

REMSYSTEMEN VAN ZWARE VOERTUIGEN

Mogelijkheden ter verbetering

R-92-6

J.P.M. Tromp

Leidschendam, 1992

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

INHOUD

1. Inleiding

2. Het remsysteem: de theorie

2.1. Algemeen

2.2. Solovoertuig met constante belading

2.3. Het remmen bij wisselende belading

2.4. Het remmen bij een geleed voertuig

3. Context van het remsysteem

4. Deelonderwerpen

4.1. De componenten van het remsysteem

4.2. De remkrachtverdeling en de aanpassing aan de belading

4.3. Het remgedrag in bochten

4.4. De regelgeving en de afstemming tussen trekkend en getrokken materieel

4.5. De regelingen binnen het remsysteem

4.6. De afstelling, het onderhoud en defecten

5. Het deelonderwerp Regelingen

5.1. Algemeen

5.2. Anti-blokkeerssystemen

5.3. Remkrachtregeling

Literatuur

Afbeeldingen 1 t/m 13

1. INLEIDING

Bij het remmen van zware voertuigen doet zich een aantal problemen voor. Zware voertuigen hebben een langere remweg dan de overige voertuigen. Vanwege de hoge belasting worden banden van zware voertuigen bijna uitsluitend van natuurrubber gemaakt, dat veel minder hysteresis en daardoor minder warmte-ontwikkeling vertoont dan de bij personenauto's gebruikelijke kunstrubbersoorten. Natuurrubber heeft echter een lagere wrijvingscoëfficiënt, waardoor de bereikte vertragingen geringer zijn en de remweg langer is dan die van personenauto's.

De stabiliteit van zware voertuigen is tijdens het remmen gering. Er treedt gewichtsoverzetting naar voorliggende assen op en daarbij zijn er grote verschillen tussen lege en beladen voertuigen. Hierdoor is het moeilijk om, ondanks toepassing van zogenaamde lastafhankelijke regelingen (ALR's), overberemming van één of meer assen te voorkomen. Door deze overberemming kan blokkeren van wielen optreden, met verlies van stabiliteit en/of bestuurbaarheid als gevolg.

Bij gelede voertuigen is dit probleem nog groter. Door de vultijdvertraging van de algemeen toegepaste luchtdrukremssystemen zal namelijk de achterste as het laatst gaan remmen, zodat de aanhanger of oplegger het trekkend voertuig opdrukt. Gevolg kan zijn dat de voertuigcombinatie schaart of uitbreekt. Vooral trekker-opleggers zullen hier last van hebben.

Daarnaast levert de afstemming van trekkend en getrokken materieel problemen op.

De hierboven genoemde problemen ten aanzien van remweg en stabiliteit zijn groter bij een nat wegdek.

Ook het onderhoud levert problemen op. Anders dan bij personenauto's, zijn zware voertuigen een zo groot mogelijk deel van de tijd volledig beladen. Dit betekent dat het remsysteem veelvuldig en zwaar belast wordt. Zware voertuigen halen vaak zeer hoge jaarkilometrages, waardoor de kans groot kan zijn dat optredende defecten niet tijdig opgemerkt worden. Daarbij komt dat afstelling en onderhoud van het remsysteem van zware voertuigen ingewikkeld is.

Een bijkomend probleem is de regelgeving. De EEG-eisen voor remsystemen voor zware voertuigen zijn voor trekkend en getrokken materieel apart

geformuleerd. Hiermee is de onderlinge afstemming niet zonder meer gewaarborgd.

Een belangrijk deel van de beschreven problemen bij het remmen van zware voertuigen zijn terug te voeren op het functioneren van het remsysteem. Het is mogelijk daarin verbeteringen aan te brengen, zoals bijvoorbeeld blijkt uit ontwikkelingen rond anti-blokkeersystemen. Het in technische zin verbeteren van het remsysteem zal de snelheidsbeheersing en de bestuurbaarheid bij het remmen ten goede komen en gaat gepaard met het verlichten van de taak van de chauffeur.

In dit rapport wordt ingegaan op het functioneren van het remsysteem bij zware voertuigen en op de mogelijke problemen die daarbij op kunnen treden. Van zes belangrijk geachte deelonderwerpen wordt een korte probleembeschrijving gegeven. Eén deelonderwerp - regelingen - wordt verder uitgewerkt.

2. HET REMSYSTEEM: DE THEORIE

Bij vrachtwagens en bussen worden twee soorten remsystemen toegepast: hydraulische systemen voor de lichtere voertuigen en luchtdruksystemen voor de zwaardere en gelede voertuigen. Van Kempen (1989) geeft een beschrijving van een luchtdrukremstelsel.

2.1. Algemeen

Het verloop van een remming gaat als volgt (Afbeelding 1 en 2).

Het waarnemen van een noodzaak tot remmen wordt gevolgd door een beslissing en een motorische reactie van de bestuurder: het omzetten van de voet van gas- naar rempedaal en het intrappen van dat pedaal; de hiervoor benodigde tijd wordt reactietijd genoemd. Door het intrappen van het rempedaal zal de druk in het remsysteem - en daarmee de remkracht - stijgen tot een bepaalde waarde. De hiervoor benodigde tijd heet zweltijd. Daarnaast kan het bij lange leidingen (vooral bij getrokken materieel) enige tijd duren voordat de stijging van de remdruk aan het eind van de leiding voltooid is: de vultijd(vertraging). De remdruk wordt omgezet in remkrachten aan de wielen, waarbij een constructief bepaalde verhouding tussen de remkracht van de vooras en de achteras optreedt: de remkrachtverdeling. De remkrachten zorgen voor een vertraging en daarmee voor een bepaalde remweg.

De remkracht aan het wiel is maximaal als het wiel net niet blokkeert: een blokkerend wiel glijdt zonder te draaien voort, waarbij de wrijvingscoëfficiënt aanzienlijk kleiner is dan bij rollen (Afbeelding 3). De remweg wordt daardoor langer en het overbrengen van dwarskrachten is nauwelijks meer mogelijk. Dit leidt tot verlies van óf de stabiliteit óf de bestuurbaarheid van het voertuig.

De remweg zal zo kort mogelijk zijn als de remkrachten aan beide assen zodanig zijn dat net geen blokkeren optreedt. Door allerlei variaties in de omstandigheden zal echter nu eens de ene as, dan weer de andere als eerste blokkeren. Door middel van de al genoemde remkrachtverdeling wordt dan een blokkeervolgorde van de assen ingesteld. Deze volgorde wordt bepaald aan de hand van eisen aan de stabiliteit of de bestuurbaarheid. Als de vooras het eerst blokkeert zal het voertuig onbestuurbaar, maar stabiel zijn baan vervolgen. Blokkeert eerst de achteras, dan is het voertuig weliswaar bestuurbaar, maar zal de achterzijde uitbreken. Meestal wordt ervan uitgegaan dat het wenselijk is dat het voertuig stabiel blijft, dus

dat de vooras het eerst blokkeert. Bij stadsbussen wordt echter de voorkeur gegeven aan de bestuurbaarheid vanwege het moeten kunnen naderen van de halte bij glad wegdek.

Omdat bij deze keuze één as eerder zal gaan blokkeren, kan de andere as niet maximaal beremd worden: er wordt remweg weggegeven en is de gerealiseerde vertraging kleiner dan de maximaal mogelijke (ideale) vertraging. Blokkeren treedt op als de remkracht de maximaal mogelijke wrijvingskracht tussen band en wegdek overschrijdt. Dit zal vooral gebeuren bij een geringe asbelasting en een lage wrijvingscoëfficiënt. Deze wrijvingscoëfficiënt hangt onder meer af van de band, de rijnsnelheid en de conditie van het wegdek (droog, nat, glad of vuil).

Bij remmen in een bocht zullen zowel remkrachten als dwarskrachten opgebracht moeten worden, zodat er voor het remmen minder beschikbaar is. Daarnaast zullen de wielen aan de binnenzijde van de bocht ontlast worden. Hier zal dus eerder dan op een rechte weg blokkeren optreden.

Tussen remdruk en remkracht aan het wiel is een bepaald verband. Dit verband wordt constructief bepaald door volume van de remkamer, de trommel- of schijfdiameter, de keuze van het frictiemateriaal, enz. De wrijvingscoëfficiënt tussen het frictiemateriaal en de trommel of schijf is niet constant, maar afhankelijk van snelheid en temperatuur. De temperatuur wordt sterk bepaald door het remgedrag, zoals bijvoorbeeld bij herhaald remmen tijdens het helling afrijden. Daarnaast zijn afstelling en onderhoud van belang.

Door de hoogte van het zwaartepunt van het voertuig treedt een van de vertraging afhankelijke gewichtsoverzetting op. De vooras wordt daardoor extra belast en de achteras ontlast. De vooras zal dan bij toenemende vertraging sterker beremd moeten worden dan de achteras. Als dit wordt gerealiseerd, wordt de remkrachtverdeling 'ideaal' genoemd. Hiervoor is een variabele remkrachtverdeling nodig.

2.2. Solovoertuig met constante belading

In Afbeelding 4 is een voorbeeld gegeven van een voertuig met een lineaire remkrachtverdeling. Te zien is dat door de keuze van een lineaire remkrachtverdeling het voertuig bij het remmen een gedrag zal vertonen dat varieert met de conditie van het wegdek: bij een glad wegdek ($\mu_h < 0,5$) zal de vooras het eerst blokkeren, bij een nat of droog wegdek daaren-

tegen de achteras. De wrijvingscoëfficiënt tussen band en wegdek is afhankelijk van de rijsnelheid. Dit heeft (in dit voorbeeld) tot gevolg dat bij te hard intrappen van het rempedaal op een droge weg de achteras altijd het eerst zal blokkeren, terwijl op een natte weg tot ca. 90 km/uur de achteras het eerst blokkeert, en boven 90 km/uur de vooras (Afbeelding 5): het voertuiggedrag is dus niet constant.

In Afbeelding 6 is de remkrachtverdeling van het voertuig uit Afbeeldingen 4 en 5 zó veranderd dat de achteras nu bij een $u_h > 0,85$ het eerst blokkeert, zodat het voertuig over een groter bereik van de wrijvingscoëfficiënt stabiel blijft bij een blokkerende vooras. Hier staan twee nadelen tegenover: namelijk dat de maximaal mogelijke afremming bij een glad wegdek kleiner is, en dat bij kleine vertragingen bijna alleen de voorremmen worden gebruikt. Door nu bijvoorbeeld een drukbegrenzer in de remleiding naar de achteras op te nemen, ontstaat een geknikt-lineaire remkrachtverdeling (Afbeelding 7). Hierdoor kunnen de genoemde nadelen grotendeels gecompenseerd worden.

