

DE VEILIGHEIDSLEUNING LANGS RIJKSWEG 15 TER HOOGTE VAN HET WELPLAAT-TRACE

R-87-38

Ing. W.H.M. v.d. Pol

Leidschendam, 1987

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV



INHOUD

Voorwoord

1. Inleiding

2. Opdracht

3. Eisen

4. Situatie

5. Simulaties deelonderzoek A

6. Simulaties deelonderzoek C

7. Samenvatting

Figuren 1 t/m 10

## VOORWOORD

De SWOV heeft in de loop van de tijd veel ervaring opgedaan met de werking van beveiligingssystemen langs autosnelwegen. Dit geldt voor zowel beveiligingssystemen in aarden banen als op kunstwerken. Toch kunnen zich situaties voordoen waarbij een bepaald beveiligingssysteem naar alle waarschijnlijkheid niet zal voldoen. Maar waar de grenzen liggen is moeilijk vast te stellen. Dit geldt zeker voor speciale situaties waarbij alleen rekening moet worden gehouden met (zeer) zwaar vrachtverkeer.

Een dergelijke situatie deed zich voor bij het hier te behandelen onderwerp; hoe moet een deel van de autosnelweg A15 over een afstand van ca. 2,5 km (het zgn. Welplaat-tracé) worden afgeschermd? Op korte afstand van dit deel van de weg is een leidingenstraat gelegen waar diverse soorten gevaarlijke en milieu-onvriendelijke stoffen doorheen worden getransporteerd.

Sinds enkele jaren kan de SWOV over een mathematisch model beschikken waarmee aanrijdingen met (zeer) zware voertuigen tegen beveiligingssystemen kunnen worden gesimuleerd. Met dit model is het mogelijk om in relatief korte tijd antwoord te geven op vragen als: "Voldoet een voorgesteld beveiligingssysteem aan de gestelde eisen?" en zo niet: "Welke verbeteringen kunnen worden aangebracht om alsnog aan de gestelde eisen te voldoen?". Het mathematisch model is ontwikkeld door prof.ir. V. Giavotto, hoofd van de afdeling vliegtuigbouw van de TH te Milaan.

## 1. INLEIDING

In april 1986 heeft de Rijkswaterstaat (RWS), na uitvoerig overleg met de SWOV, aan prof.ir. V. Giavotto (SPAT-Milaan) de opdracht gegeven de veiligheidsleuning (t.b.v. het Welplaat-tracé) op zijn werking te beoordelen. Deze veiligheidsleuning is de zwaarste brugbeveiligingsconstructie die in de RWS-richtlijnen voorkomt. Het onderzoek was noodzakelijk omdat deze veiligheidsleuning niet in staat werd geacht aan de gestelde eisen te voldoen.

De opdracht voor dit onderzoek is aan prof.ir. V. Giavotto gegeven omdat de SWOV toen nog niet zelf de kennis in huis had om de veiligheidsleuning in computerinvoer te vertalen voor de benodigde simulaties.

Prof. Giavotto heeft zowel het ontwikkelingsonderzoek als enkele simulaties uitgevoerd. Gezien de omvang van de dataset en de capaciteit van diens computer heeft de SWOV later een deel van de uit te voeren simulaties overgenomen. Hierbij is dankbaar gebruik gemaakt van de door prof. Giavotto voorgestelde veranderingen aan de veiligheidsleuning.

## 2. OPDRACHT

De opdracht van RWS aan prof. Giavotto luidde:

1. Onder welke condities zullen (zeer) zware voertuigen door de veiligheidsleuning heen breken dan wel er overheen gaan?
2. Wanneer dit het geval is, hoe kan de veiligheidsleuning worden verbeterd om dit te voorkomen?

Het gedrag van de voorgestelde veiligheidsleuning (zie Figuur 1) tijdens aanrijdingen met zware voertuigen was onbekend. Daarom is een onderzoek in drie opeenvolgende delen voorgesteld.

- A. Simulaties met een zware vrachtwagen (30 ton) en een trekker met oplegger (40 ton). Hierbij dient tevens te worden vastgesteld waar de voertuigen het maaiveld raken wanneer zij door of over de veiligheidsleuning gaan.
- B. Vaststellen van de grenzen van de veiligheidsleuning bij goed functioneren.
- C. Zodanige modificatie van de veiligheidsleuning afhankelijk van de resultaten van A en B dat de voertuigen tenminste binnen een afstand van 7,5 meter terecht komen.

Gezien de sterkte van de damwand (zie Hoofdstuk 4) gelden voor de verbindingen tussen paal en damwand de volgende beperkingen:

- Het maximale moment dat de paal op de damwand mag uitoefenen, bedraagt 3 tfm.
- De maximale laterale kracht bedraagt 11 tf. per paal bij een paalafstand van 2 meter.

### 3. EISEN

Eerst zullen simulaties worden uitgevoerd met een 30-tons vrachtwagen en een 40-tons trekker met oplegger. Voor beide voertuigen wordt een inrij-snelheid van 80 km/uur en een inrijhoek van 15 graden gehanteerd.

In een later stadium, zullen ook simulaties moeten worden uitgevoerd met een 40-tons vrachtwagen en een 50-tons trekker met oplegger. In beide gevallen zal worden uitgegaan van een inrij-snelheid van 90 km/uur. De inrijhoek blijft 15 graden.

Wanneer blijkt dat een voertuig door de veiligheidsleuning heen breekt, mag het voertuig in eerste instantie niet op de leidingenstraat terecht komen.

N.B. Met uitzondering van één simulatie worden voertuiggewicht en lading als één geheel gezien. De voertuigen kunnen tijdens de botsing hun lading niet verliezen. De uitzondering wordt gevormd door twee grote rollen met elk een gewicht van 10 ton. De rollen worden alleen door wiggen (bevestigd aan de oplegger) op hun plaats gehouden.

