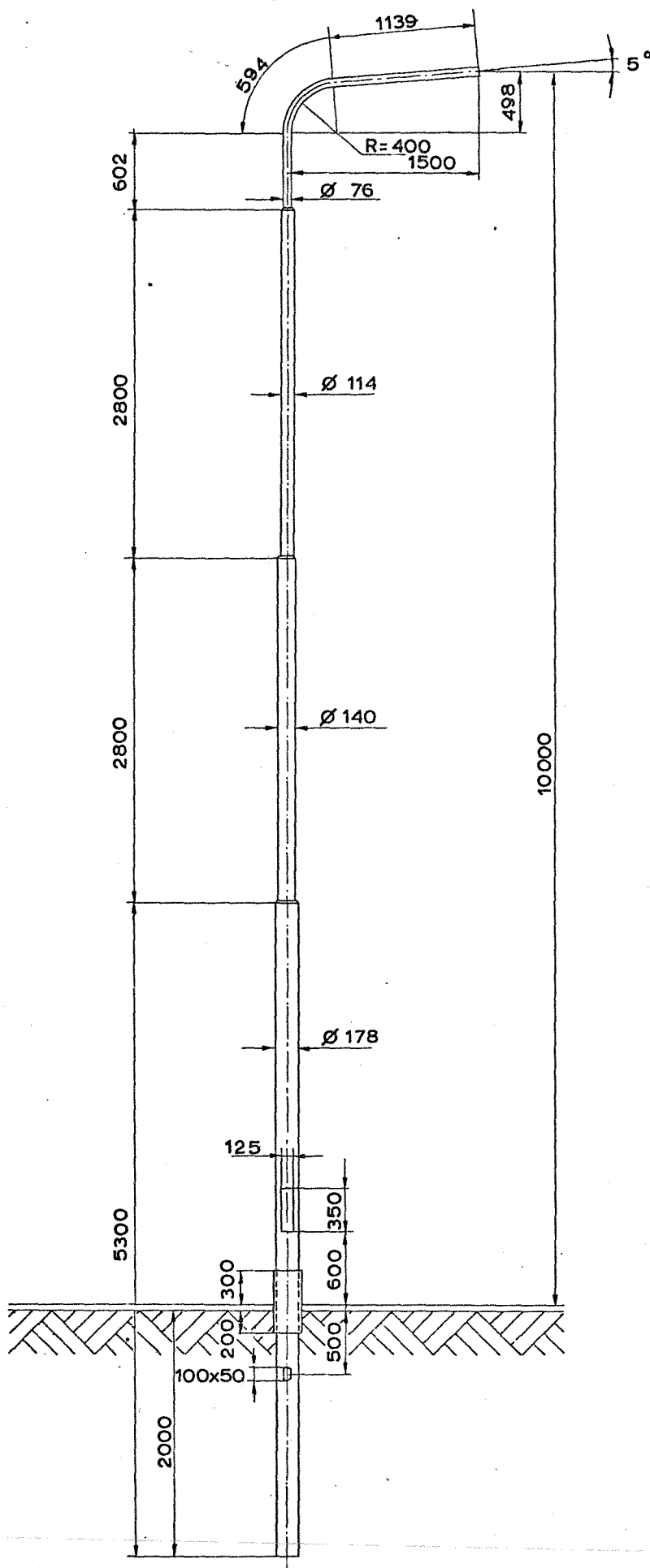


L6

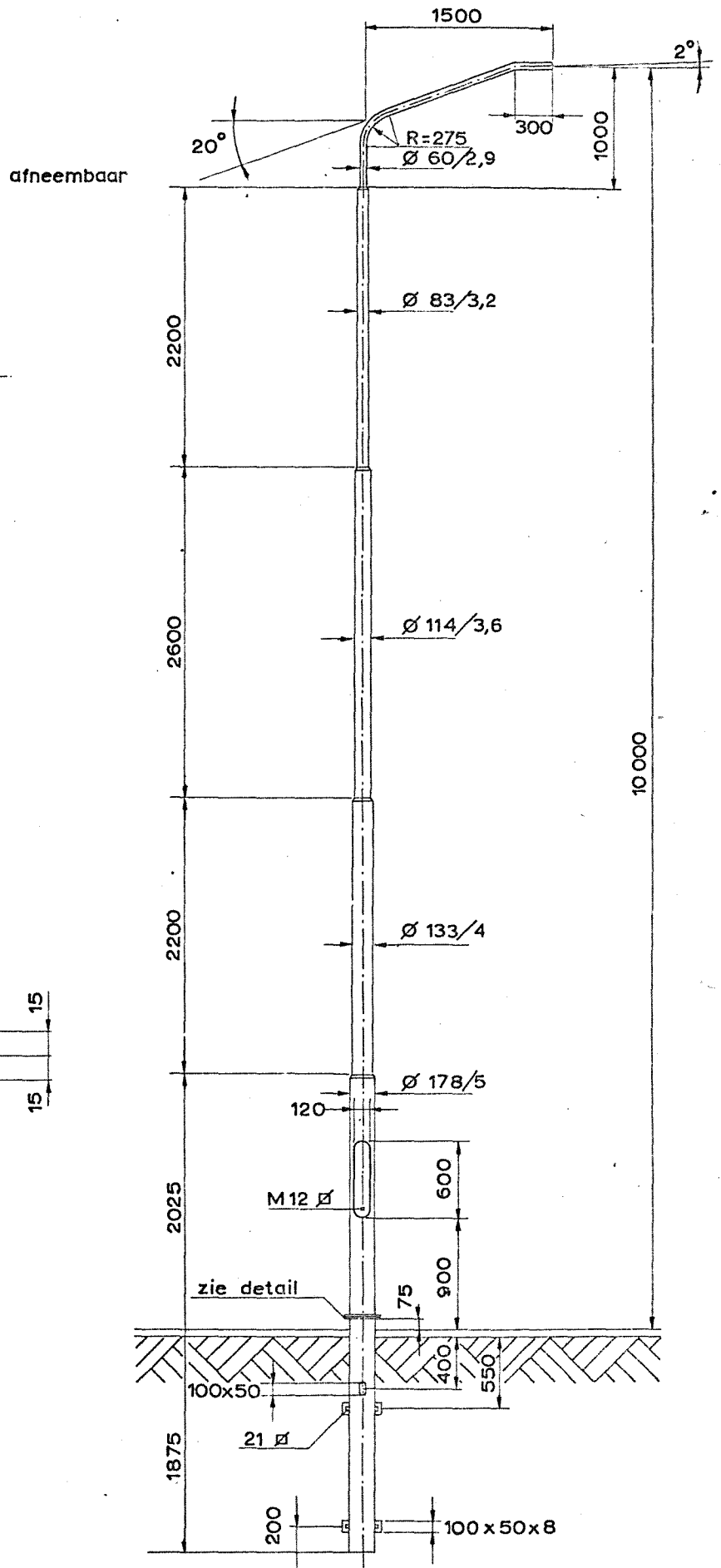
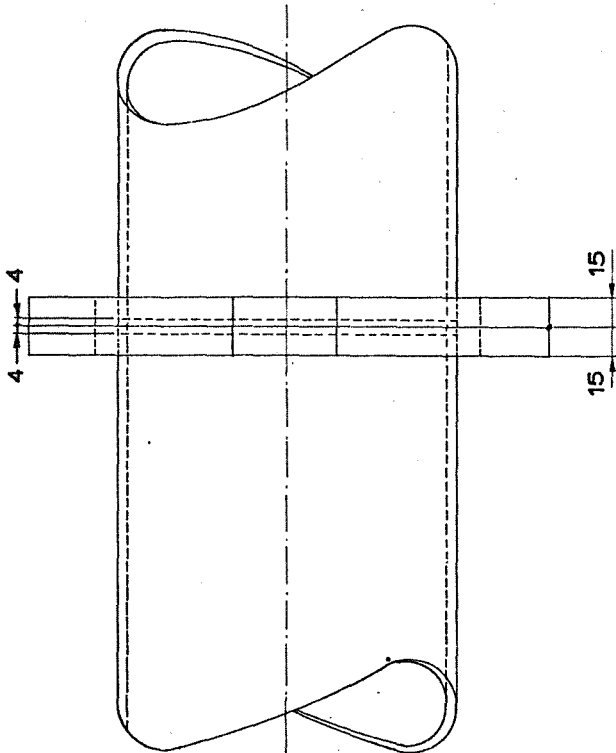
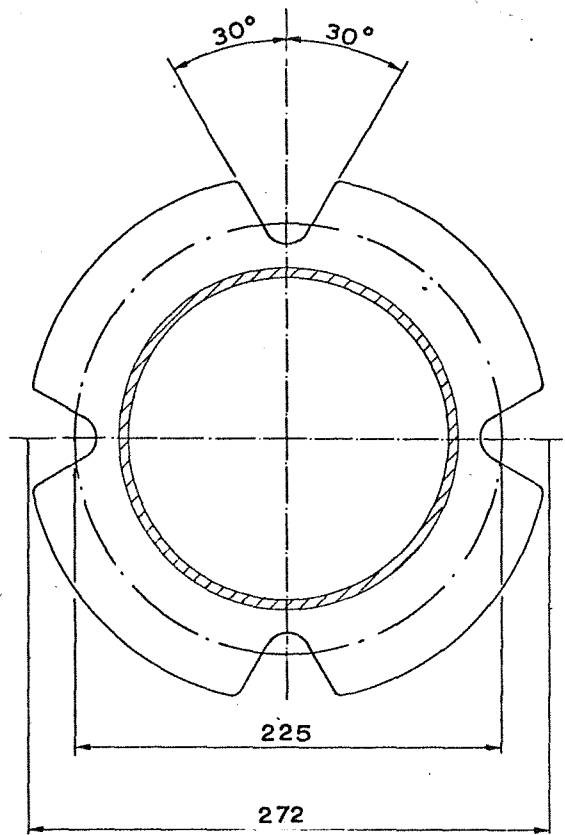