Uit dit voorbeeld blijkt dat de keuze van de remkrachtverdeling belangrijk is voor het uiteindelijke gedrag van het voertuig tijdens het remmen. Deze keuze kan - naast overwegingen over stabiliteit en/of bestuurbaarheid - ook gebaseerd worden op een zo voorspelbaar en constant mogelijk gedrag. Constant ook bij de diverse condities van het wegdek en over het gehele snelheidsbereik van het voertuig. Hierbij zal een geschikt compromis aangegaan moeten worden, bijvoorbeeld op basis van de meest voorkomende (droog) of de meest gevaarlijk geachte situatie (nat of glad wegdek).

2.3. Het remmen bij wisselende belading

De belading verandert de ligging van het zwaartepunt, zowel in de hoogte als in langsrichting. De achteras wordt meer belast en het gebied waar de vooras het eerst zal blokkeren, wordt groter (vergelijk Afbeelding 8 met Afbeelding 4). De voorremmen worden daarbij meer belast en de maximaal mogelijke vertraging is over een groot gebied slecht. In het algemeen zal met een vaste remkrachtverdeling en een veranderlijke zwaartepuntsligging de maximaal mogelijke vertraging veranderen.

Door de remkrachtverdeling aan de beladingstoestand aan te passen kan het remgedrag verbeterd worden: de remkrachten zouden dan evenredig moeten zijn aan de dynamische aslastverandering. Dit is technisch ingewikkeld en

daarom wordt nogal eens statisch geregeld. In Afbeelding 9 is het resultaat te zien (voor één enkele beladingsgraad). Deze zogenaamde lastafhankelijke regeling kan ook geknikt-lineair worden uitgevoerd.

Door een geschikte keuze van de regeling is het mogelijk de pedaalkracht grotendeels onafhankelijk van de beladingsgraad te houden.

2.4. Het remmen bij een geleed voertuig

Bij het remmen met een geleed voertuig moet worden voorkomen dat de aanhanger of oplegger het trekkend voertuig opdrukt. Anders treedt gevaar voor scharen op. Dit betekent dat de vertraging van zowel het trekkend als het getrokken voertuig even groot moet zijn en gelijktijdig moet inzetten. Daartoe moeten de remkrachten naar gewichtsverhouding verdeeld worden, waarbij ook nog rekening gehouden moet worden met een wisselende beladingsgraad.

Bij opleggers rust een deel van het gewicht op de achteras van het trekkend voertuig; hierdoor treedt bij het remmen een extra gewichtsoverzetting op. Hierom is een afstemming van de beremming per as, afhankelijk van de belasting, van nog groter belang.

Bij middenas-aanhangers (volumevervoer) wordt bij het remmen de achteras van het trekkend voertuig extra belast en de vooras ontlast door de optredende verticale disselkracht. Gevolg is dat de vooras over- en de achteras onderberemd wordt. De gewichtsverhouding tussen trekkend voertuig en aanhanger zijn hier bepalend, evenals de afstand tussen achteras en koppelpunt (de zogenaamde overhang).

Als lastafhankelijke regelingen worden toegepast, moeten deze zowel bij het trekkende als bij het getrokken voertuig voorkomen. Anders er is geen sprake van de noodzakelijke onderlinge afstemming.

Een tweede probleem bij gelede voertuigen is de lengte van de remleidingen en de daarmee gepaard gaande vultijdvertraging. Vanwege de koerstabiliteit moet de voertuigketen gestrekt blijven. Hiervoor zou eigenlijk de laatste as van de combinatie het eerst moeten remmen. Deze as remt echter het laatst waardoor opdrukken ontstaat. Vooral bij trekkers (met een korte wielbasis) leidt dit onder ongunstige omstandigheden (hard remmen op een natte of gladde weg) gemakkelijk tot scharen.

Op basis van deze theoretische overwegingen en van de reeds in de Inleiding genoemde problemen zijn bij het functioneren van het remsysteem van

zware voertuigen de volgende - deels samenhangende - aandachtspunten relevant en voor verbetering vatbaar:

- de componenten van het remsysteem
- de remkrachtverdeling en de aanpassing aan de belading
- het remgedrag in bochten
- de regelgeving en de afstemming tussen trekkend en getrokken materieel
- de regelingen binnen het remsysteem
- de afstelling, het onderhoud en defecten

Deze onderwerpen worden verder uitgewerkt in Hoofdstuk 4.

3. CONTEXT VAN HET REMSYSTEEM

Het centraal stellen van het functioneren van het remsysteem houdt in dat een aantal aspecten hooguit zijdelings aan de orde komen. Dit geldt met name voor onderwerpen als:

- het gedrag van chauffeurs (bijvoorbeeld: niet durven remmen op een nat wegdek; anticipatie door de hoge zitpositie)
- de invloed van zware voertuigen op de (stabiliteit van de) verkeersstroom
- een analyse van ongevallen met zware voertuigen
- de relatie tussen banden en wegdekken
- de mogelijkheid extern in te grijpen op het remsysteem (bijvoorbeeld door verkeersgeleidingsystemen)
- de bevestiging van de lading en de problematiek van overbelading
- de hulpremsystemen, zoals motorremmen en retarders

De remweg wordt voor een belangrijk deel bepaald door het contact tussen band en wegdek. Bij het aangeven van verbeteringen van de remweg die volgen uit een beter functioneren van het remsysteem van de voertuigen, wordt uitgegaan van de huidige situatie in de praktijk.

Omdat in het algemeen solovrachtwagens en bussen in technische zin grotendeels identiek zijn, wordt de aandacht hier voornamelijk gericht op vrachtwagens.

4. DEELONDERWERPEN

In dit hoofdstuk wordt van de aan het eind van Hoofdstuk 2 genoemde zes deelonderwerpen een korte probleembeschrijving gegeven.

4.1. De componenten van het remsysteem

Trommelremmen kunnen, onder meer afhankelijk van de temperatuur van de remmen en van de toegepaste frictiematerialen, een sterke variatie in remkracht vertonen. Deze variatie kan het remgedrag van een zwaar voertuig in verregaande mate negatief beïnvloeden. Variaties kunnen ook optreden als door slijtage de vrije slag van de remschoen te groot wordt of als het frictiemateriaal door ander, niet gelijk materiaal vervangen wordt.

Vervanging van trommelremmen door schijfremmen zal deze variatie verminderen, onder meer omdat bij schijfremmen de remkracht minder temperatuurafhankelijk is.

Het toepassen van automatische remstellers zal de vrije slag van de remschoen beperken, terwijl het toepassen van slijtage-indicatie te vergaande slijtage zal kunnen voorkomen.

Een ander belangrijk aspect is de koeling van de remmen bij het toepassen van kleinere bandmaten bij volumevervoer.

4.2. De remkrachtverdeling en de aanpassing aan de belading

De constructief bepaalde verdeling van de remkracht over de diverse assen van een vrachtwagen bepaalt de blokkeervolgorde de assen en daarmee de stabiliteit en bestuurbaarheid van het voertuig tijdens het remmen.

Gewichtsoverzetting, verschillen in beladingsgraad en eventuele geleiding van het voertuig bepalen voor en groot deel de gevraagde remkrachtverdeling, die kan afwijken van de beschikbare.

Bij dit onderwerp zijn vooral stabiliteits- en bestuurbaarheidscriteria van belang. Lastafhankelijke regelingen en geleiding van het voertuig vormen hierbij belangrijke aspecten.

4.3. Het remgedrag in bochten

Bij remmen in een bocht zullen zowel remkrachten als dwarskrachten opgebracht moeten worden, zodat er voor het remmen minder beschikbaar is.

Daarnaast zullen de wielen aan de binnenzijde van de bocht ontlast worden, zodat deze relatief snel kunnen gaan blokkeren.

Gewichtsoverzetting in dwarsrichting, de combinatie van remmen en sturen in bogen en de invloed van geleiding op het remgedrag in bochten zijn hierbij aan de orde.

4.4. De regelgeving en de afstemming tussen trekkend en getrokken materieel

Remsystemen voor zware voertuigen moeten voldoen aan een aantal EEG-richtlijnen. Hierin worden voor vrachtwagens en aanhangers en voor trekkers en opleggers aparte eisen gesteld aan het verband tussen remdruk en afremming. Daarnaast wordt nog onderscheid gemaakt tussen lege en beladen voertuigen (zie Afbeelding 10 en 11).

Een belangrijk onderdeel van deze regelingen is de onderlinge aanpassing tussen trekkend en getrokken materieel, uitgaande van een volledige uitwisselbaarheid. Door de toegestane afwijkingen zijn combinaties mogelijk waarvan de delen niet goed op elkaar zijn afgestemd.

Nadeel van deze eis van uitwisselbaarheid is dus dat er combinaties op de weg verschijnen die minder goed remmen dan technisch mogelijk is.

4.5. De regelingen binnen het remsysteem

Bij ongunstige omstandigheden, zoals nat wegdek, treedt relatief snel verlies van stabiliteit of bestuurbaarheid op door het blokkeren van een of meer assen. Het regelen van de remkracht door pompend remmen is (naast het sturen) een te zware opgave van de bestuurder. Een ander punt is de lange remleidingen bij gelede voertuigen. De laatste as remt hierdoor met een zekere vertraging, waardoor het getrokken voertuig het trekkende opdrukt. Hierdoor kan de combinatie gaan scharen of uitbreken.

Belangrijke aspecten bij dit onderwerp zijn de regelfilosofie en -strategie van met name anti-blokkeersystemen en elektro-pneumatische remsystemen.

4.6. De afstelling, het onderhoud en defecten

Het onderhoud en de afstelling van het remsysteem van zware voertuigen laat veel te wensen over, waardoor defecten en ongevallen optreden. De

ingewikkeldheid en de zware belasting van het remsysteem, alsmede de hoge kilometerprestaties spelen hierbij een rol.

Aspecten hier zijn het optreden van defecten, ongevallen door defecten en defectdiagnosesystemen.

Defecten kunnen ontstaan als gevolg van ontwerp- en fabricagefouten. Bijvoorbeeld door een remkrachtverdeling, die geen goed compromis is tussen de aanpassing aan een leeg en beladen voertuig. Hierdoor kan de slijtage van de remvoeringen te ongelijkmatig zijn. Andere voorbeelden zijn te klein bemeten trommels en voeringen of nodeloos ingewikkeld onderhoud.

Defecten kunnen ook ontstaan door slecht onderhoud en door verkeerde bediening. Bij dit laatste valt te denken aan te voorzichtig remmen ('glazing'), aan te veel remmen (oververhitting) en aan verkeerde instelling van handbediende ventielen op aanhangers en opleggers.

Tenslotte kunnen defecten ontstaan als ongelijksoortig materieel aan elkaar gekoppeld wordt.

5. HET DEELONDERWERP REGELINGEN

In dit hoofdstuk wordt het deelonderwerp Regelingen nader uitgewerkt.