De geselecteerde inrijcondities zijn:

- 80 km/uur en 15 graden (met invloed geleiderailconstructie)
- 90 km/uur en 15 graden (zonder invloed geleiderailconstructie)

De geselecteerde voertuigen zijn:

- vrachtwagen met een gewicht van 30 ton (3 assen), Figuur 2
- vrachtwagen met een gewicht van 40 ton (3 assen), Figuur 2\*
- trekker met oplegger met een gewicht van 32,5 ton (4 assen), losse lading, Figuur 3
- trekker met oplegger met een gewicht van 36,5 ton (4 assen), vaste lading, Figuur 4
- trekker met oplegger met een gewicht van 50 ton (6 assen), vaste lading, Figuur 5

\* De simulatie met deze vrachtwagen is uitgevoerd om de sterkte van de veiligheidsleuning te testen. Het is geen bestaand type vrachtwagen.

#### 4. SITUATIE

Figuur 6 geeft een schematische doorsnede van de af te schermen situatie. De snelweg ligt op een ophoging van ca. 6 meter. Gezien de beperkte ruimte ter plaatse wordt de ophoging begrensd door een damwand. De veiligheidsleuning staat op de rand van de damwand; ca. 7,5 meter uit deze damwand gemeten ligt, 1 meter onder maaiveld, een leidingenstraat.



## 5. SIMULATIES DEELONDERZOEK A

In de simulatie met de veiligheidsleuning is de ervoor staande geleide-railconstructietype F 2m 400 (zie RWS-richtlijnen "Bermbeveiligingen in aardebanen van autosnelwegen") weggelaten. De invloed van deze constructie op het botsende voertuig is verwerkt in de inrijsnelheid van het voertuig. De grootte van deze snelheidsreductie is bekend uit eerder uitgevoerd onderzoek (zie SWOV rapport R-77-36 "Viaductbeveiligingsconstructie voor vrachtauto's"). De toegepaste snelheidsreductie bedraagt 8,4 km/uur.

### Simulatie 1

De simulatie is met een vrachtwagen van 30 ton bij een snelheid van 71,6 km/uur en een inrijhoek van 15 graden uitgevoerd op het oorspronkelijke ontwerp (zie Figuur 1).

De resultaten van deze simulatie zijn slecht te noemen (zie Figuur 7). De vrachtwagen breekt door de veiligheidsleuning heen en komt op de leidingstraat terecht. Een belangrijke oorzaak voor het falen van de veiligheidsleuning is het aanwezig zijn van de expansievoegen. Tijdens het uitbuigen worden deze voegen uit elkaar getrokken en valt de leuning als het ware in stukken uiteen.

Gezien de resultaten van deze simulatie is het niet zinvol met het oorspronkelijke ontwerp verder te gaan. Besloten is dan ook om reeds in dit stadium van het onderzoek twee verbeteringen aan te brengen.

- In de voegen tussen twee leuningelementen worden 2 M12 bouten aangebracht om te voorkomen dat deze voegen geheel uit elkaar kunnen worden getrokken.
- De voetplaat wordt breder gemaakt, waardoor de ankerbouten verder uit elkaar komen te staan. De voetplaat kan dan meer vervormingsenergie opnemen voordat de las gaat scheuren.

N.B. Gelijke werking als bij de palen voor geleiderailconstructie op kunstwerken (zie RWS-richtlijnen "Bermbeveiligingen op kunstwerken").

### Simulatie 2

Bij deze simulatie is verder alleen de inrijhoek van 15 graden naar 10 graden teruggebracht. De aangebrachte verbeteringen, het koppelen van de leuningelementen en de verbreding van de voetplaat, hebben een gunstig effect op de afloop van de aanrijding. De veiligheidsleuning buigt nu over

een grote lengte uit, waarbij de vrachtwagen uiteindelijk over de constructie heen rolt en naar beneden valt. De vrachtwagen komt wel binnen de afstand van 7,5 meter terecht.

### Simulatie 3

Vergroting van de inrijhoek tot 15 graden heeft tot gevolg dat de vrachtwagen eerder over de uitbuigende veiligheidsleuning heen rolt en in de buurt van de leidingenstraat terecht komt.

Een andere oorzaak van het falen van de veiligheidsleuning is de plaats ervan ook na het aanbrengen van de hierboven vermelde verbeteringen. De constructie staat boven op de damwand. Enige uitbuigruimte, waarbinnen het voertuig op hoogte blijft, is niet aanwezig. Reeds bij enige uitbuiging rijden de wielen aan de botskant over de rand heen en zal het voertuig gemakkelijker over de rand en de constructie heen rollen.

### Samenvatting

Gezien de resultaten van deze drie simulaties lijkt het weinig zinvol deelonderzoek B uit te voeren. Het oorspronkelijke ontwerp moet nauwelijks in staat worden geacht om zware voertuigen, ook onder lichte inrijcondities, tegen te houden.

## 6. SIMULATIES DEELONDERZOEK C

### Simulatie 4

In deze simulatie is de veiligheidsleuning onder een hoek van 30 graden voorover geplaatst. De simulatie is uitgevoerd met een vrachtwagen van 30 ton. De inrijsnelheid is 71,6 km/uur en de inrijhoek is 10 graden.

De resultaten zijn redelijk. Het voertuig wordt tegengehouden en valt niet naar beneden. De rolhoek van het voertuig is echter, mede gezien de inrijhoek, aan de hoge kant. De grootte van de optredende rolhoek wordt veroorzaakt door de geringe hoogte van de veiligheidsleuning. De hoogte is namelijk maar 90 cm.

### Simulatie 5

Voor de volgende simulatie is de hoogte opgetrokken tot 140 cm en de hoek die de constructie vooroverhelt teruggebracht naar 23 graden. De inrijcondities zijn gelijk aan de voorgaande simulatie.

De resultaten van deze simulatie zijn redelijk goed. De vrachtwagen wordt omgeleid, waarbij de rolhoek maximaal 20 graden is.

### Simulatie 6

Vergroting van de inrijhoek naar 15 graden heeft tot resultaat dat het voertuig wel wordt tegengehouden, maar omrolt, en op de zijkant tot stilstand komt.

De volgende simulaties worden uitgevoerd met de verzwaarde inrijcondities nl. met 90 km/uur in plaats van 71,6 km/uur. Ook zullen bij enkele simulaties de voertuiggewichten worden verhoogd.