L6

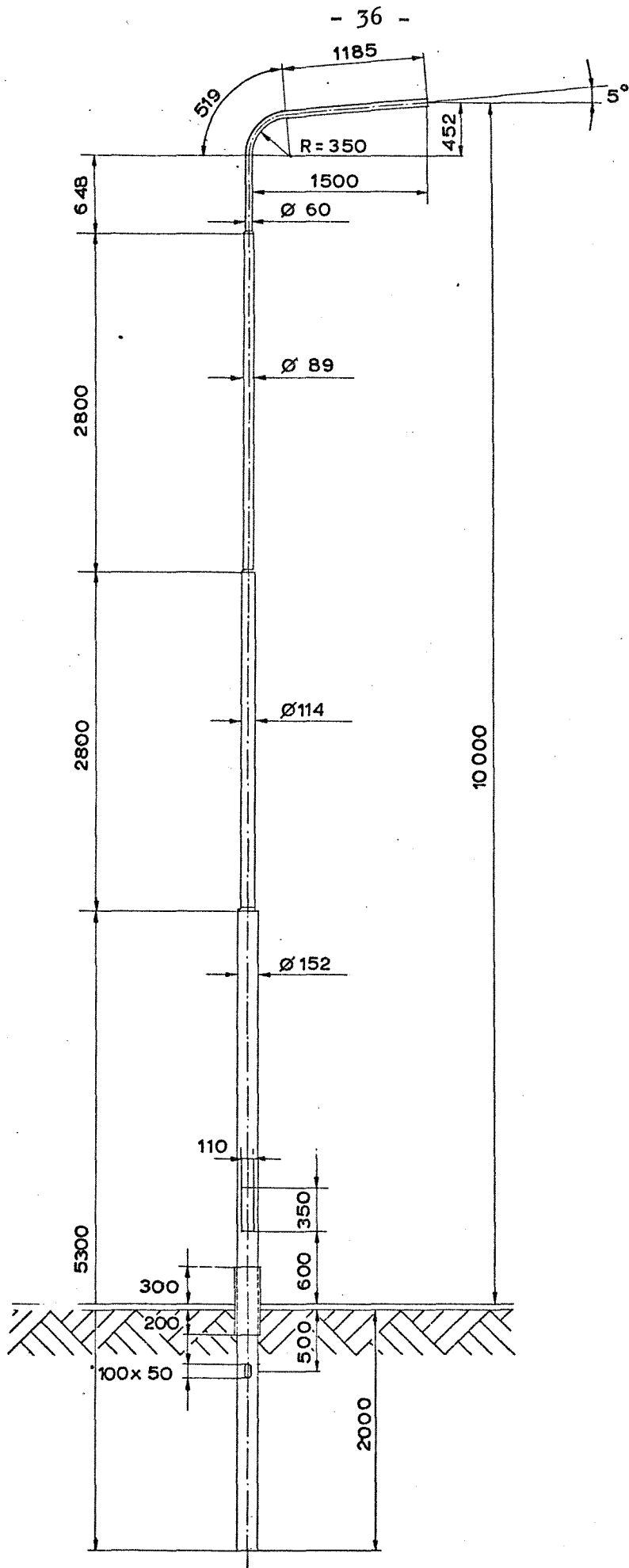
Afbeelding 6. Aluminium masten, lichtpunth. 12 m (L3, L6).



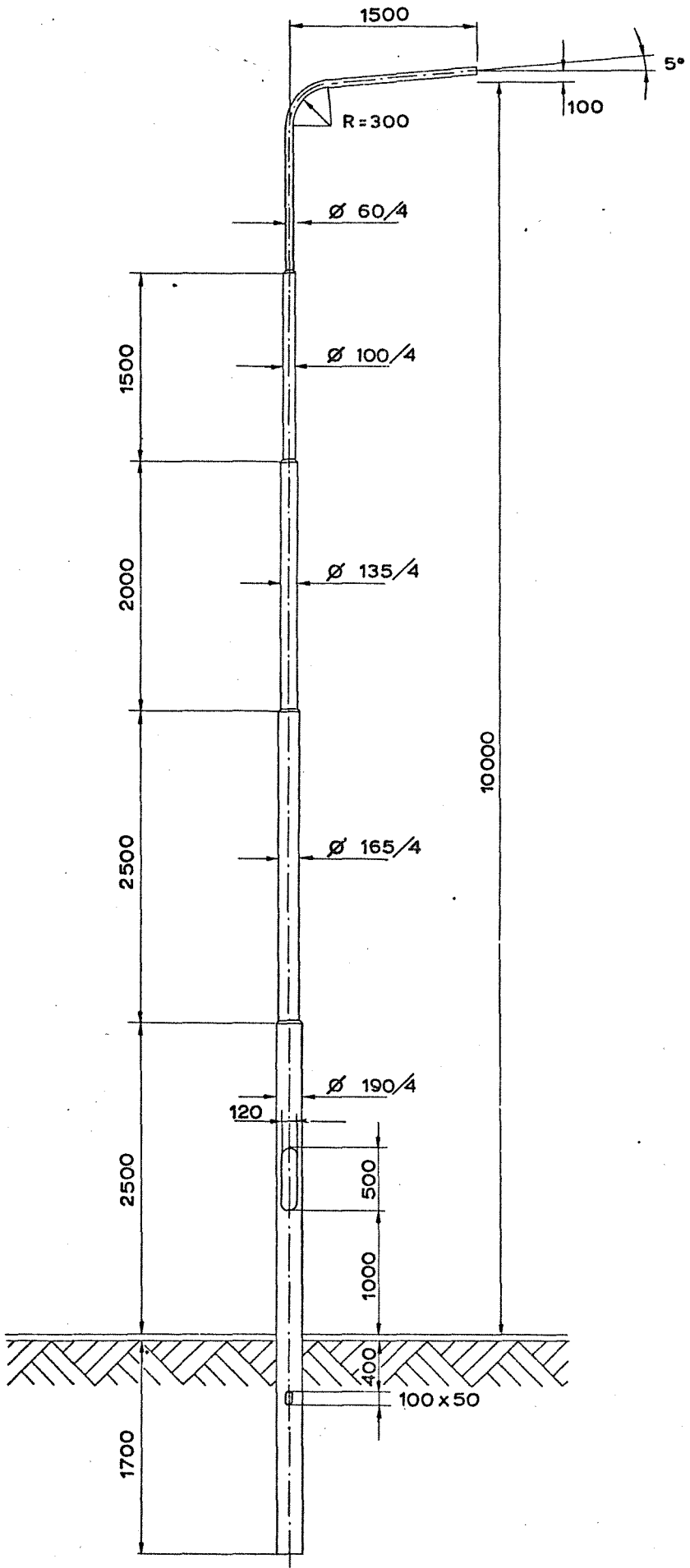
Afbeelding 7. Stalen mast, lichtpunth. 10 m (L1, L5).