5.1. Algemeen

Bij zware voertuigen komen grote verschillen voor tussen een leeg en een beladen voertuig. Daarnaast treedt tijdens het remmen gewichtsoverzetting op naar voorliggende assen. Het is dan moeilijk, ondanks toepassing van zogenaamde lastafhankelijke regelingen (ALR's), overberemming van één of meer assen te vermijden. Hierdoor kan blokkeren van wielen optreden, met verlies van stabiliteit en/of bestuurbaarheid tot gevolg. Dit zal vooral voorkomen bij lege voertuigen en bij een nat of glad wegdek.

Het is voor een goed getrainde chauffeur mogelijk blokkeren te vermijden door pompend te remmen. Dit zal echter alleen lukken onder niet al te ongunstige omstandigheden. In panieksituaties is de neiging aanwezig zo hard mogelijk te remmen. Een combinatie van remmen en sturen, bijvoorbeeld om een object te ontwijken, is dan wel bijzonder moeilijk. Ook als de wrijvingscoëfficiënt tussen band en wegdek in langs- of dwarsrichting sterk wisselt, schiet de capaciteit van de menselijke regelaar te kort. Bij gelede voertuigen is het vermijden van blokkeren nog moeilijker: door de vultijdvertraging van de algemeen toegepaste luchtdrukremsystemen zal de achterste as het laatst gaan remmen, zodat de aanhanger of oplegger het trekkend voertuig opdrukt. Gevolg kan zijn dat één of meer assen van het trekkend voertuig zullen blokkeren, zodat de voertuigcombinatie schaart of uitbreekt. Vooral lege trekker-opleggers zullen hiervan last hebben. De vultijdvertraging kan tot ca. 1 seconde oplopen. Bij een snelheid van 70 km/uur betekent dit dat de wielen van de laatste as nog ongeveer 20 m rollen, voordat zij aan de remming bijdragen (Thoms, 1986). Blokkeren treedt vaak op: Farkas & Köfalvi (1984) beschrijven een onderzoek van 2200 ongevallen met zware vrachtwagens in het internationale verkeer. Hieruit blijkt dat bij het remmen in ongeveer één op de drie gevallen blokkeren is opgetreden.

De afstemming van trekkend en getrokken materieel levert ook problemen op: de Europese regelgeving is zodanig geformuleerd dat de eisen gesteld aan de beremming van trekkend en getrokken materieel een zekere tolerantie kennen. Daarnaast kunnen voor trekkend en getrokken voertuig frictiemate-

rialen met afwijkende eigenschappen toegepast zijn, in verschillende stadia van slijtage. Hiermee kan de balans van de combinatie tijdens het remmen verstoord worden, met als gevolg dat de remkrachten en vertragingen van de onderdelen van de combinatie afwijken. In het koppelpunt worden dan krachten overgedragen; indien dit geen trekkrachten zijn, leidt dit tot opdrukken. Daarnaast kan overmatige slijtage aan de remmen ontstaan. Deze probleemstelling geeft aan dat er oplossingen gezocht moeten worden om:

- blokkeren te verhinderen;
- de vultijdvertraging te beperken of te elimineren;
- de afstemming van combinaties te verbeteren.

Hiervoor kunnen met vrucht regelingen toegepast worden en met name anti-blokkeersystemen en remkrachtregelingen.

5.2. Anti-blokkeersystemen

De functie van een anti-blokkeersysteem (ABS) is te verhinderen dat tijdens het remmen wielen zullen blokkeren. Hiermee wordt de taak van de bestuurder verlicht zodat deze zich dan beter kan concentreren op sturen en eventueel ontwijken.

Bij anti-blokkeersystemen zal een compromis bereikt moeten worden tussen remweg, stabiliteit en bestuurbaarheid.

Voor een zo kort mogelijke remweg is enige slip (ongeveer 20%) vereist, terwijl voor een optimale bestuurbaarheid een zo hoog mogelijke wrijvingscoëfficiënt in dwarsrichting (geen slip) gewenst is (Afbeelding 12). Tijdens het remmen op een weg met een niet-homogeen oppervlak, zoals bijvoorbeeld een verschil in wrijvingscoëfficiënt in het linker- en rechter wielspoor, kunnen problemen met de bestuurbaarheid optreden. De ongelijke remkrachten links en rechts veroorzaken een moment om de hoogte-as, waardoor het voertuig naar één kant getrokken wordt. De bestuurder zou dit moeten verhinderen, maar is veelal niet in staat om dit op de juiste wijze te doen. Er moeten namelijk flinke stuurcorrecties in zeer korte tijd gedaan worden.

Otte & Siebert (1987) beschrijven een diepte-onderzoek van 177 ongevallen met vrachtwagens. Eén van de conclusies is dat bij toepassing van een ABS met een bepaald soort regeling (MIC, zie beneden) ca. 40% van de ongevallen vermeden had kunnen worden, dat ca. 30% van de ongevallen minder ernstig zou zijn afgelopen en dat bij ca. 28% een secundaire botsing verme-

den had kunnen worden. Dit geeft aan dat toepassing van ABS bij zware voertuigen een aanzienlijke verhoging van de verkeersveiligheid kan betekenen.

Een anti-blokkeersysteem werkt als volgt:

De wrijvingscoëfficiënt tussen band en wegdek in langsricting is sterk afhankelijk van het percentage slip: zij stijgt tot een maximum bij ongeveer 20% slip om daarna scherp te dalen. Bij 100% slip staat het wiel stil: dit wordt blokkeren genoemd.

Bij ABS wordt de snelheid van de wielen gedetecteerd met behulp van wielensensoren. Hieruit wordt voor ieder wiel de slip berekend. Bij het remmen zal onder bepaalde omstandigheden het wiel gaan slippen: het percentage slip neemt dan toe. Vlak voor het bereiken van het maximum (bij ongeveer 20% slip) wordt de remdruk zodanig verlaagd dat de slip afneemt. Zodra de slip weer voldoende klein is geworden, kan de remdruk weer worden opgevoerd. Dit proces herhaalt zich enige malen per seconde. Het in werking treden van ABS is te merken aan het trillen van het rempedaal. Dit fungeert dan als waarschuwing voor een nat of glad wegdek.

Göhring e.a (1989) geven een overzicht van aspecten van ABS, met name de regelstrategie.

Het toepassen van een anti-blokkeerinrichting op één as is weliswaar goedkoop, maar de bestuurbaarheid en stabiliteit van het voertuig zijn gezamenlijk gewaarborgd. In de Europese praktijk worden dan ook alleen voertuigen aangeboden met ABS op alle assen: meestal zijn dit zogenaamde 4-kanaalsystemen. Hierbij wordt bij een 2-assig voertuig elk wiel van een snelheidsensor voorzien. De achterwielen worden individueel geregeld (IC), zodat de beschikbare wrijving optimaal wordt gebruikt en de remweg zo kort mogelijk is. Het moment om de hoogste-as van de achteras bij een inhomogeen wegdek speelt bijna geen rol voor de bestuurbaarheid van het voertuig. De voorassen kunnen geregeld worden op basis van 'Individual Control' (IC), Select-Low (SL), of Modified Individual Control (MIC). Bij SL is het wiel met de laagste wrijvingscoëfficiënt bepalend voor de regeling. Hierdoor is slechts één magneetregelklep nodig om beide voorwielen te regelen. Het systeem is daardoor ongeveer 10% goedkoper dan een IC- of MIC-regeling. De remweg kan echter bij een inhomogeen wegdek enige tientallen procenten langer zijn dan met een IC-of MIC-geregelde vooras, omdat de beschikbare wrijving bij het wiel met de hoogste wrijvingscoëfficiënt slechts ten dele

gebruikt wordt. Onder dezelfde ongunstige omstandigheden ontstaat dan bij een IC-regeling op de vooras een groot stuurmoment door de dan grote verschillen in remkracht tussen linker- en rechterwiel. Een tussenweg wordt dan gevonden door toepassing van een MIC-regeling: hierbij wordt het verschil in remkracht geleidelijk en zodanig opgevoerd dat het stuurmoment en de stuurhoek goed beheersbaar zijn. De remweg wordt daardoor weliswaar iets langer maar de bestuurbaarheid van het voertuig blijft gewaarborgd.

Dit concept (vóór MIC, achter IC) is gemakkelijk uit te breiden naar 3- en 4-assige voertuigen: bij dubbele assen wordt de achterste as van sensoren voorzien en de voorste as volgend geregeld (Sequential Control, SC). Door gewichtsoverzetting is immers de achterste as (van een wielstel) het meest gevoelig voor overberemming en blokkeren. Weliswaar zal de voorste as van elk stel in enige mate onderberemd worden, maar er ontstaat een uniform concept voor 2-, 3- en 4-assige voertuigen met 4 sensoren, 4 regelkleppen en 1 regeleenheid (Afbeelding 13). Indien voor een 3-assig voertuig een 6-kanaals ABS wordt toegepast - met sensoren op ieder wiel - kost dit ongeveer 40% meer dan een 4-kanaals ABS, zodat de kostenvoordelen van het 4-kanaalsconcept duidelijk zijn.

Ehlbeck e.a. (1989) beschrijven proeven met 3-assige Amerikaanse trucks met een tandemstel achter. Hierbij is een vergelijking gemaakt tussen een voertuig met een 6-kanaals ABS met individuele regeling voor alle wielen, een voertuig met een soortgelijk 4-kanaals ABS en een voertuig zonder ABS. Bij dit 4-kanaals ABS is de voorste as van het tandemstel SC-geregeld. Beproefd zijn rijstrookwisselingen met remmen op diverse wegdekken en paniekremmingen tijdens rechtuitrijden.

De conclusie is dat de voertuigen met ABS soms gelijke, maar veel vaker betere prestaties leveren dan voertuigen zonder ABS. De verschillen tussen de 4- en 6-kanaalsregelingen zijn minimaal, tenzij de remkrachtverdeling tussen de tweede en derde as meer dan 20% afwijkt: dan kan bij het 4-kanaalssysteem blokkeren van de SC-geregelde voorste as van het tandemstel optreden.

De huidige anti-blokkeersystemen worden toegevoegd aan het bestaande basisremsysteem, zodat bij uitval het voertuig nog normaal beremd kan worden. ABS is dus geen vervanger van delen van het basisremsysteem, onder meer omdat voertuigelektronica tegen aanvaardbare kosten nog niet betrouwbaar genoeg geacht kan worden.