### Simulatie 7

Verhoging van de inrijsnelheid naar 90 km/uur heeft tot gevolg dat het voertuig door de veiligheidsleuning heenrijdt en naar beneden valt. De restsnelheid waarmee het voertuig de grond raakt bedraagt ca. 62 km/uur. De afstand tot de damwand bedraagt ca. 3,7 meter.

Bij de simulaties 1 t/m 6 is geen rekening gehouden met de 15 cm hoge afwerkrand op de damwand.

In de volgende simulaties wordt wel met deze afwerkrand rekening gehouden. De constructie komt daardoor 15 cm hoger te staan. Dit is gunstig ten

opzichte van de zwaartepunten van de voertuigen. Ook de 15 cm hoge afwerk-  
rand zal waarschijnlijk een gunstig effect op de afloop van de aanrijding  
hebben. Gezien de geringe hoogte ten opzichte van de wieldiameter zullen  
de wielen gemakkelijk op de rand rijden. Dit zal in het begin van de aan-  
rijding een gunstig effect op de rolhoek hebben.

#### Simulatie 8

De simulatie is uitgevoerd met een 40 tons (theoretische) vrachtwagen.  
Inrijshnelheid en inrijhoek zijn 90 km/uur en 15 graden. De afloop van de  
botsing is gelijk aan de voorgaande simulatie. De vrachtwagen rijdt door  
de constructie heen en valt naar beneden. De restsnelheid waarmee het  
voertuig de grond raakt, bedraagt ca. 63 km/uur en de afstand tot de dam-  
wand eveneens ca. 7,3 meter (zie Figuur 8).

#### Simulatie 9

De simulatie wordt uitgevoerd met een trekker-oplegger combinatie. De  
lading bestaat uit twee grote rollen, elk met een gewicht van 10 ton. Het  
totale gewicht bedraagt 32,5 ton. Inrijshnelheid en inrijhoek zijn resp.  
90 km/uur en 15 graden.

De trekker met oplegger wordt door de veiligheidsleuning goed omgeleid,  
waarbij de constructie maar weinig uitbuigt. De twee rollen gaan echter  
door de botsing over de constructie heen omdat een goede bevestiging ont-  
breekt. Beide rollen vallen binnen de afstand van 7,5 meter op de grond,  
één op 5,1 meter en de ander op 6,7 meter van de damwand (zie Figuur 9).  
De snelheid is hoog, ca. 95 km/uur.

Dat de combinatie niet door de veiligheidsleuning heen rijdt heeft twee  
redenen:

- Het gewicht van de trekker is relatief klein, waardoor de trekker gemak-  
kelijk door de constructie wordt omgeleid. De oplegger wordt hierdoor ook  
van richting veranderd.
- Door de botsing rollen de twee zware rollen van de oplegger, waardoor  
het totale botsgewicht sterk wordt gereduceerd.

#### Simulatie 10

Bij de simulatie wordt de belading vast aan de oplegger bevestigd. Het  
totale gewicht van de trekker met oplegger wordt verhoogd tot 36,5 ton.  
Dit is het wettelijk maximale gewicht van een dergelijke combinatie met  
vier assen.

De resultaten zijn goed. De combinatie rijdt niet door de constructie heen, maar wordt omgeleid. Het voertuig rolt om en komt op de zijkant tot stilstand. Hierbij wordt de constructie over grote afstand vernield. Ook hier geldt wat bij de vorige simulatie als eerste reden is gegeven. Het feit dat de trekker door zijn relatief lage gewicht gemakkelijk wordt omgeleid heeft een dusdanig gunstig effect op de afloop van de botsing dat de constructie niet wordt doorschreden.

#### Simulatie 11

De laatste simulatie wordt uitgevoerd met een totaal gewicht van 50 ton (wettelijk maximum voor een 6-assige trekker-oplegger combinatie). Ook hier zijn de inrijnsnelheid en de inrijhoek weer 90 km/uur en 15 graden. Nu wordt de veiligheidsleuning wel doorschreden en valt de combinatie naar beneden. De combinatie raakt ca. 4,0 meter vanaf de damwand de grond (zie Figuur 10).

Simu- latie nr.	Inrij- con- ditie (km/u gr)	Con- struc- tie type	Voertuig	Plaats van neerkomen vanuit damwand gemeten boven onder		Snelheid van neerkomen x , y , z richting			Gewicht (kg)
				(m)	(m)	(km/u)			
1	72/15	A	vrachtw 30t	>7.5					30000
2	72/10	B	vrachtw 30t	<7.5					30000
3	72/15	B	vrachtw 30t	<7.5					30000
4	72/10	C	vrachtw 30t	boven					
5	72/10	D	vrachtw 30t	boven					
6	72/15	D	vrachtw 30t	boven					
7	90/15	E	vrachtw 30t	3.7	ca 62	45	39	19	30000
8	90/15	E	vrachtw 40t	7.3	ca 63	22	48	34	40000
9	90/15	E	tr+opl 32.5t	boven					
			lading 1	5.1	ca 95	84	17	45	10000
			lading 2	6.7	ca 95	81	21	45	10000
10	90/15	E	tr+opl 36.5t	boven					
11	90/15	E	tr+opl 50t	4.0	ca 62	56	27	4	50000

Constructietypen

- A = oorspronkelijk ontwerp
- B = A + koppelen leuningelementen + bredere voetplaten
- C = B + 30° vooroverhellend
- D = C + constructiehoogte 140 cm, 23° hellend
- E = D + constructie op 15 cm hoge afwerkrand

Tabel 1. Resultaten simulaties. De snelheden in y-richting zijn naar de leidingenstraat gericht.

## 7. SAMENVATTING

De oorspronkelijke veiligheidsleuning is niet in staat aan de gestelde eisen te voldoen. Ook niet onder (zeer) lichte inrijcondities.

De voorgestelde en aangebrachte modificaties aan de veiligheidsleuning zijn even zovele verbeteringen. Door het aanbrengen van het langsverband werkt de constructie als één geheel. Door het verbreden van de voetplaat kan de constructie meer energie opnemen voordat de paal afbreekt. Door de constructie voorover te plaatsen wordt meer uitbuigingsruimte verkregen. Door de constructie hoger te plaatsen wordt een betere verhouding verkregen tussen de hoogte van de zwaartepunten van de voertuigen en de hoogte van de constructie. De nieuwe constructie voldoet ook bij de zeer zware eis van 90 km/uur goed aan de eis dat als voertuigen door de constructie breken deze tenminste binnen de afstand van 7,5 meter van de damwand op de grond terecht komen.