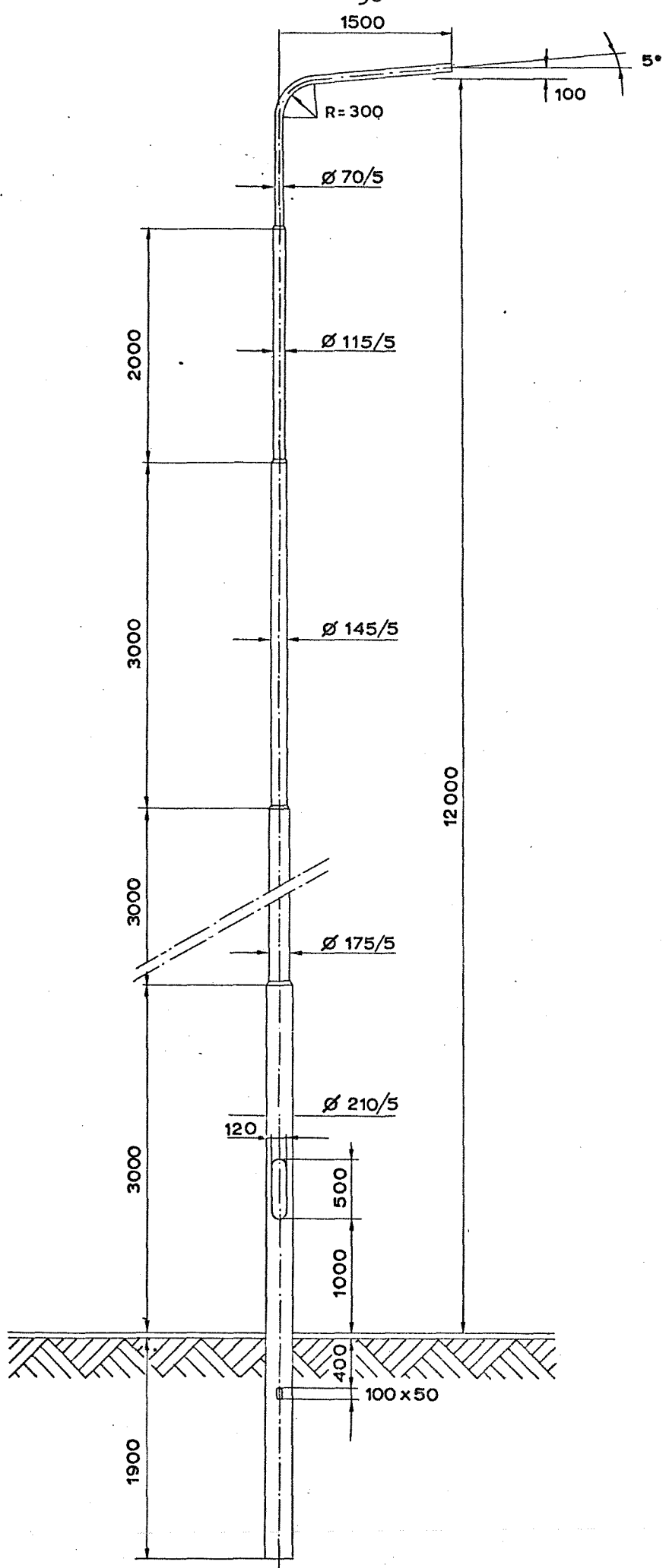
Afbeelding 8. Stalen mast met schuifconstr., lichtpunth. 10 m (L4)



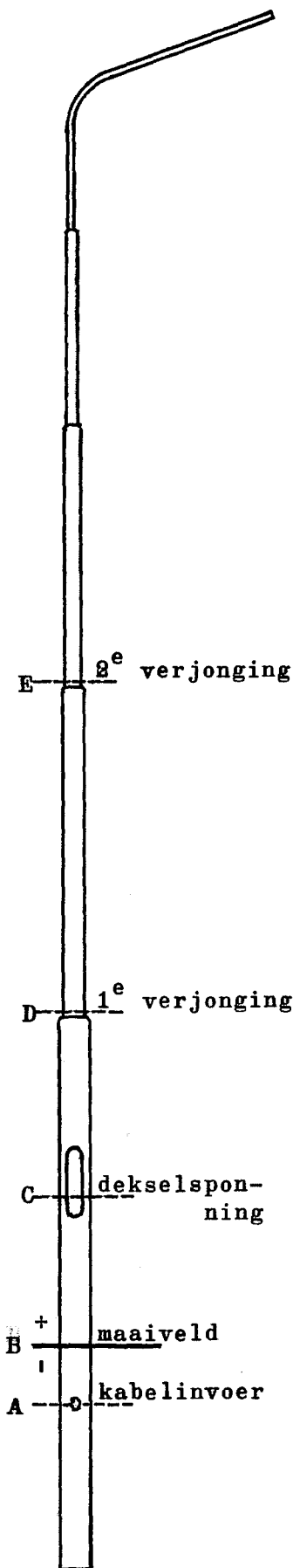
Afbeelding 9. Stalen mast van lichte constr., lichtpunth. 10 m (L8).



Afbeelding 10. Aluminium mast, lichtpunth. 10 m (L2, L7, L9, L10).



Afbeelding 11. Aluminium mast, lichtpunth. 12 m (L3, L6).



Proef	Masttype	Inrij-snelh. vrtg km/h	Merkbare ver-vorming na: .s	Knikken of breken na: .s	Knik- of breukplaats (maat vanaf maaiveld in cm)									
					A		B		C		D		E	
					K	B	K	B	K	B	K	B	K	B
L1	Fe 10 m	93	0,010	0,025							80		350	
L5	Fe 10 m	105	0,008	0,085	55						60		350	
L4	Fe 10 m sch.	78	0,013	0,033				+7						
L8	Fe 10 m dun	82	0,008	0,030	60						75		330	610
L7	Al 10 m	93	0,008	0,025		45						105	310	
L2	Al 10 m	66	0,005	0,023		40						100		
L10	Al 10 m	60	0,013	0,045								115		
L9	Al 10 m	35	0,005	0,080								100		
L3	Al 12 m	100	0,005	0,020					-10			100		750
L6	Al 12 m	70	0,015	0,028	45							100		750

Tabel 1. Overzicht van de knik- en breukplaatsen.

Proef	Masttype	Massa paal kg	Snelheid voertuig			Kantel- rich- ting mast ($\#$)	Indeu- king voertuig cm	Indeuking voertuig door onder- einde (breukvlak) van de mast cm	ter plaatse van:
			voor de botsing km/h	na de prim. botsing km/h	verschil Δv km/h				
L1	Fe 10 m	200	93	48	45		48		
L5	Fe 10 m	200	105	41	64		62		
L4	Fe 10 m sch.	175	78	68	10		41	7	dak rechts bij lijst voor- kofferdekseel
L8	Fe 10 m dun	160	82	31	51		57	16	
L7	A1 10 m	62	93	89	4		37		
L2	A1 10 m	62	66	56	10		40	6	achterzijde dak
L10	A1 10 m	62	60	38	22		40	2	bovenkant raamlijst voorruit
L9	A1 10 m	62	35	16	19		40	<1	plat op dak
L3	A1 12 m	100	100	79	21		50	<1	kofferdekseel
L6	A1 12 m	100	70	46	24		52	9	kofferdekseel

$\#$)

in rijrichting gekanteld

tegen rijrichting in gekanteld

in rijrichting gezien naar links gekanteld

in rijrichting gezien naar rechts gekanteld

Tabel 2. Overzicht van de snelheden vóór en na de botsing en de kritische schade aan de proefvoertuigen.