De remkrachtverdeling van het basisremsysteem moet in orde zijn. Anders wordt de effectiviteit van het anti-blokkeersysteem veel geringer, zoals blijkt uit het eerder gegeven voorbeeld (Ehlbeck e.a., 1989). Indien bijvoorbeeld ABS als vervanging zou moeten dienen van automatische lastafhankelijke regelingen, zal bij grote vertragingen van halfbeladen of lege voertuigen voortdurend de remkracht geregeld moeten worden om blokkeren te voorkomen. Door de hysteresis in remsysteem en regeling zal hierdoor de resulterende vertraging onder normale omstandigheden, zoals een droog wegdek, langer zijn. Ook biedt het trillen van het rempedaal nu geen informatie meer over de conditie van het wegdek. Daarnaast is dit trillen oncomfortabel en kan extra slijtage optreden aan het remsysteem.

Over de duurzaamheid van anti-blokkeersystemen is nog niets bekend. Omdat het remsysteem nog functioneert bij uitval van het ABS, is het mogelijk dat bij oudere voertuigen geen reparaties meer worden verricht vanwege de kosten.

Opleggers en aanhangers gaan gemiddeld langer mee dan trekkend materieel. Dit betekent dat in een overgangssituatie het nogal eens zal voorkomen dat het getrokken materieel niet van een ABS voorzien is en het trekkend materieel wel. In bepaalde situaties zal dan het trekkend voertuig dankzij het ABS een hogere vertraging kunnen bereiken dan voorheen; hierdoor wordt natuurlijk het opdrukken bevorderd, maar dit zal door de werking van het ABS niet tot blokkeren van wielen van het trekkend voertuig leiden.

5.3. Remkrachtregeling

Bij de huidige luchtdrukremsystemen liggen de regelkleppen voor het remmen tamelijk dicht bij de assen. Het stuurcommando voor deze regelkleppen wordt overgebracht via een aparte luchtdrukcommandoleiding. Vultijdvertraging ontstaat als gevolg van de samendrukbaarheid van lucht en van de lengte van deze leiding. Een aansturing van deze regelkleppen door een hydraulische, elektrische of optische commandoleiding zou al een verbetering inhouden, omdat hiermee de vultijdvertraging beperkt kan worden. Hiermee wordt bereikt dat het tijdstip waarop de aparte assen de remming inzetten, minder ver uiteenligt dan nu het geval is. Dit heeft tot gevolg dat opdrukken in mindere mate zal optreden.

Indien de remkracht voor ieder wiel apart en zonder vultijdvertraging wordt aangestuurd, kan - onder meer afhankelijk van de beladingsgraad en

van andere factoren - een onder alle omstandigheden optimale remkrachtverdeling ingesteld worden. De hiervoor benodigde regeling is tamelijk complex en bij de huidige stand van de techniek alleen met elektronica te realiseren.

Op dit moment zijn al dergelijke elektronische regelingen voor luchtdruk-remsystemen in ontwikkeling: elektro-pneumatische remsystemen (EPR).

Bij EPR worden zo dicht mogelijk bij de remcilinders elektro-magnetische kleppen geplaatst, die rechtstreeks door de elektronica worden aangestuurd. Krachtopnemers in ieder wiel en in het koppelpunt geven informatie over dynamische wielbelasting, remmoment en koppelkracht. Rempedaal en handrem zijn voorzien van signaalgevers. Afhankelijk van onder meer remdruk en -temperatuur, en de voertuigmassa en -vertraging, wordt de remkracht aan ieder wiel geregeld. Een dynamische, lastafhankelijke regeling voor ieder wiel is hierbij geïntegreerd.

Behalve een regeling van de remkrachtverdeling en de oplooptkracht kunnen diverse andere functies met voordeel geïntegreerd worden:

- anti-blokkeersystemen (ABS)
- antislipregelingen (ASR, bij het optrekken)
- elektronisch geregelde retarders
- regeling en indicatie van remvoeringslijtage.

Göhring (1989) stelt een dergelijk systeem voor (EPB), waarbij de pneumatische regeling geheel is vervangen door elektronica en elektrische leidingen. De voordelen van dergelijk systemen zijn vooral gelegen in het optimale gebruik van de wrijving tussen band en wegdek; een exacte, van de massaverdeling afhankelijke remkrachtverdeling en een korte aansprektijd van het remsysteem. Gevolg is een verbetering van het remgedrag, vooral bij combinaties, en een gelijkmatige slijtage van de remvoeringen.

Bij toepassing van EPB kunnen een aantal complexe luchtdrukventielen en diverse luchtleidingen vervallen, terwijl het onderhoud vereenvoudigd kan worden door diagnosesystemen. Op de vraag het remsysteem bij uitval van de elektronica nog kan functioneren wordt niet ingegaan.

Schubert (1989) stelt een soortgelijk systeem als EPB voor. Opgemerkt wordt dat de ideale remkrachtverdeling in tegenspraak is met een gelijkmatige slijtage van de remvoeringen: de voorremmen worden immers het meest belast. Voorgesteld wordt de regeling zo in te stellen dat bij kleine vertragingen de voorkeur wordt gegeven aan een zo gelijkmatig mogelijke

belasting van alle remmen en daardoor een gelijkmatige slijtage, terwijl bij grotere vertragingen de ideale remkrachtverdeling nagestreefd zou moeten worden.

Thoms (1986) beschrijft een systeem (ELB), waarbij de elektronische regelkring dominant is over een daarvan onafhankelijke pneumatische regelkring. Bij storingen in de elektronica blijft dan de veiligheid gewaarborgd. Met ELB is het mogelijk gebleken bij een trekker met oplegger de aanspreektijd van de remmen van de achterste as te reduceren van 0,58 s tot 0,38 s. Hoewel deze aanspreektijd niet nader is omschreven, zal deze vermoedelijk samengesteld zijn uit de vultijd, de eventuele vultijdvertraging bij de achterste as en de tijd nodig om de vrije slag van de remschoenen te overwinnen. Bij het lossen van de remmen reageerde de laatste as binnen 0,29 s in plaats van 0,73 s.

Opgemerkt wordt dat bij gelede voertuigen de 'communicatie' tussen de delen belangrijk is, met name een standaardisatie van signalen en aansluitingen.

Samengevat: Een EPR of een soortgelijk systemen dient de remkrachten zo te regelen dat bij (veelvuldig voorkomende) kleine vertragingen de slijtage van de remvoeringen zo gelijkmatig mogelijk verdeeld wordt over de assen, terwijl bij (minder vaak voorkomende) grotere vertragingen een ideale verdeling van de remkracht wordt nagestreefd. Voor deze ideale remkrachtverdeling dient de vultijdvertraging zo veel mogelijk beperkt te worden en zal bij gelede voertuigen altijd een trekkracht tussen trekkend en getrokken voertuig moeten heersen. Tijdens het remmen wordt dan de combinatie gestrekt en zal het eventuele slingeren van oplegger of aanhanger stabiliseren bij een hogere slingerfrequentie. De effecten hiervan (en van de eis van gelijkmatige slijtage) zullen mede de grootte van deze trekkracht bepalen.

Bij uitval van het regelgedeelte of een gedeelte daarvan zal het voertuig nog tot stilstand gebracht moeten kunnen worden. Hiervoor zijn verscheidene strategieën denkbaar, waarbij de betrouwbaarheid van het regelsysteem van cruciaal belang is. Indien het remsysteem bij uitval van de regeling nog volledig moet kunnen functioneren, zal deze regeling toegevoegd moeten worden aan het huidige remsysteem (voorbeeld: ELB).

Indien het voldoende wordt geacht dat het remsysteem bij uitval van de regeling beperkt zal functioneren, kan deze regeling een deel van het bestaande systeem vervangen.

Indien de bedrijfszekerheid van de regeling voldoende groot wordt geacht, hoeft het remsysteem bij uitval van de regeling niet te functioneren en vervangt de regeling de bestaande sturing (voorbeeld: EPB).

Het toevoegen van een regeling maakt het remsysteem complex en duur, maar bedrijfszeker. De toegevoegde onderdelen kunnen op zich echter weer een bron van storingen vormen.

Het geheel laten vervallen van de bestaande sturing doet een absoluut beroep op de betrouwbaarheid van de regeling; wel kan hierbij een aanzienlijk aantal onderdelen en leidingen vervallen. Er zal compromis moeten worden gezocht tussen de complexiteit en kosten van het gehele systeem, de mate van betrouwbaarheid van het systeem en de toegevoegde regeling, de mate van waarschijnlijkheid van uitval van delen of het geheel van de regeling en het risico wat daarbij gelopen wordt. Hierbij lijkt op voorhand de eerste oplossing: het toevoegen, duur, en de laatste oplossing: geheel vervangen, riskant. Moderne elektronica is weliswaar goed in staat complexe regelfuncties te vervullen, maar valt soms na korte tijd geheel uit, terwijl extreme temperaturen, schokken, trillingen en storende elektro-magnetische invloeden een rol kunnen spelen bij het functioneren ervan. Daarnaast speelt dan nog het probleem van betrouwbare elektrische verbindingen: het 'stekkertjes'-probleem.

Een zinnig compromis zal zijn om bij uitval van de regeling een zekere restfunctie van het overblijvende deel van het remsysteem te eisen, zoals reeds voor het huidige, gescheiden remsysteem geldt.

Een geheel andere weg zou kunnen zijn hydraulische componenten toe te passen, waarbij door een combinatie van voordelen en eliminatie van nadelen wellicht een beter resultaat bereikt zou kunnen worden.

Enige andere eisen aan dergelijke regelsystemen zijn:

- een eenvoudige en bedrijfszekere koppeling van diverse stuurleidingen bij gelede voertuigen.
- zelfdiagnose met defectsignalering, onder meer ten behoeve van onderhoud en reparatie.
- noodloopprogramma's bij uitval van minder belangrijke onderdelen.

Bij toevoegen van regelsystemen kan het basisremsysteem normaal functioneren bij uitval van de regeling. Een probleem daarbij kan zijn dat oudere voertuigen wellicht niet meer gerepareerd worden vanwege de hoge kosten. Hiervoor zouden dan wettelijke eisen overwogen kunnen worden.

LITERATUUR

Clarke, R.M.; Leasure, W.A.; Radlinski, R.W. & Smith, M. (1987). Heavy truck safety study. National Highway Traffic Safety Administration, Washington, D.C.

Drometer, K. (1984). Bremswirkungen von Nutzfahrzeugen mit und ohne Anhänger. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik 22 (1984) 7/8: 191-200.

Ehlbeck, J.M.; Moore, T. & Lindemann, K. (1989). Full ABS with tandem control for freightliner trucks. SAE-paper 892503.

Farkas, T. & Köfalvi, G. (1984). Die Untersuchung des 'Lastkraftwagen-Kraftfahrer-Regelkreises' auf Grund der Daten von 2200 Verkehrsunfällen. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik 22 (1984) 11: 318-324.

Göhring, E. (1989). Einsatzmöglichkeiten der Elektronik im Nutzfahrzeug, Teil 2. ATZ 91 (1989) 3: 153 - 158.