Het is moeilijk te voorspellen of de voertuigen, wanneer ze naar beneden vallen, in tweede instantie eventueel toch nog op de leidingenstraat terecht zullen komen. Dit hangt sterk af van hoe de voertuigen de grond raken en in welke richting de restsnelheid gaat. Tabel 1 geeft een overzicht van de simulatieresultaten.





FIGUREN 1 T/M 10

Figuur 1. Oorspronkelijk ontwerp veiligheidsleuning.

Figuur 2. Vrachtwagen.

Figuur 3. Trekker met oplegger, losse lading.

Figuur 4. Trekker met oplegger, vaste lading.

Figuur 5. Trekker met oplegger, vaste lading.

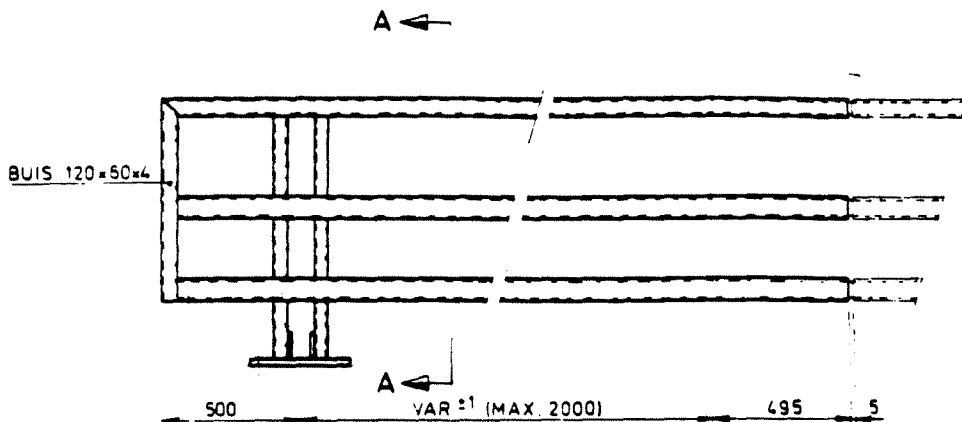
Figuur 6. Schematische doorsnede autosnelweg A15.

Figuur 7. Simulatie 1.

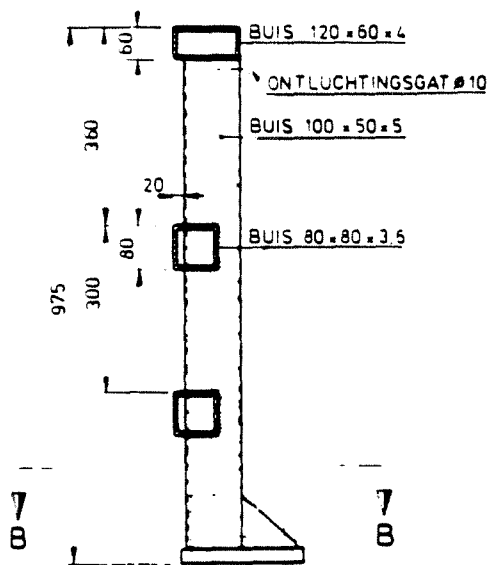
Figuur 8. Simulatie 8.

Figuur 9. Simulatie 9.

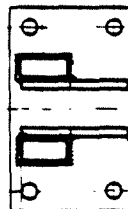
Figuur 10. Simulatie 11.