Proef	Masttype	Inrij- snel- heid vrijg km/h	Lichtmast			Lichtmastondereinde (breuk- vlak) raakt voertuig op: na... s	Voertuig in botsing met lichtmast 2 ^e x 3 ^e x na...s	Lichtmastondereinde (breuk- vlak) raakt voertuig op: na... s
			uit grond getr.	los van voert.	breukvlak raakt de grond 2 ^e x 3 ^e x na...s			
L1	Fe 10 m	93	0,06					
L5	Fe 10 m	105	0,09					
L4	Fe 10 m sch.	78		0,20			<1 ³ 1,05	dak rechts bij lijst kofferdekseel (voorruit)
L8	Fe 10 m dun	82	0,04					
L7	Al 10 m	93		0,08				
L2	Al 10 m	66		0,03			0,59	achterzijde dak
L10	Al 10 m	60		0,27	0,19	0,92	1,64 2,07	bovenkant raamlijst plat op dak (voorruit)
L9	Al 10 m	35		0,10	0,15	0,61	0,61	
L3	Al 12 m	100		0,16			0,25	0,78 kofferdekseel
L6	Al 12 m	70			0,14	0,18	0,25	1,47 kofferdekseel

*) tijdstip niet exact waarneembaar

Tabel 3. Chronologisch overzicht van het verloop van de botsproeven.

nummer proef	masttype met lichtpunt- hoogte	bumper en grille	radiator naar achteren	motorkap vervormd	spatborden vervormd	chassis ontzet aan de voorzijde	voornut gebroken	achternut gebroken	deuk in dak aan de voorzijde	deuk in dak overlangs	deuk in dak aan de achterzijde	deuk in kofferdeksel	dwarzbalk wielophanging beschadigd	auto niet bestuurbaar	blijvende vervorming (inkorting) auto in cm	motor naar achteren in cm ca.
L1	Fe 10 m	x	x	x	x	x							x	x	48	7
L5	Fe 10 m	x	x	x	x	x							x	x	62	21
L4	Fe 10 m sch.	x	x	x	x	x	x		x			x	x	x	41	0 ⁺
L8	Fe 10 m dun	x	x	x	x	x	x						x	x	57	16
L7	Al 10 m	x	x	x	x		x								37	0
L2	Al 10 m	x	x	x	x			x	x						40	0
L10	Al 10 m	x	x	x	x			x	x			x			40	0
L9	Al 10 m	x	x	x						x					40	0
L3	Al 12 m	x	x	x	x	x						x		x	50	9
L6	Al 12 m	x	x	x	x	x						x		x	52	11

+) motor iets ontzet

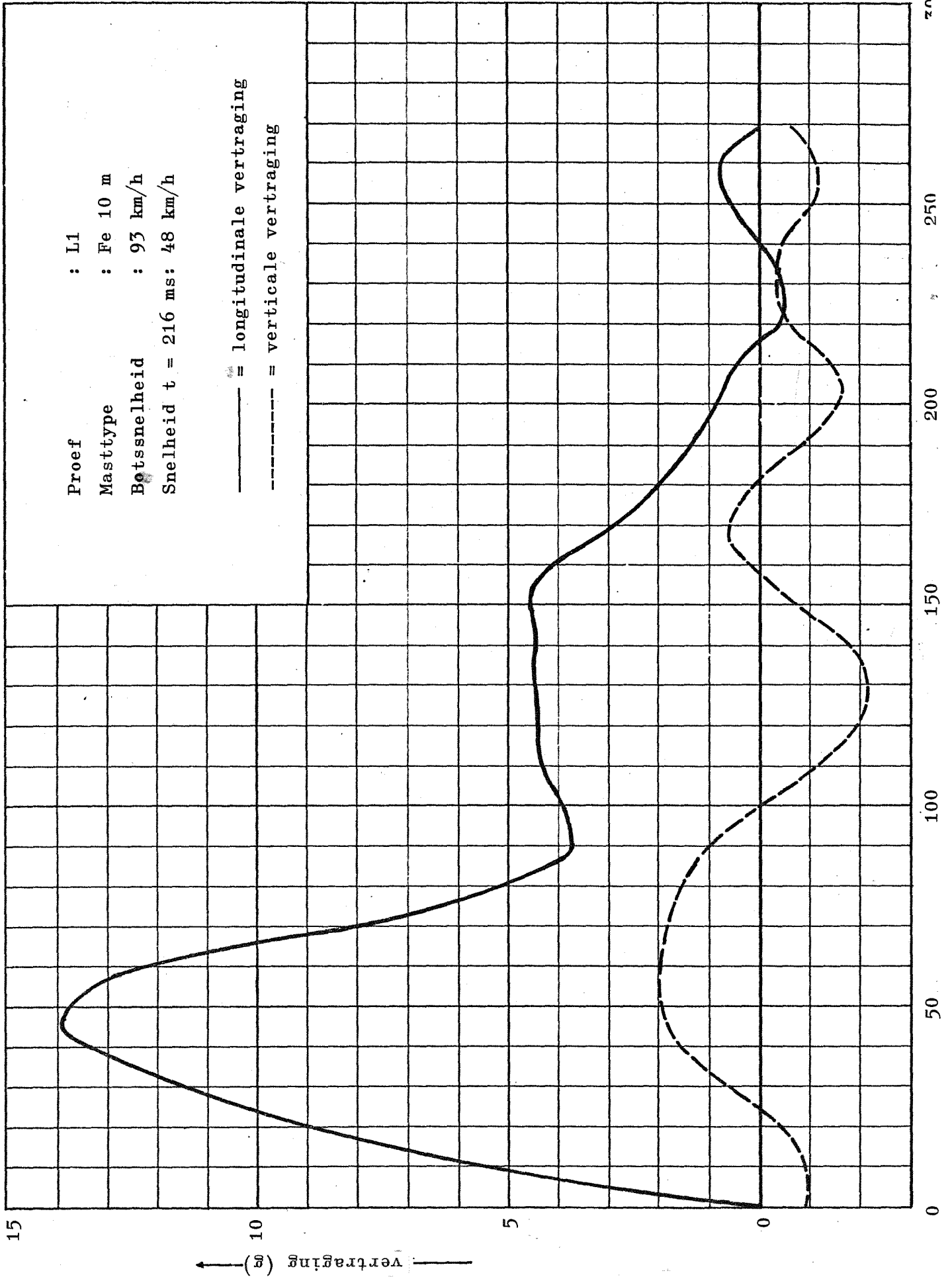
Tabel 4. Overzicht van alle schades aan de proefvoertuigen t.g.v. de botsingen.

Proef	Masttype	Inrij- snelheid km/h	Uitrij- snelheid km/h	Weerstand t.g.v. botsing			Indeuking dak door vallende mast cm	Ligging
				Voertuig- vertraging ASI ⁿ	Snelheids- verschil Δv km/h	Bots- impuls Δp Ns		
Limietwaarde				≤ 1	≤ 18	≤ 4900	≤ 8	berm
L1	Fe 10 m	93	48	1,8	45	11000	--	berm
L5	Fe 10 m	105	41	2,1	64	16000	--	berm
L4	Fe 10 m sch.	78	68	0,6	10	2500	7	berm
L8	Fe 10 m dun	82	31	1,8	51	12800	--	berm
L7	Al 10 m	93	89	0,5	4	1000	--	berm
L2	Al 10 m	66	56	0,6	10	2500	6	berm
L10	Al 10 m	60	38	0,8	22	5500	2	berm
L9	Al 10 m	35	16	0,8	19	4750	--	berm
L3	Al 12 m	100	79	1,3	21	5300	--	berm
L6	Al 12 m	70	46	1,5	24	6000	--	berm