Göhring, E.; Von Glasner, E.C. & Bremer, C. (1989). The impact of different ABS-philosophies on the directional behavior of commercial vehicles. SAE-paper 892500.

Grandel, J. (1987). Technische Mängel an Bremsanlagen von Nutzfahrzeugen als Unfallursache bei Verkehrsunfällen. ATZ 89 (1987) 11: 623-627.

Grosser, W.; Korb, W. & Fürbeth, V. (1990). Lkw Verzögerungen, Beschleunigungen und Schwellzeiten. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik 28 (1990) 7/8: 199-202.

Jones, I.S. & Stein, H.S. (1989). Defective equipment and tractor-trailer crash involvement. Accid. Anal. & Prev. 21 (1989) 5: 469-481.

Kempen, P. van (1989). Techniek moderne bedrijfswagens; Chauffeursdiploma CCV-B. VERJO bv, Sint Michielsgestel.

Limpert, R. & Andrews, D.F. (1987). Analysis of truck braking accidents. SAE-paper 870504.

Mitschke, M. (1972). Dynamik der Kraftfahrzeuge. Springer Verlag, Berlin.

NTSB (1988). Braking deficiencies on heavy trucks in 32 selected accidents. National Transportation Safety Board.

Otte, D. & Siebert, H. W. (1987). Vermeidbarkeit oder Minderbarkeit von Nutzfahrzeugunfällen durch Verwendung von ABV. Verkehrsblatt Dortmund 41 (1987) 6: 275-278. IRRD-Abstract 325463.

Schubert, K. (1989). Aspekte der zukünftigen Nutzfahrzeugtechnik unter besonderer Berücksichtigung der Elektronik. Automobil-Industrie 34 (1989) 2: 157-166.

Strandberg, L. (1987). On the braking safety of articulated heavy freight vehicles. OECD-symposium Montreal, 1987.

Thoms, E. (1986). Elektronische Uebertragungseinrichtungen bei Nutzfahrzeugbremsen. In: Nutzfahrzeug 2000, Kolloquium des Tüv-Rheinland, 1986.

AFBEELDINGEN 1 T/M 13

Afbeelding 1. Schematische voorstelling van het functioneren van het rem-systeem.

Afbeelding 2. Het verloop van een remming (Bron: Mitschke, 1972).

Afbeelding 3. Remkrachtcurve (Bron: Mitschke, 1972).

Afbeelding 4. Remkrachtdiagram bij een lineaire remkrachtverdeling (Bron: Mitschke, 1972).

Afbeelding 5. Verband tussen wrijving, snelheid, afremming en pedaalkracht (Bron: Mitschke, 1972).

Afbeelding 6. Remkrachtdiagram bij diverse remkrachtverdelingen (Bron: Mitschke, 1972).

Afbeelding 7. Geknikt-lineaire remkrachtverdeling (Bron: Mitschke, 1972).

Afbeelding 8. Remkrachtdiagram (gewijzigd ten opzichte van Afbeelding 6) (Bron: Mitschke, 1972).

Afbeelding 9. Remkrachtdiagram (gewijzigd ten opzichte van Afbeelding 8) (Bron: Mitschke, 1972).

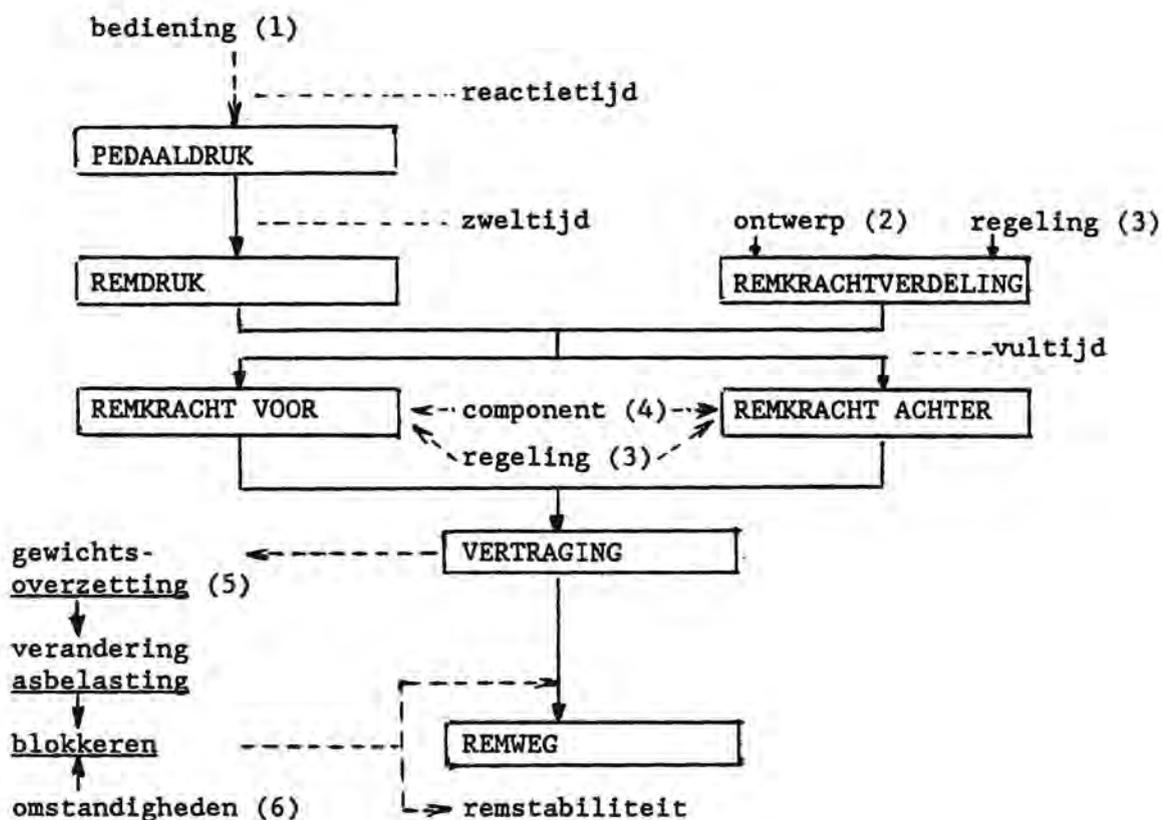
Afbeelding 10. Rem'banden' voor vrachtwagen plus aanhanger (Bron: Drometer, 1984).

Afbeelding 11. Rem'banden' voor trekker plus oplegger (Bron: Drometer, 1984).

Afbeelding 12. Verband tussen wrijvingscoëfficiënt en slip op nat wegdek (Bron: Göhring e.a., 1989).

Afbeelding 13. 4-kanaals anti-blokkeersysteem (Bron: Göhring e.a., 1989).

FUNCTIONEREN VAN HET REMSYSTEEM



- (1) bediening: waarnemen, beslissen, motorische reactie (voet omzetten, pedaal intrappen)
- (2) ontwerp: stabiliteit, voertuigconfiguratie, compatibiliteit leiden tot blokkeervolgorde
- (3) regeling: ALB, ABS
- (4) component: wrijvingscoëfficiënt rem/frictiemateriaal, schijf/trommel, afstelling/onderhoud, temperatuur (herhalingen, helling)
- (5) gewichtsoverzetting: eigen massa, belading, zwaartepunthoogte
- (6) omstandigheden: recht/bocht (dwarskrachten, gewichtsoverzetting li/re), wrijvingscoëfficiënt band/wegdek (snelheid, band, conditie wegdek: droog, nat, glad, vuil).

Afbeelding 1. Schematische voorstelling van het functioneren van het remsysteem.

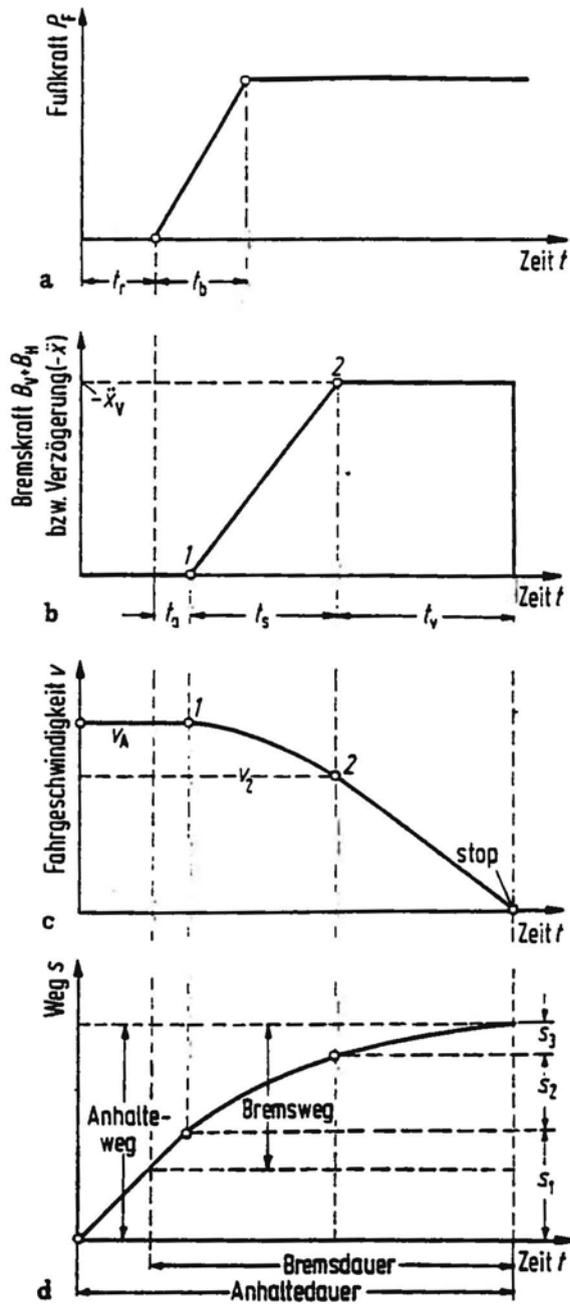
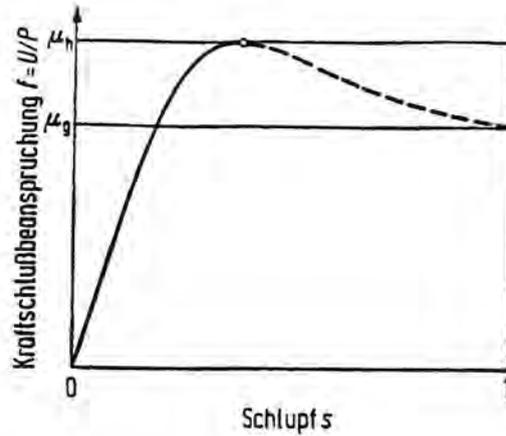


Bild 58.1 Bremsvorgang. a und b) Idealisierte Verläufe der Fußkraft, der Bremskraft bzw. der Verzögerung über der Zeit, c) daraus sich ergebender Fahrgeschwindigkeits- und d) Wegverlauf über der Zeit. t_r Reaktions-, t_b Betätigungsschwell-, t_a Ansprech-, t_s Schwell-, t_v Vollbremsdauer, v_A Ausgangsgeschwindigkeit.