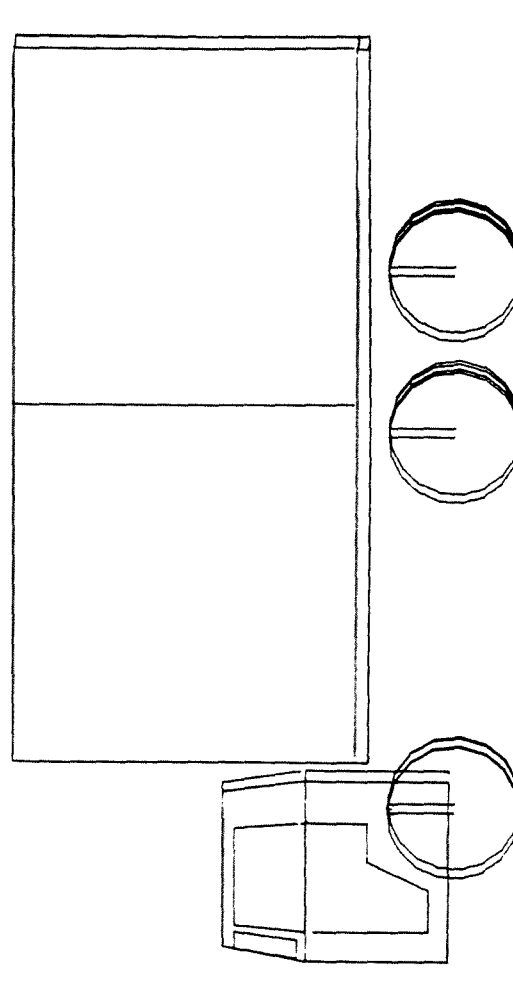
DOORSNEDE A-A



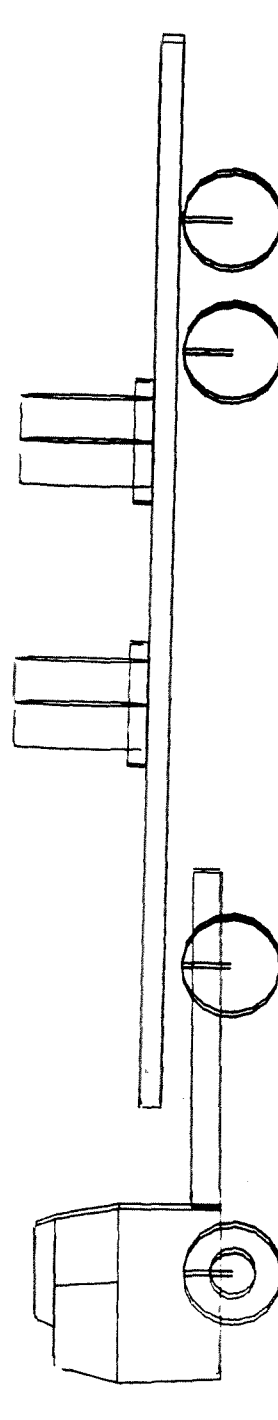
DOORSNEDE B-B



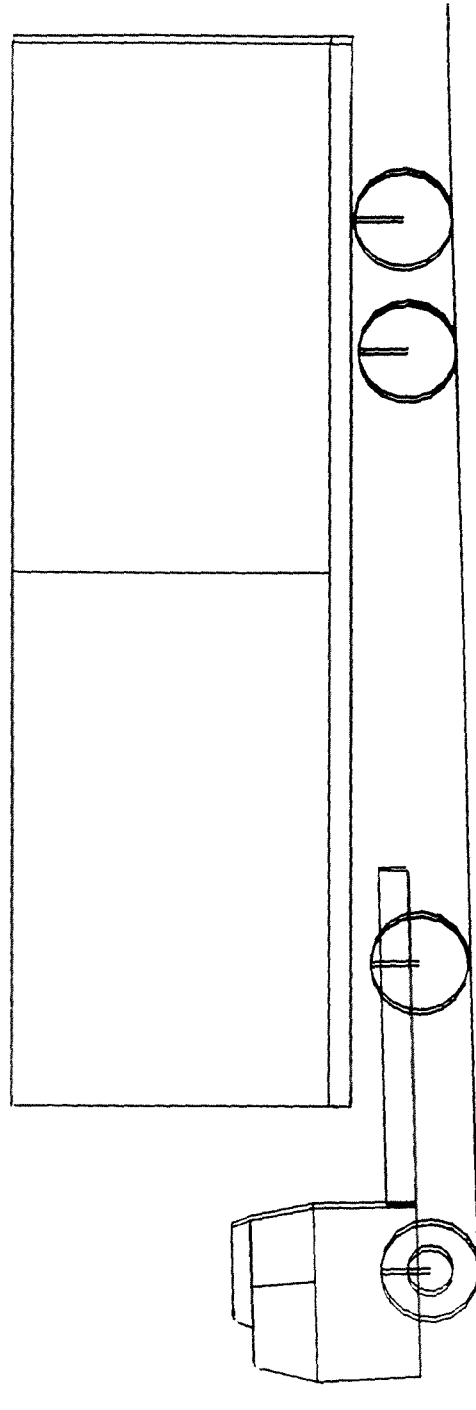
Figuur 1. Oorspronkelijk ontwerp veiligheidsleuning.



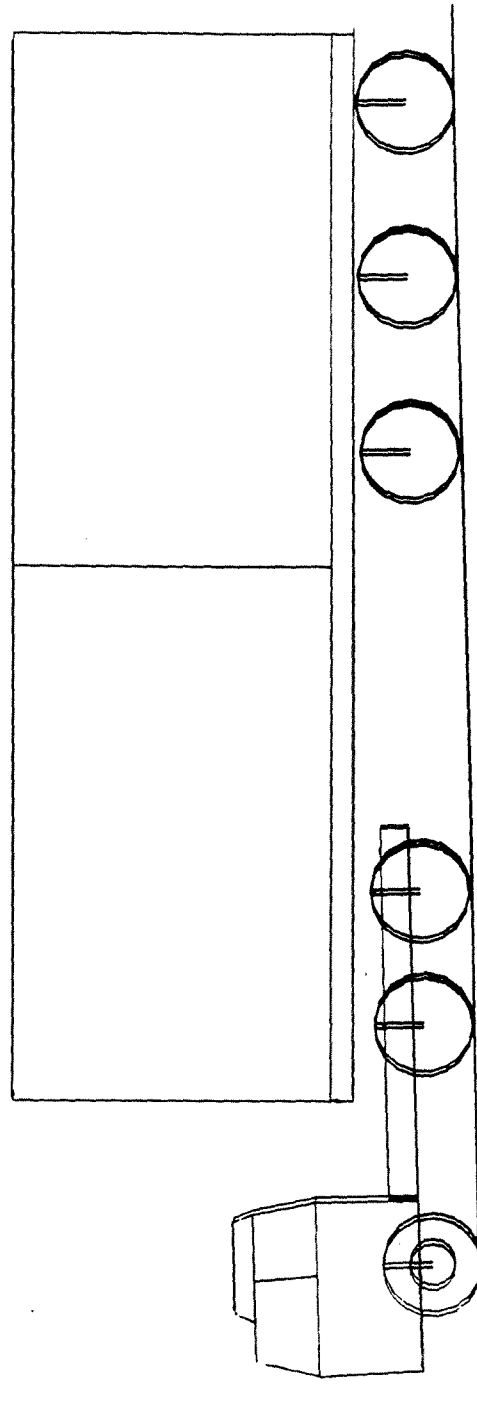
Figuur 2. Vrachtwagen.