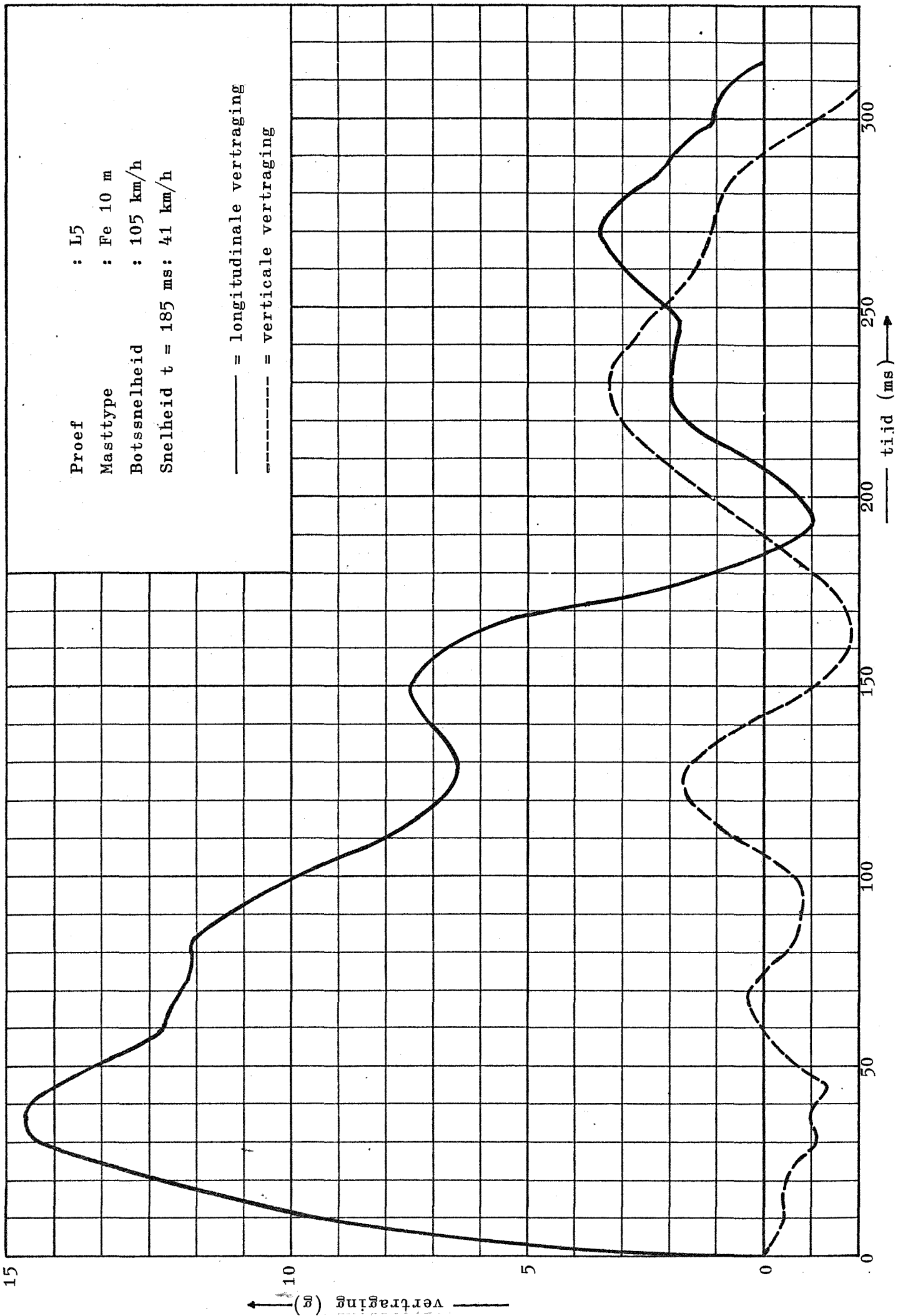
ⁿ) geen dwarsvertragingen gemeten

⁺) voor situatieschets, zie afbeelding 2

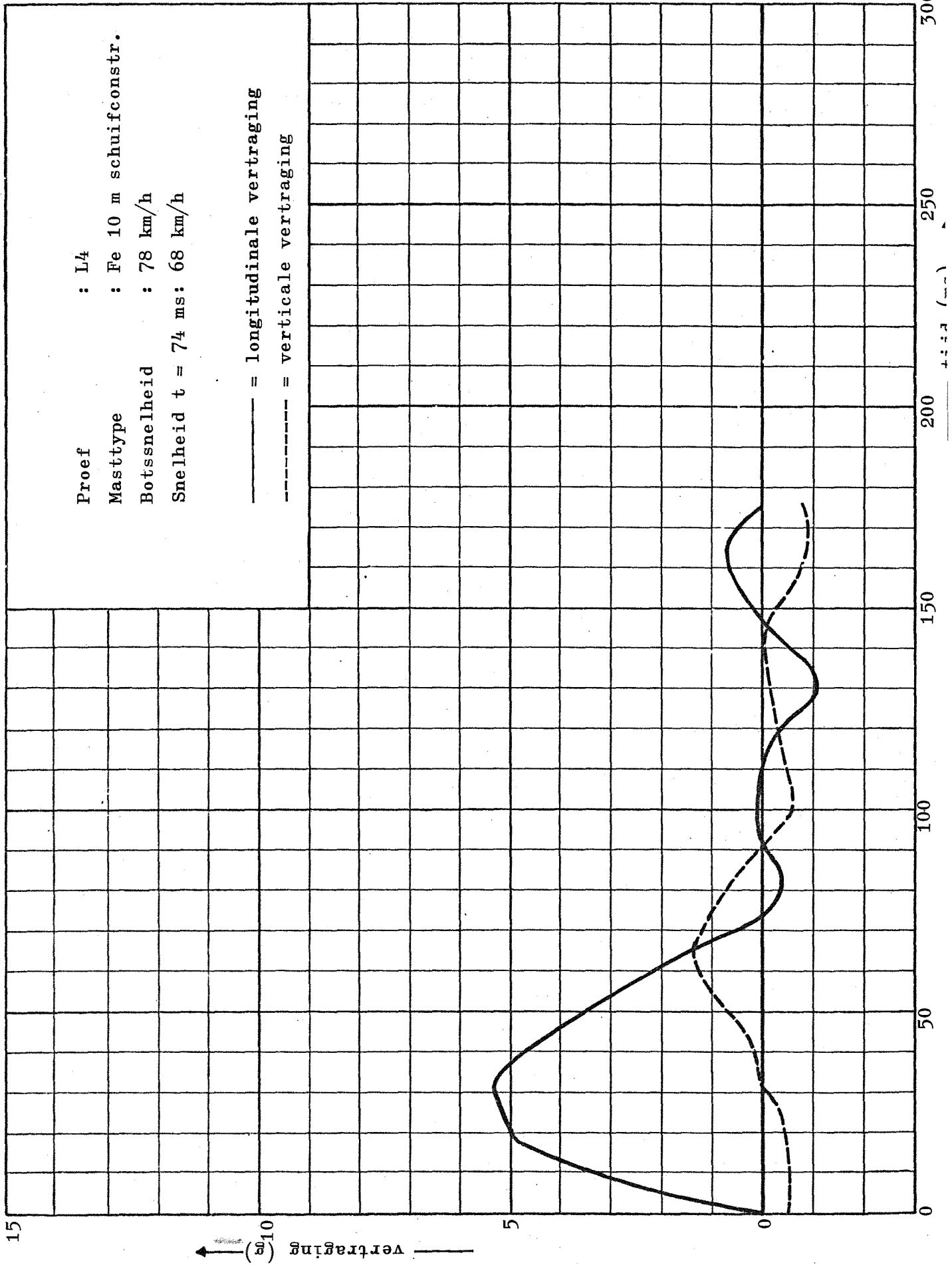
Tabel 5. Vergelijking van de uitkomsten van de proeven aan de hand van de testcriteria.



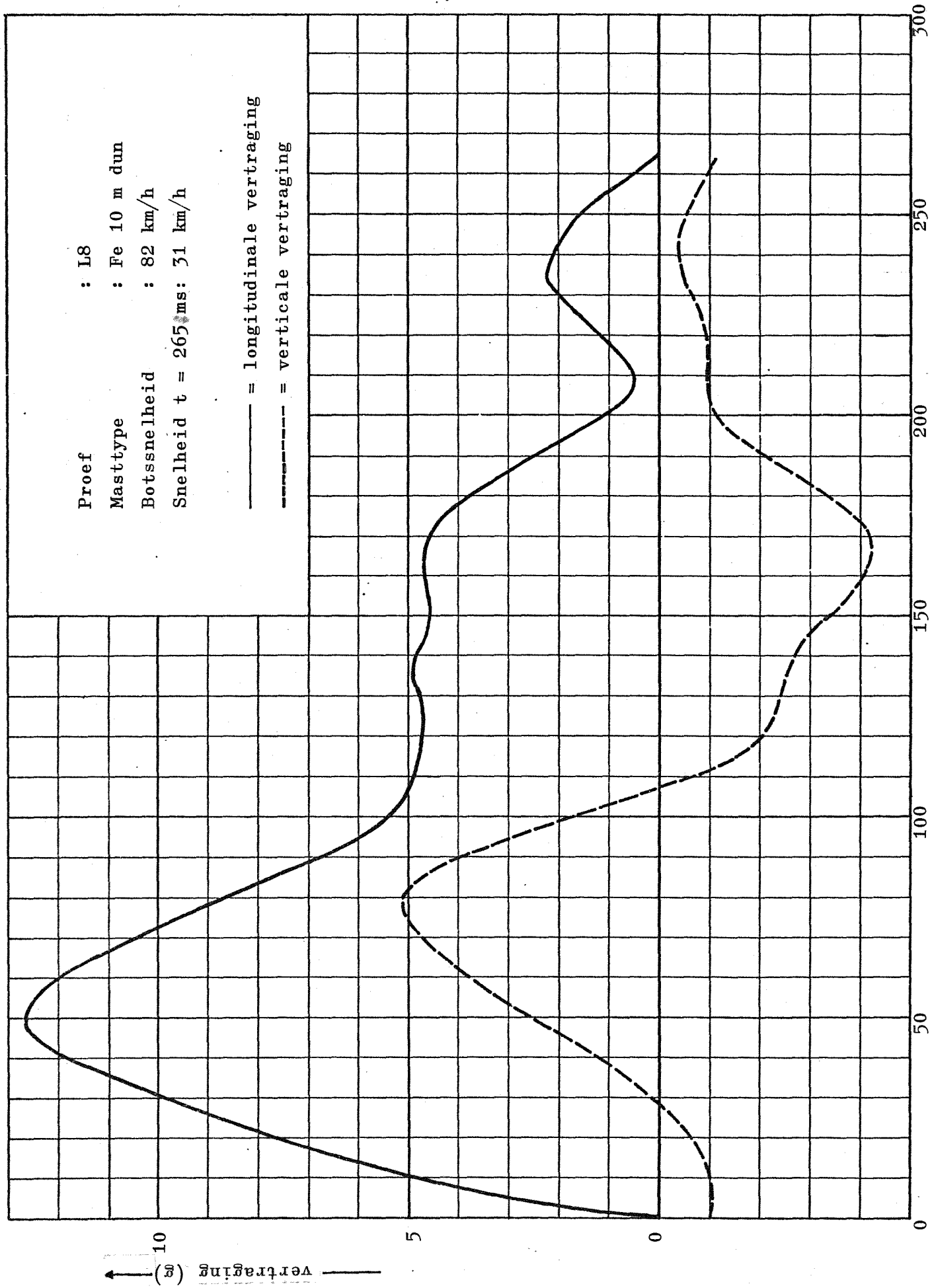
Grafiek 1. Botsproef L1.