Afbeelding 3. Remkrachtcurve (Bron: Mitschke, 1972).

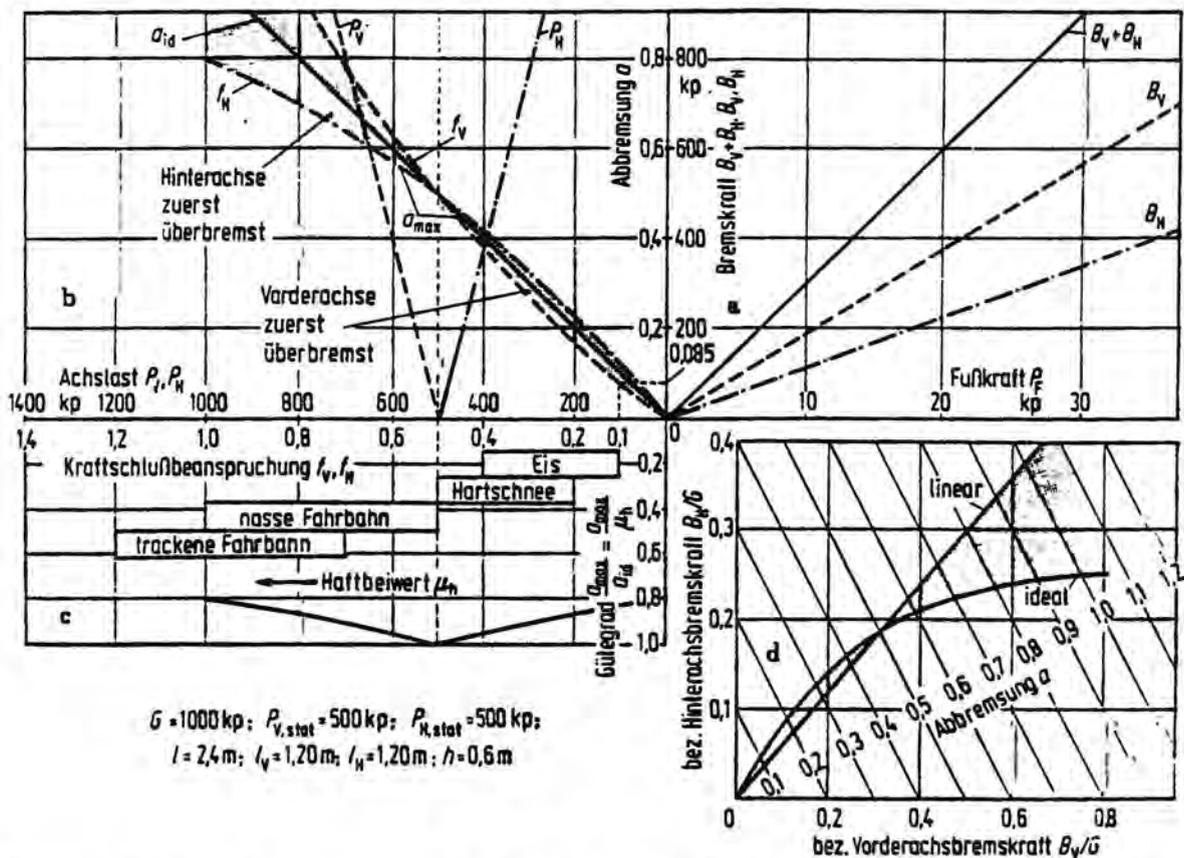


Bild 59.2 Kraftschlußbeanspruchung bei gegebener Bremskraftverteilung. a) Bremskräfte B_v und B_h an Vorder- und Hinterachse über der Fußkraft P_F , b) Änderung der Achslasten P_v und P_h sowie Verlauf der Kraftschlußbeanspruchungen f_v und f_h an Vorder- und Hinterachse in Abhängigkeit von der Abbremsung a , c) Verlauf des Güterrades σ_{max}/μ_h , d) Vergleich einer idealen mit einer linearen Bremskraftverteilung, dargestellt als Hinterachs-bremskraft B_h in Abhängigkeit von der Vorderachs-bremskraft B_v jeweils bezogen auf das Fahrzeuggewicht G mit der Abbremsung a als

Afbeelding 4. Remkrachtdiagram bij een lineaire remkrachtverdeling (Bron: Mitschke, 1972).

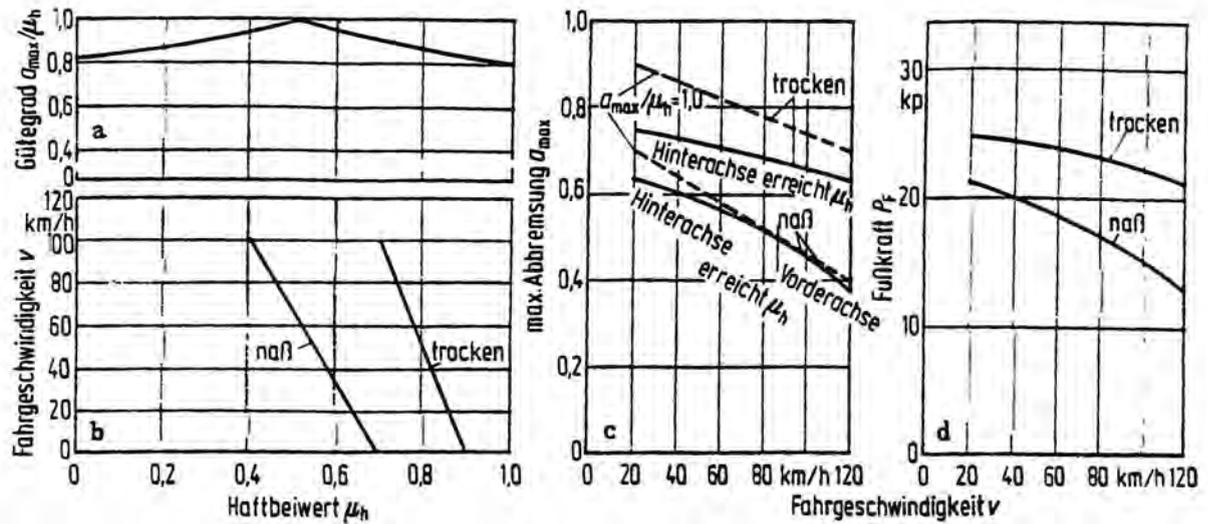


Bild 59.3 Gegenseitige Beeinflussung der Geschwindigkeitsverläufe von Haftbeiwert, Abbremsung und Fußkraft. a) Gütegrad über dem Haftbeiwert (aus Bild 59.2c), b) Beispiele für Abnahme des Haftbeiwertes mit der Fahrgeschwindigkeit für trockene und nasse Straße, c) aus a und b abgeleitete maximal mögliche Abbremsung über der Fahrgeschwindigkeit auf den zwei Straßen unter der Voraussetzung nicht blockierender Räder, d) zu α_{max} gehörende Fußkraft unter der Voraussetzung nicht blockierender Räder (nach Bild 59.2a).

Afbeelding 5. Verband tussen wrijving, snelheid, afremming en pedaalkracht (Bron: Mitschke, 1972).

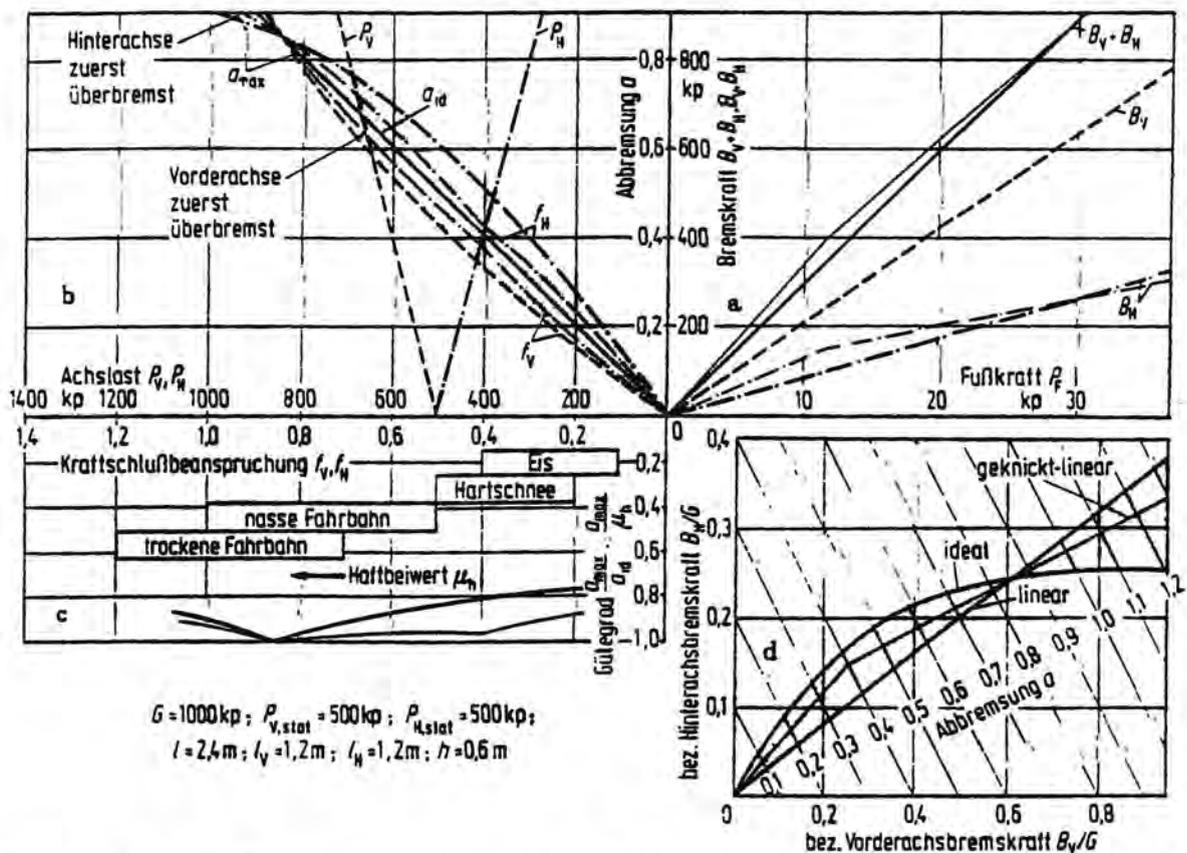


Bild 61.2 Kraftschlußbeanspruchung bei gegebener Bremskraftverteilung. Im Unterschied zu Bild 59.2 liegt der Gütegrad $\alpha_{max}/\mu_h = 1$ bei $\mu_h = 0,85$. In den Bildern a bis c gehören die starken Linien zur linearen, die dünnen zur geknickt-linearen Bremskraftverteilung.