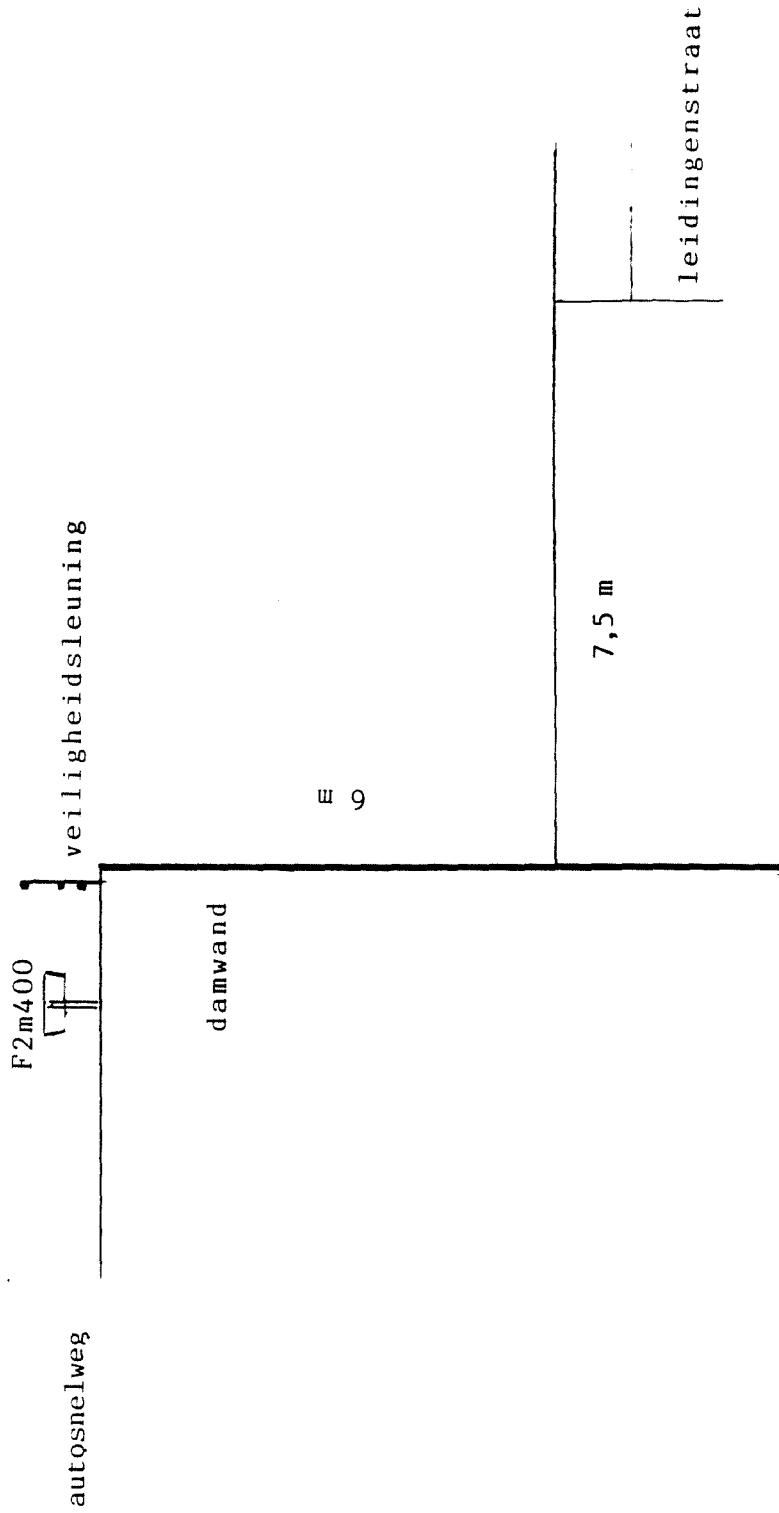
Figuur 3. Trekker met oplegger, losse lading.



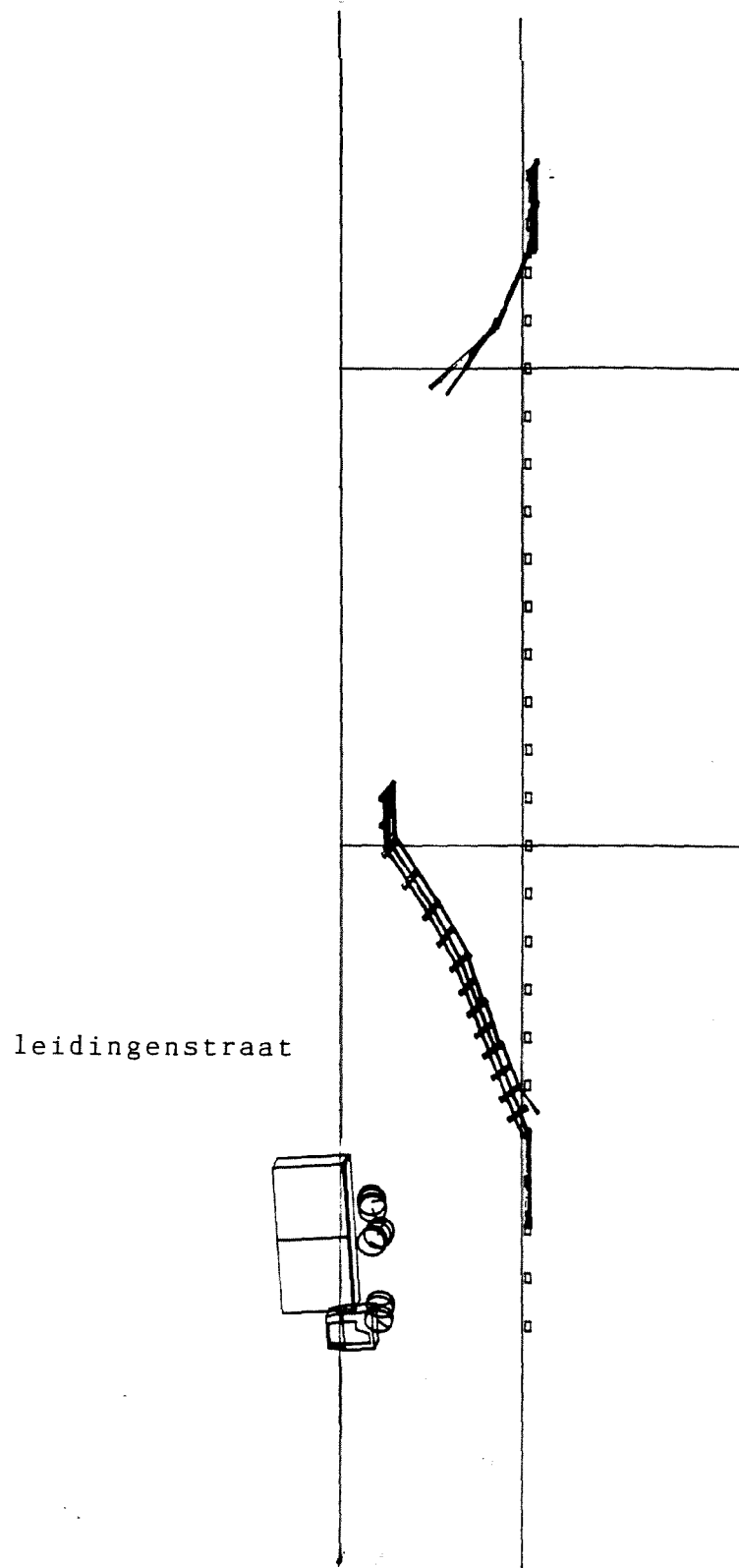
Figuur 4. Trekker met oplegger, vaste lading.