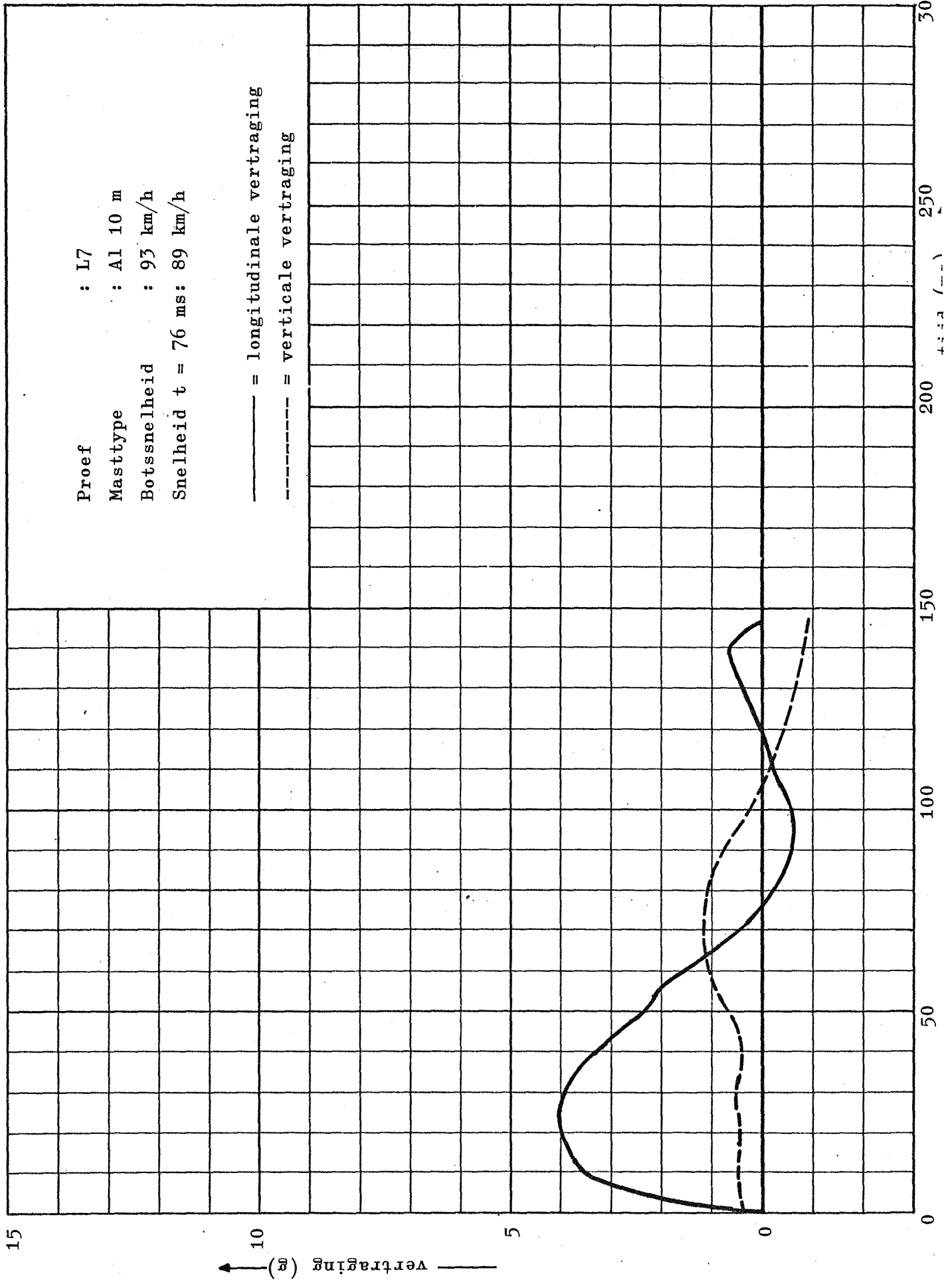
Grafiek 2. Botsproef L5.



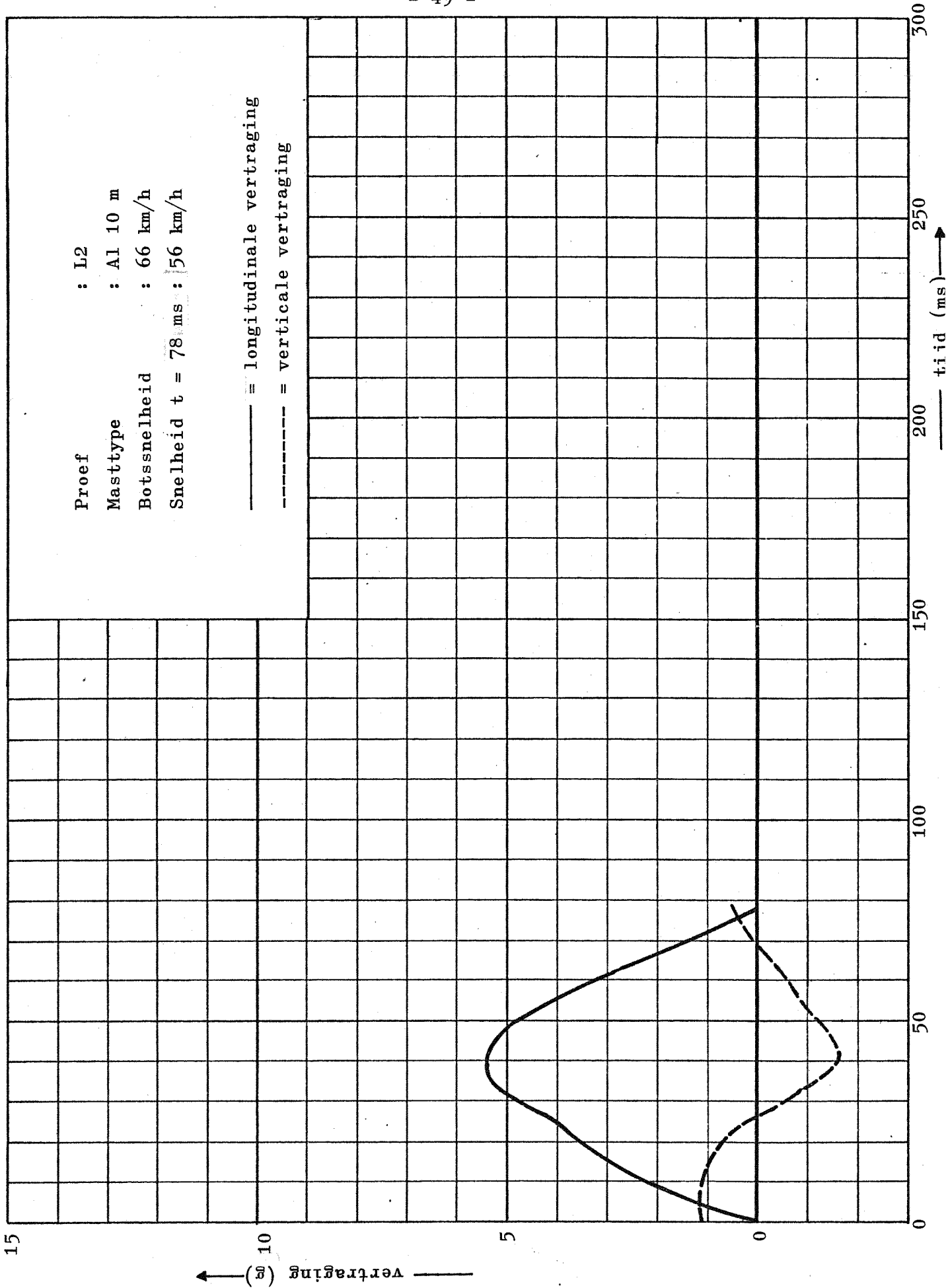
Grafiek 3. Botsproef L4.