Afbeelding 6. Remkrachtdiagram bij diverse remkrachtverdelingen (Bron: Mitschke, 1972).

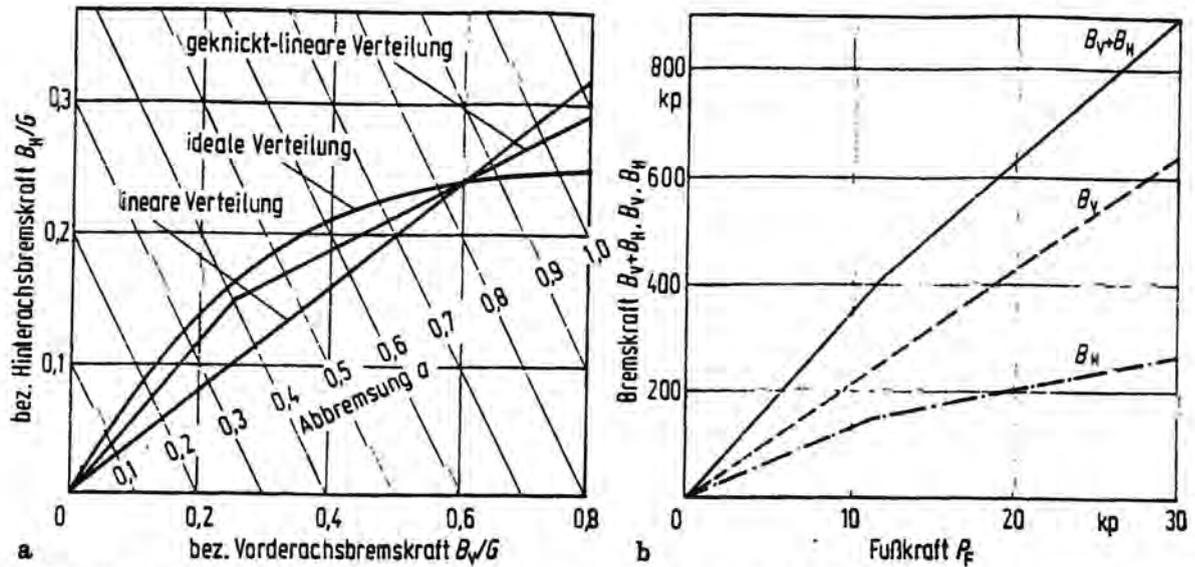


Bild 60.4 Geknickt-lineare Bremskraftverteilung. a) Vergleich der linearen, geknickt-linearen und idealen Bremskraftverteilung, dargestellt als Hinterachsbremskraft B_H in Abhängigkeit von der Vorderachsbremskraft B_V , jeweils bezogen auf das Fahrzeuggewicht G mit der Abbremsung a als Parameter, b) Verwirklichung der geknickten Verteilung durch verringerten Anstieg der Bremskraft B_H an der Hinterachse über der Fußkraft P_F von einem bestimmten Wert an.

Afbeelding 7. Geknickt-lineaire remkrachtverdeling (Bron: Mitschke, 1972).

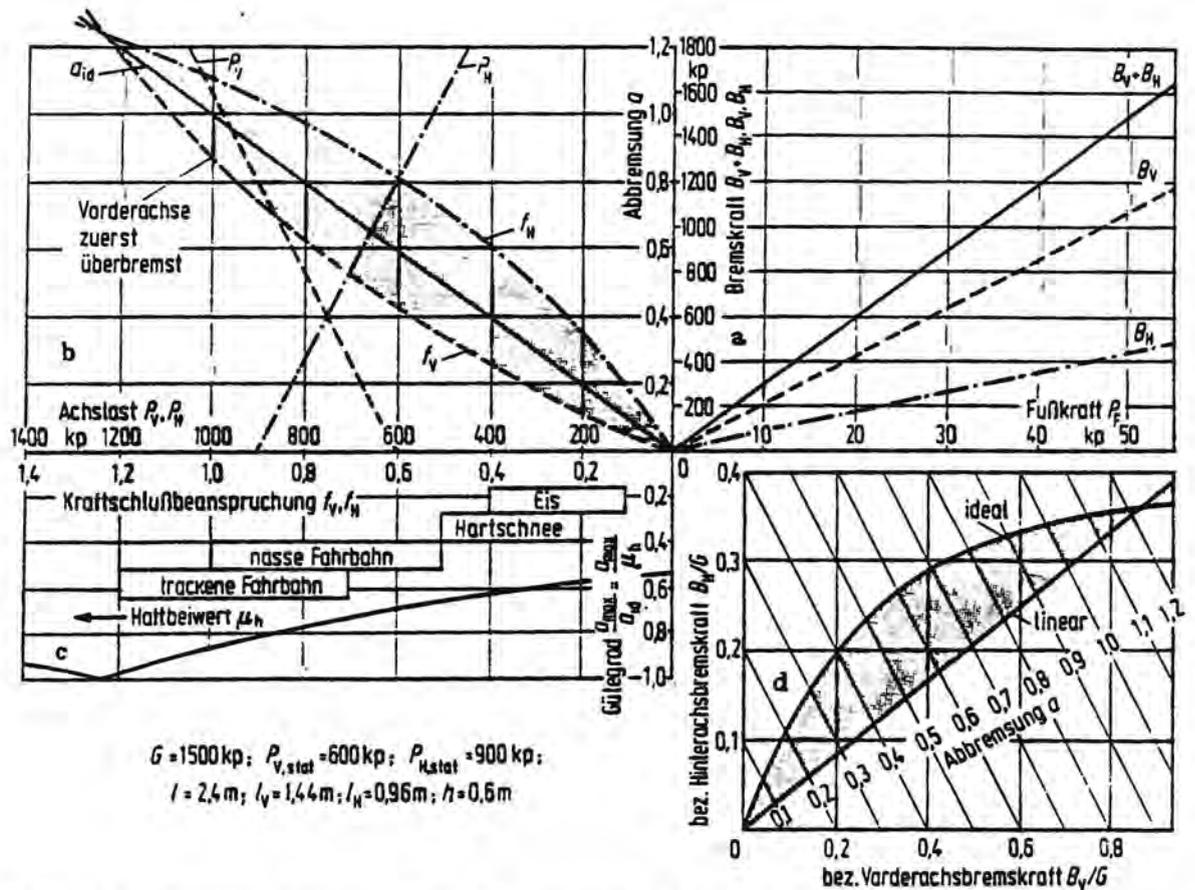


Bild 62.2 Kraftschlußbeanspruchung bei gegebener Bremskraftverteilung. Das Fahrzeug wurde gegenüber dem Bild 62.1 so beladen, daß der Schwerpunkt nach hinten wandert.

Afbeelding 8. Remkrachtdiagram (gewijzigd ten opzichte van Afbeelding 6) (Bron: Mitschke, 1972).