Figuur 5. Trekker met oplegger, vaste lading.

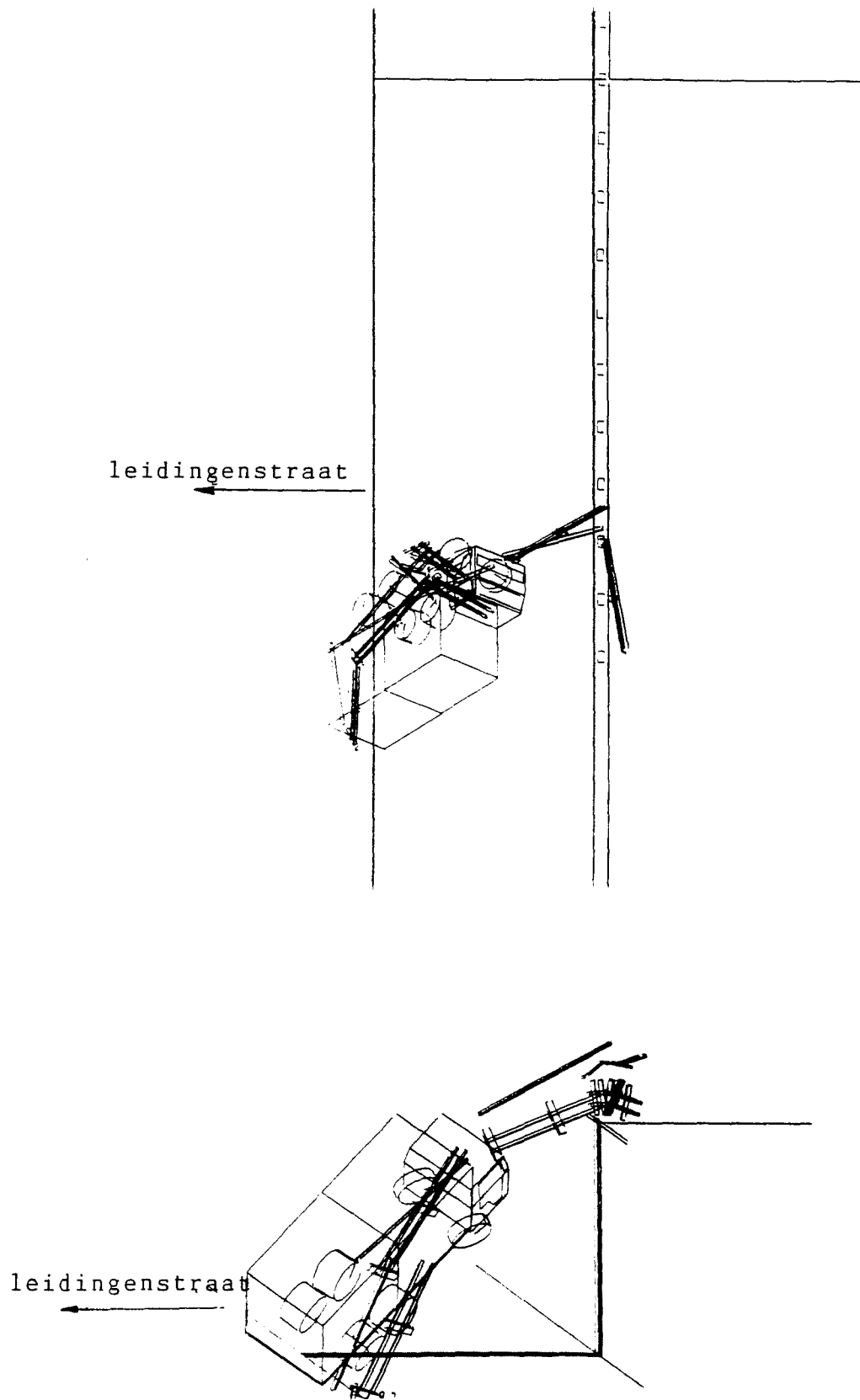


Figuur 6. Schematische doorsnede autosnelweg A15.