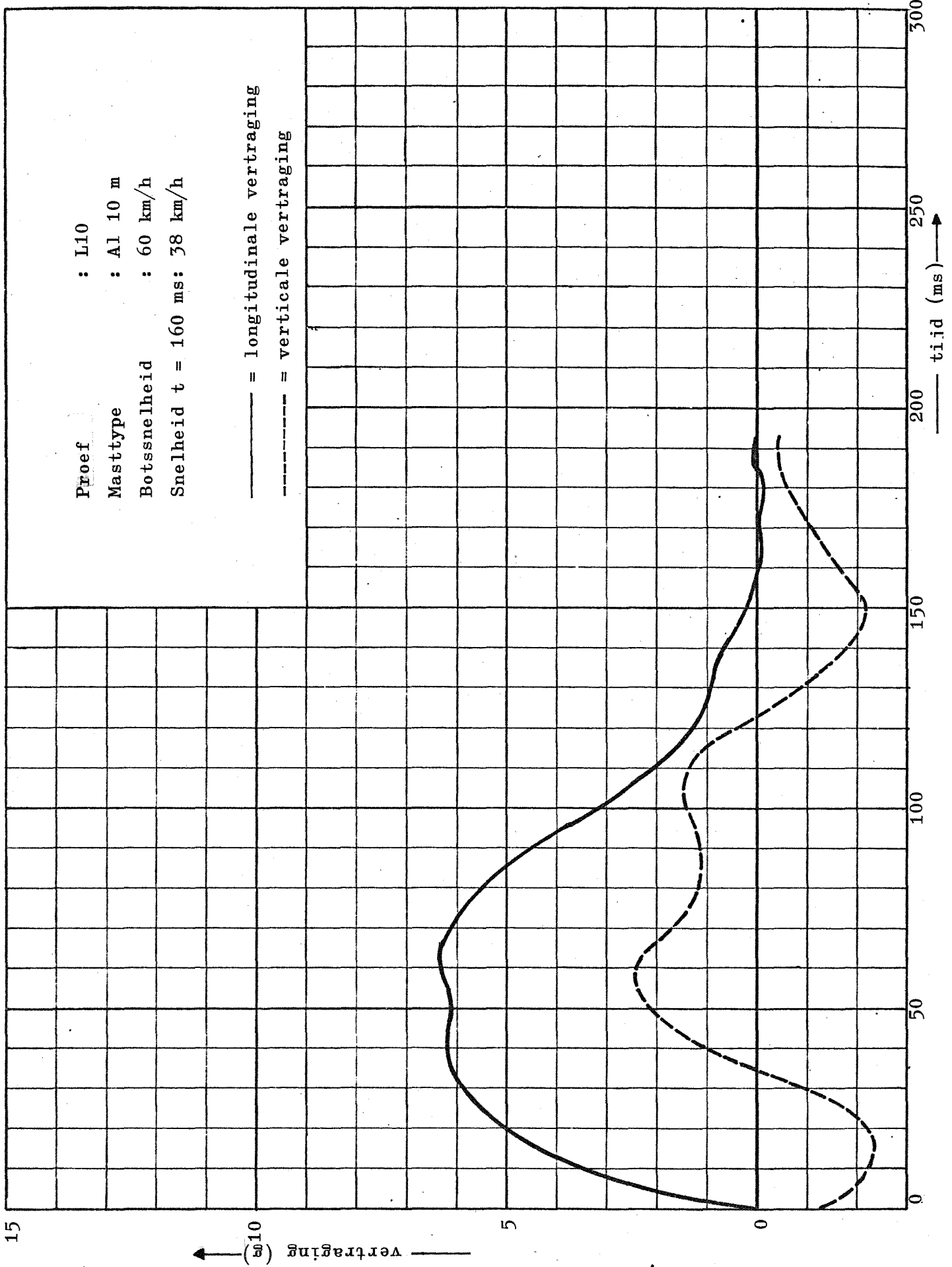
Grafiek 4. Botsproef L8.



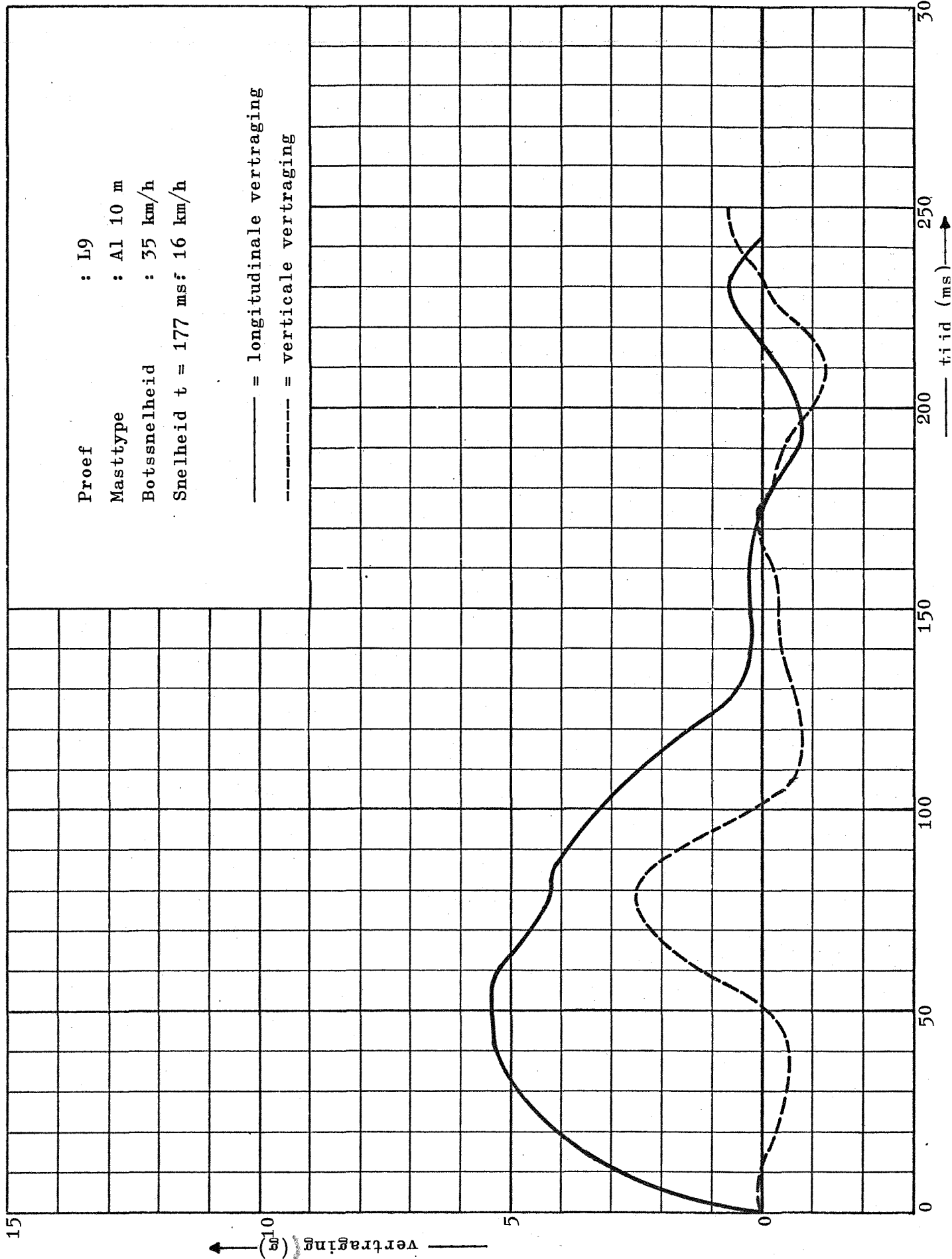
Grafiek 5. Botsproef L7.