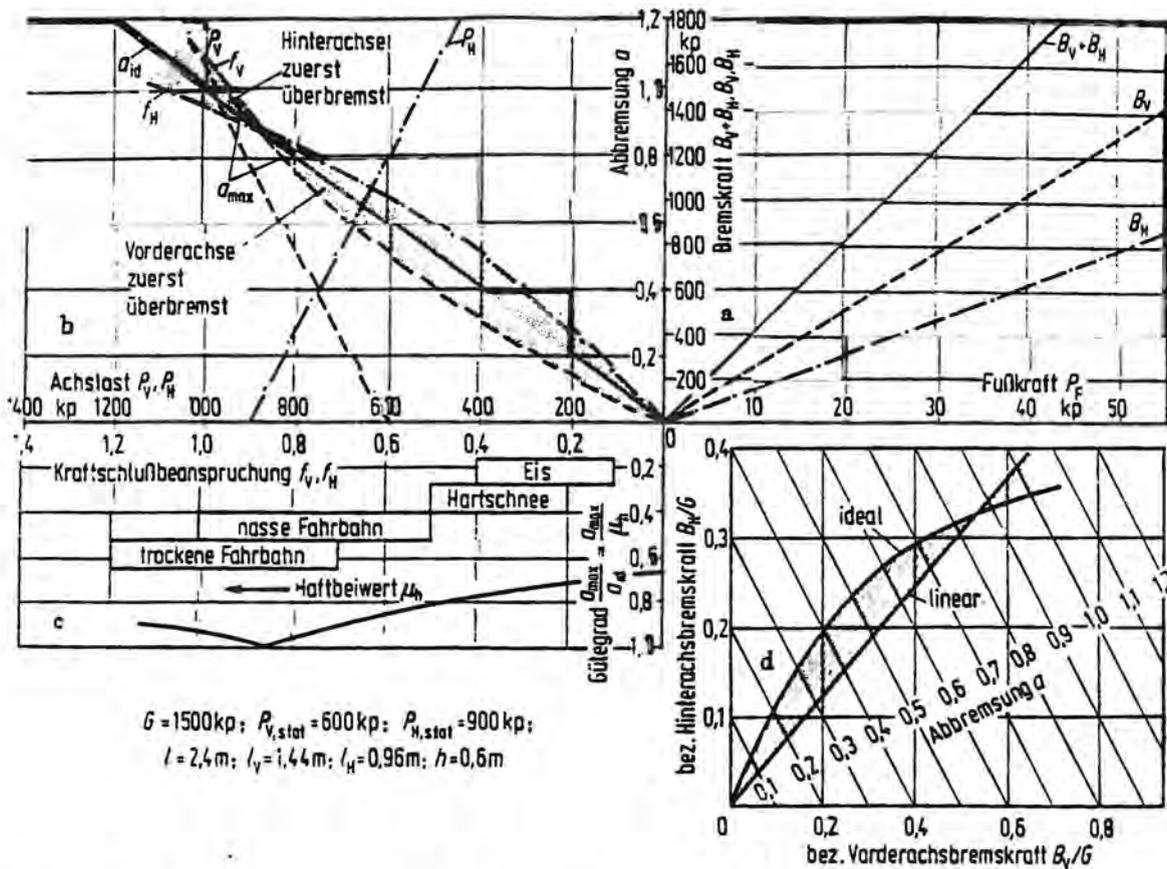
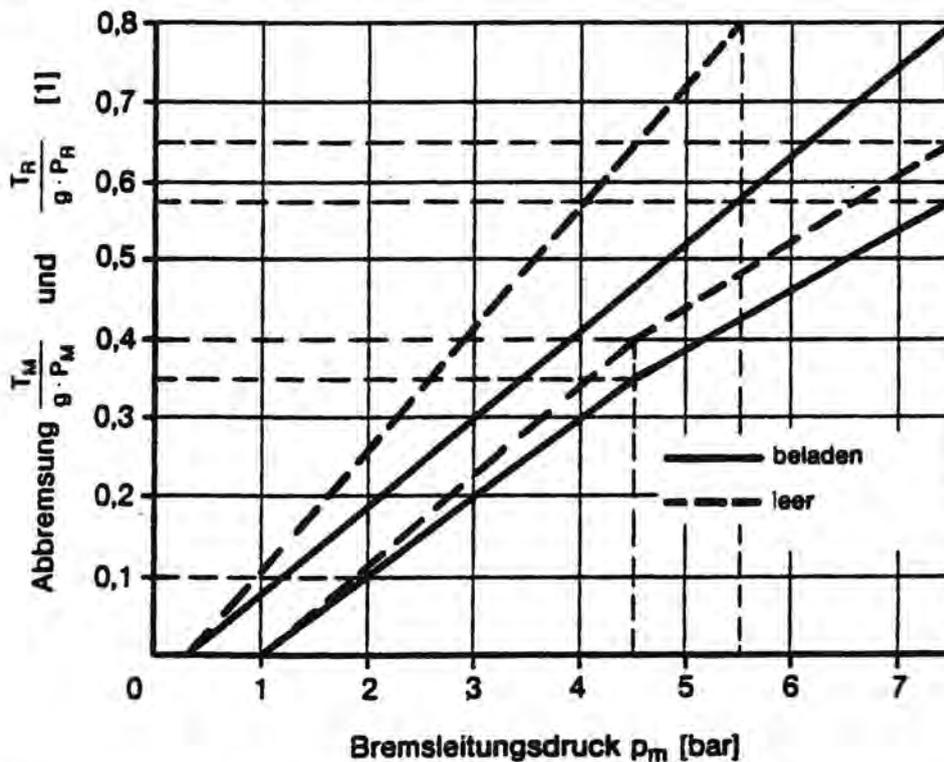
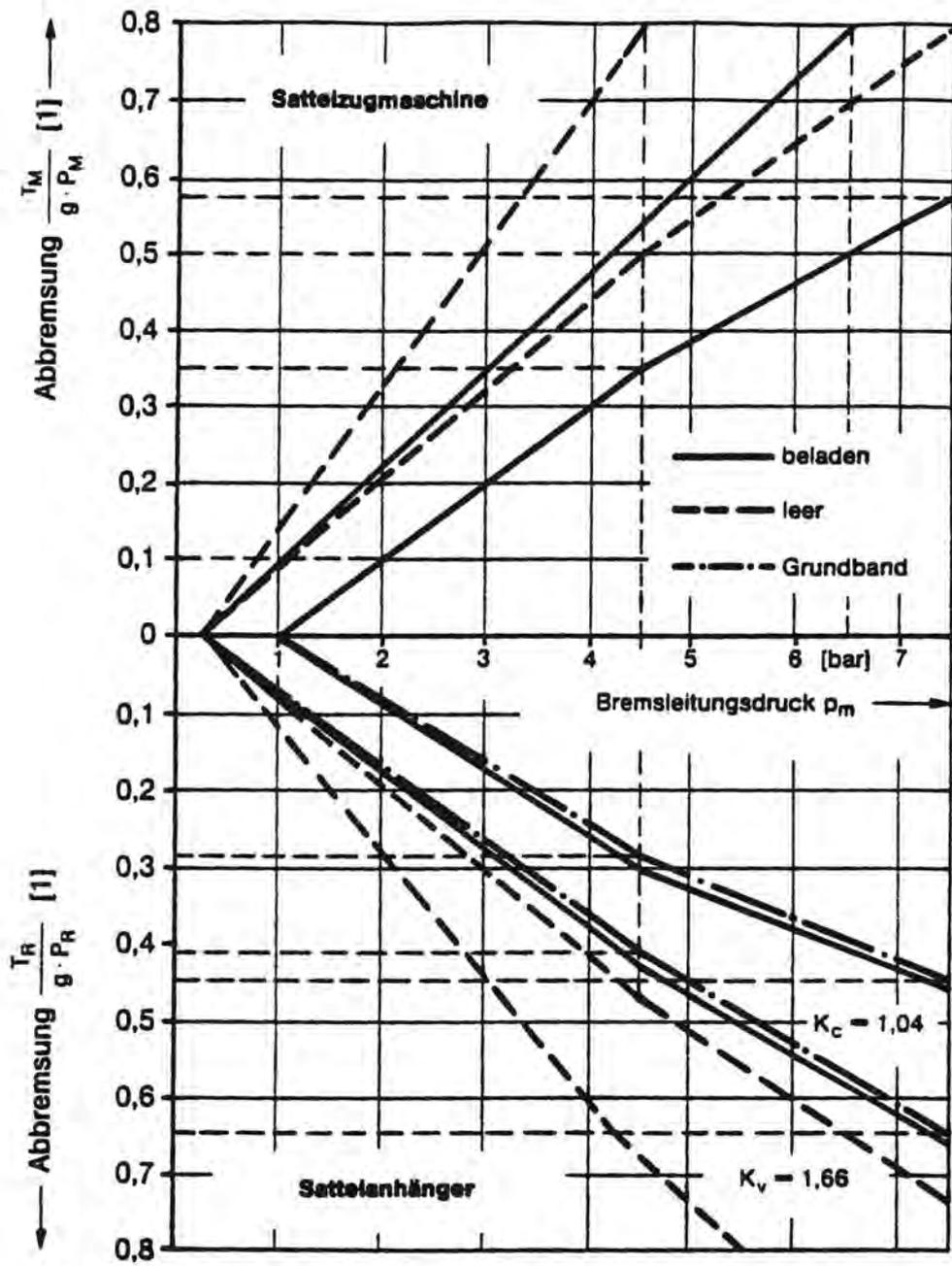


Bild 62.3 Kraftschlußbeanspruchung bei gegebener Bremskraftverteilung. Gegenüber dem Fahrzeug in Bild 62.2 wurde die lineare Bremskraftverteilung den statischen Achslasten angepaßt.

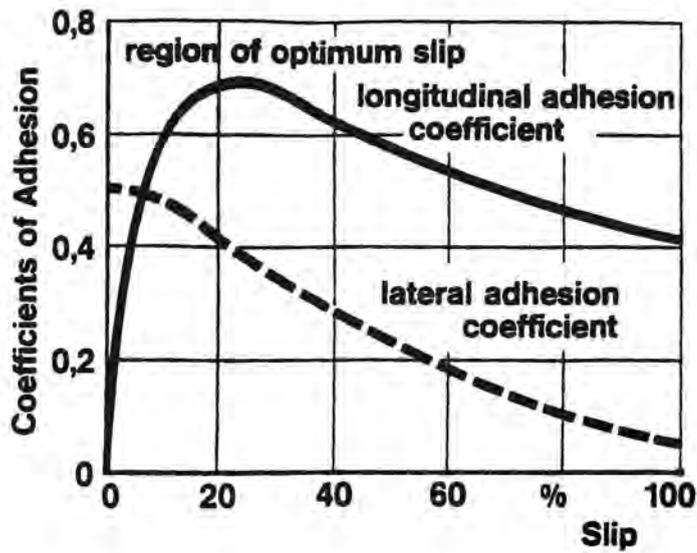
Afbeelding 9. Remkrachtdiagram (gewijzigd ten opzichte van Afbeelding 8) (Bron: Mitschke, 1972).



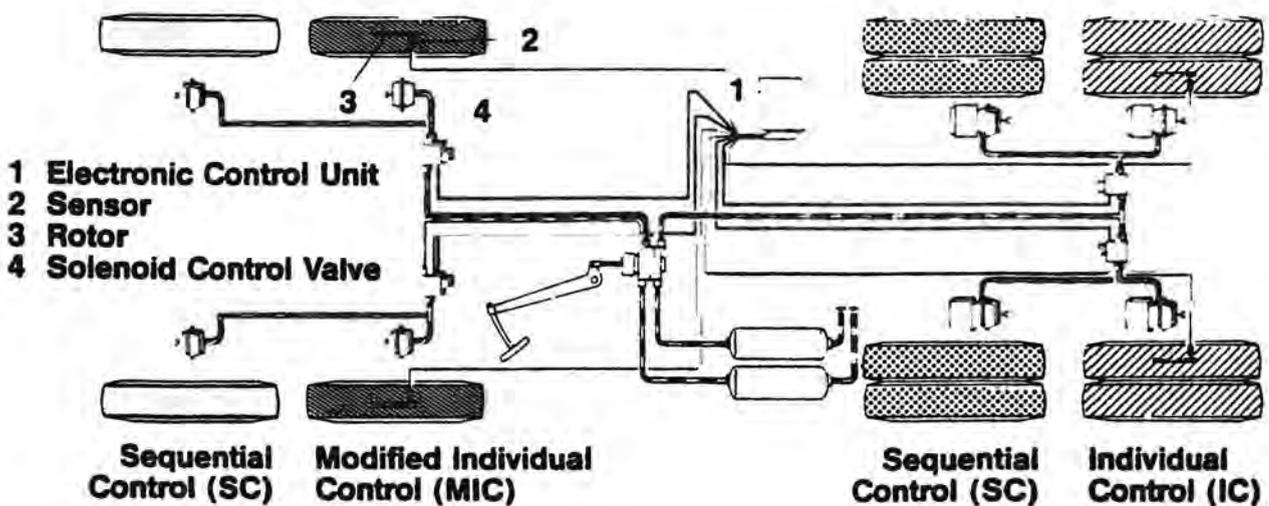
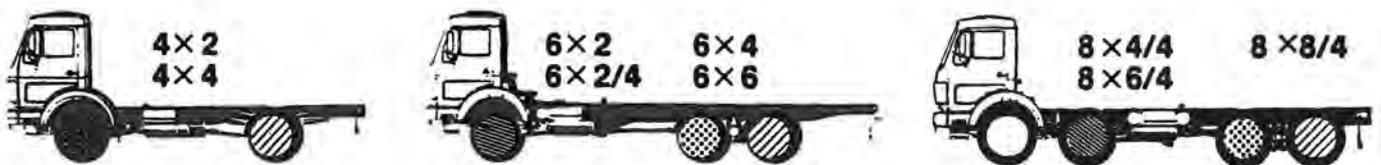
Afbeelding 10. Rem'banden' voor vrachtwagen plus aanhanger (Bron: Drometer, 1984).



Afbeelding 11. Rem'banden' voor trekker plus oplegger (Bron: Drometer, 1984).



Afbeelding 12. Verband tussen wrijvingscoëfficiënt en slip op nat wegdek (Bron: Göhring e.a., 1989).



Afbeelding 13. 4-kanaals anti-blokkeersysteem (Bron: Göhring e.a., 1989).