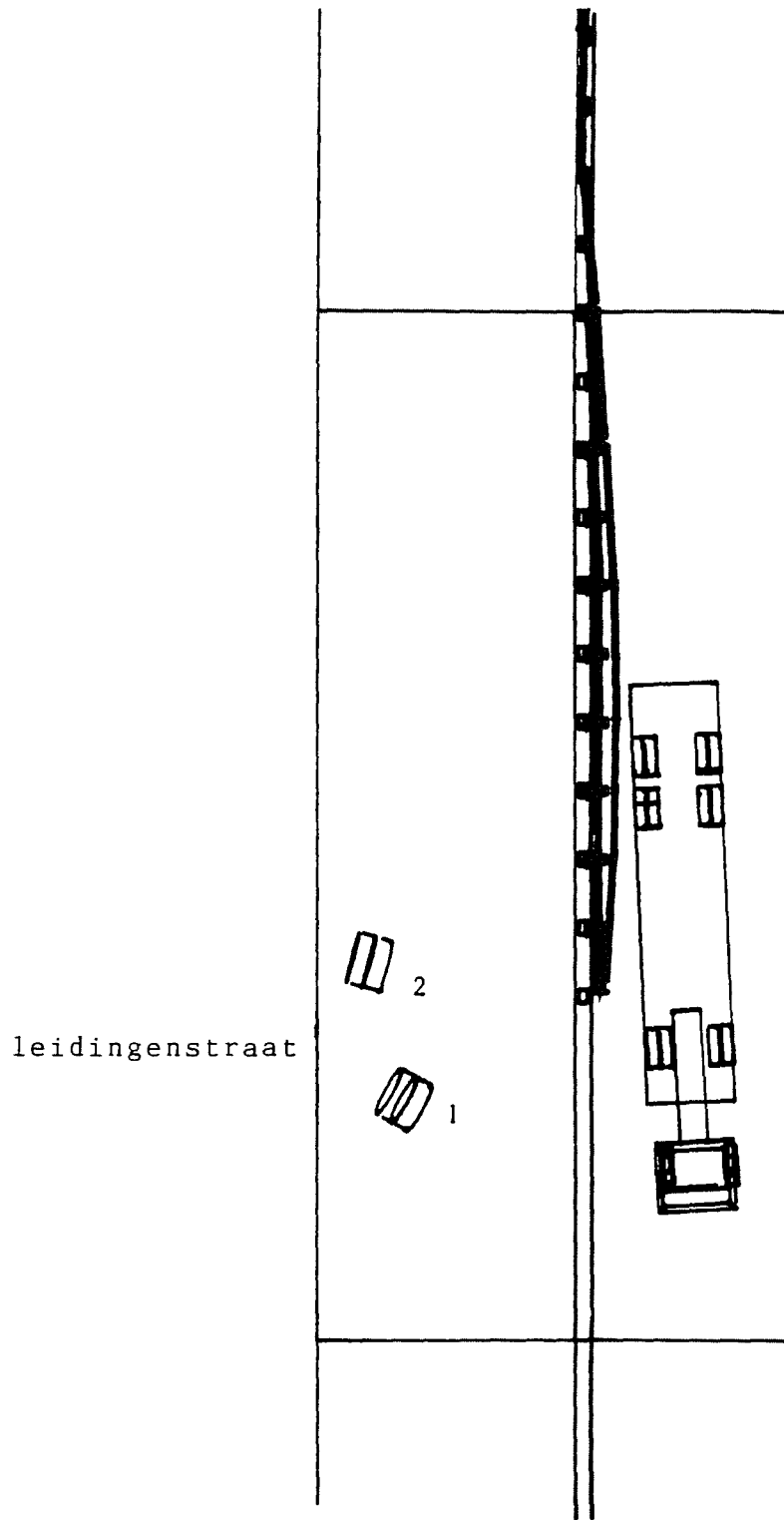


Figuur 7. Simulatie 1.

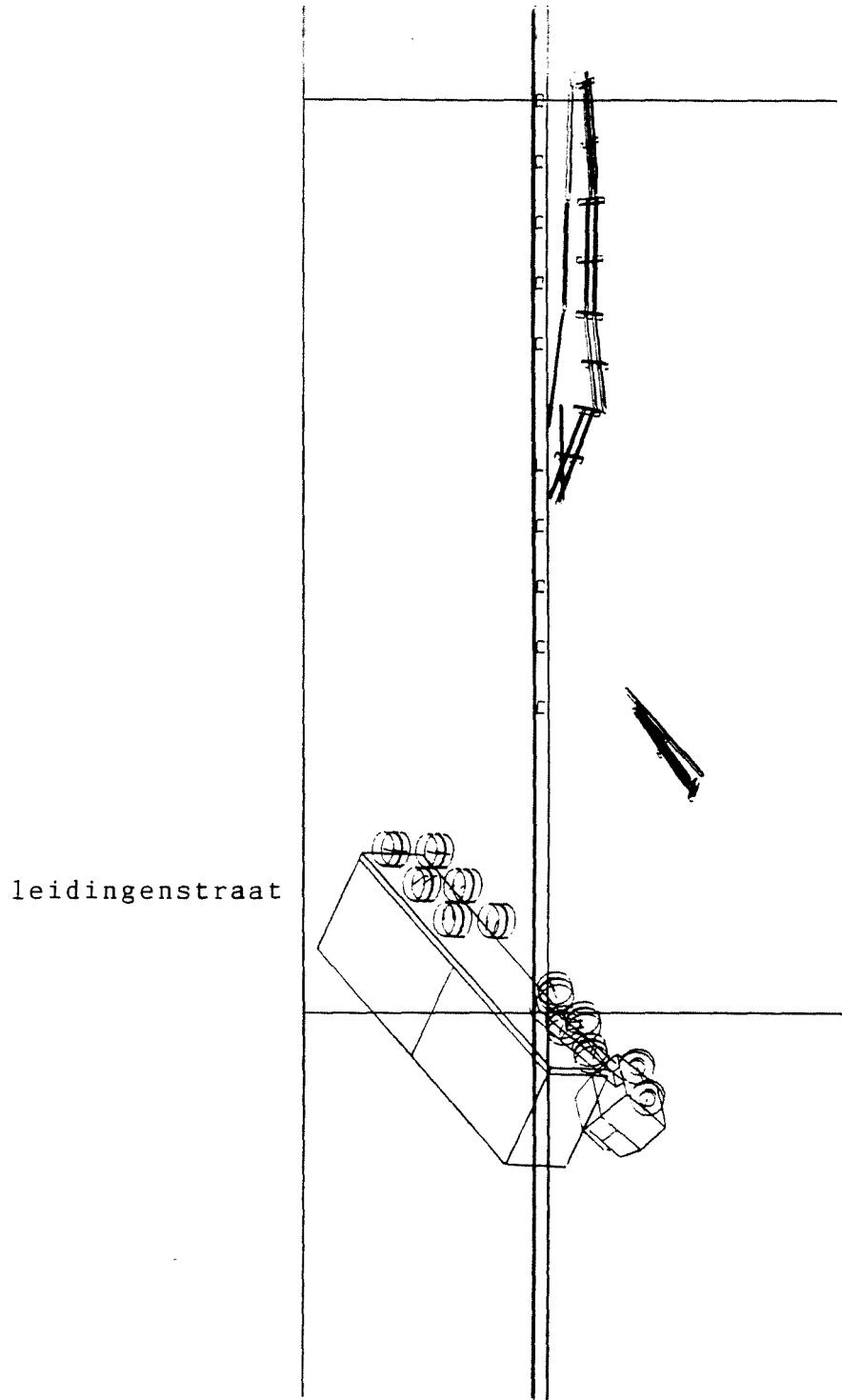




Figuur 8. Simulatie 8.



Figuur 9. Simulatie 9.



Figuur 10. Simulatie 11.