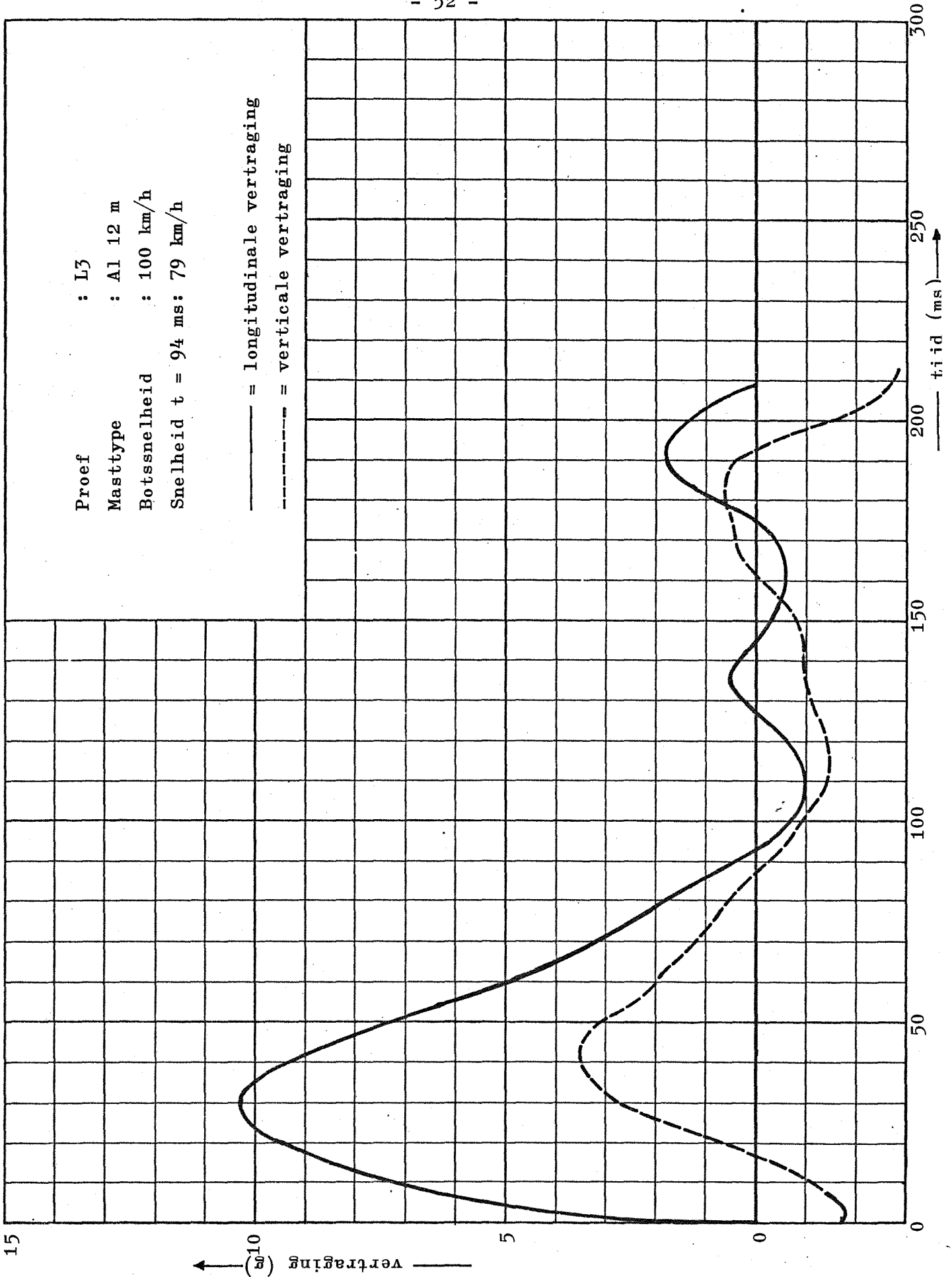
Grafiek 6. Botsproef L2.



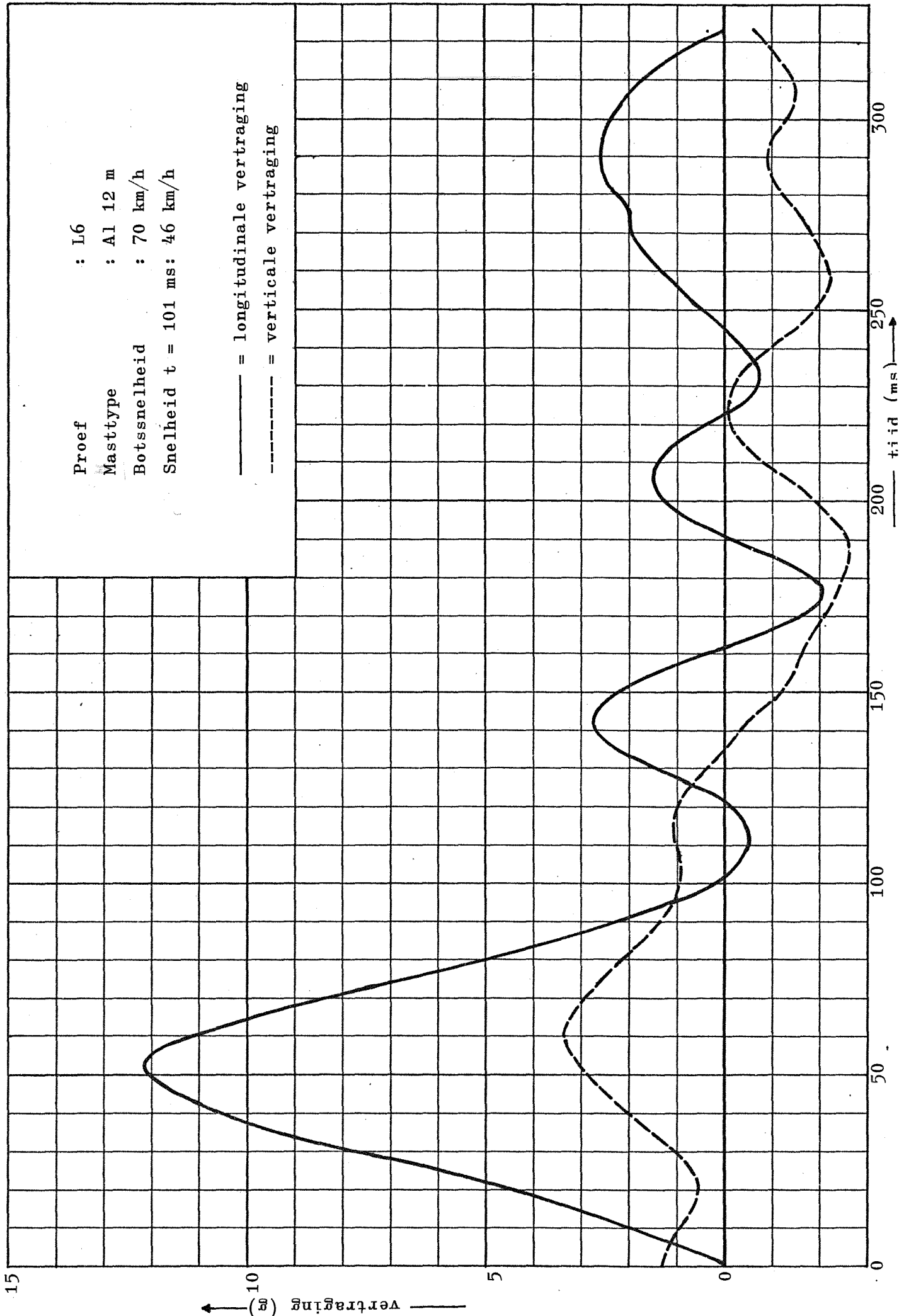
Grafiek 7. Botsproef L10.



Grafiek 8. Botsproef L9.



Grafiek 9. Botsproef L3.



Grafiek 10. Botsproef L6.