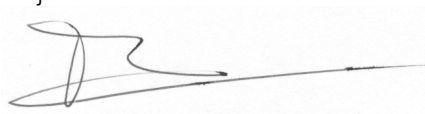


## Modernisering remsysteem ICM-1: Verbetering van veiligheid en rolgeluid



### Colofon

Opdrachtgever NS Reizigers  
Materieel & Infrabeleid  
ir. G.W. Fiechter  
Auteur [ir. F.K.K. Chang](#)  
Systeemgroep Remsystemen  
Kenmerk TR/FC/C141A/01-230280  
Versie 1.0  
Status definitief  
Datum 12 juni 2002  
Vrijgave auteur

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'F.K.K. Chang', written over a horizontal line.

## Samenvatting

Het huidige intercitymaterieel ICM-1, gebouwd in de jaren 1983–1986, staat bekend om het feit dat het, naar verhouding, veel rolgeluid produceert. Bovendien staat de veiligheid ter discussie: gemiddeld treden per jaar twee incidenten op waarbij sprake is van doorschieten van een trein uit de ICM-serie als gevolg van gladde sporen.

Deze problematiek is terug te voeren op het remsysteem. Met name de toegevoegde blokkenrem staat bekend om het feit dat zij polygonisatie ('veelhoekigheid') van de wielen veroorzaakt wat een verhoging van het rolgeluid tot gevolg heeft. De doorschieters zouden te wijten zijn aan het feit dat ICM-1 niet is voorzien van een magneetrem. Ook de antiblokkeerinrichting (ABI) zou hier een rol bij kunnen spelen.

Dit rapport doet een studie naar de mogelijkheden om deze twee belangrijke zwakte punten van het remsysteem van ICM-1 op te lossen. Belangrijke randvoorwaarden daarbij zijn de kosten en de invloed op instandhouding.

Er is een aantal mogelijkheden onderzocht. De twee meestbelovende daarvan zijn:

1. Het verwijderen van de blokkenrem in combinatie met een moderne ABI;
2. Het plaatsen van sinterblokken in combinatie met een moderne ABI.

Het toevoegen van een magneetrem zal de veiligheid slechts marginaal verhogen terwijl de investeringen naar verhouding aanzienlijk zijn.

De moderne ABI zal het aantal vlakke plaatsen doen verminderen. Samen met het verdwijnen van de polygonisatie zal dit het aantal geplande en niet-geplande afdraaibeurten voor het materieel aanzienlijk doen afnemen, zodat de beschikbaarheid van het materieel verhoogd wordt en de kosten voor instandhouding omlaag gaan. De investeringen zullen zichzelf dus terugverdienen.

Omdat binnen NS relatief veel onbekendheid bestaat met moderne antiblokkeerinrichtingen en met sinterblokken, wordt aanbevolen een pilot op te starten.

## Inhoudsopgave

<b>Samenvatting</b>	<b>2</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>5</b>
<b>2 Probleembeschrijving</b>	<b>6</b>
2.1 Geluid.....	6
2.2 Veiligheid.....	7
<b>3 Beschrijving remsysteem ICM-1</b>	<b>9</b>
<b>4 Historie aanpassingen remsysteem ICM-III</b>	<b>11</b>
4.1 Magneetrem .....	11
4.1.1 Elektromagneetrem.....	11
4.1.2 Permanente-magneetrem.....	12
4.1.3 Evaluatie magneetremmen .....	12
4.2 Alternatieve schakeling blokkenrem .....	13
4.2.1 Continuschakeling.....	13
4.2.2 Snelheidsafhankelijke schakeling.....	13
4.2.3 Evaluatie alternatieve schakelingen .....	13
4.3 Alternatieve remsblokmaterialen .....	14
4.3.1 Kunststofblokken .....	14
4.3.2 Sinterblokken.....	14
4.3.3 Evaluatie alternatieve remsblokmaterialen .....	14
4.4 Stand van zaken .....	15
<b>5 Inventarisatie mogelijke aanpassingen</b>	<b>16</b>
5.1 Blokkenrem.....	17
5.1.1 Verwijderen van de blokkenrem.....	17
5.1.2 Sinterblokken.....	17
5.1.3 Kunststofblokken .....	18
5.1.4 Conclusie blokkenrem .....	18
5.2 Magneetremmen.....	19
5.3 Antiblokkeerinrichting .....	20
5.4 Zandstrooiers .....	22
<b>6 Beoordeling mogelijke aanpassingen</b>	<b>24</b>
6.1 RAMS .....	25
6.1.1 Betrouwbaarheid .....	25
6.1.2 Beschikbaarheid.....	25
6.1.3 Onderhoudbaarheid.....	25
6.1.4 Samenvatting RAM-aspecten.....	26
6.2 Kosten en baten .....	26
6.2.1 Investeringen .....	27

6.2.2	Operationele kosten en baten.....	27
6.3	Beoordeling.....	28
<b>7</b>	<b>Conclusies en Aanbevelingen</b>	<b>30</b>
7.1	Conclusies.....	30
7.2	Aanbevelingen .....	30
	<b>Referenties</b>	<b>32</b>
	<b>Appendix A: Technische gegevens remsysteem</b>	<b>33</b>
	<b>Appendix B: Adhesie en antiblokkeerinrichtingen</b>	<b>35</b>
	<b>Appendix C: Meetresultaten ICM met magneetremmen</b>	<b>42</b>
	<b>Appendix D: Indicatieve kostenschattingen</b>	<b>43</b>

## 1 Inleiding

Het huidige intercitymaterieel ICM-1 (treinstellen 4011–4050), gebouwd in de jaren 1983–1986, is over enige tijd aan een revisie (LTO) toe. Hierdoor ontstaat de mogelijkheid om bepaalde aanpassingen aan het materieel door te voeren die anders niet zouden worden overwogen wegens de duur en/of de kosten ervan. Ook het remsysteem van deze treinen is onderwerp van de discussie, met name voor wat betreft de aspecten ‘geluid’ en ‘veiligheid’. Deze discussie is de aanleiding tot dit onderzoek geweest.

*Geluid* is het gevolg van het feit dat het remsysteem van ICM-1 de veroorzaker is van polygonisatie (‘veelhoekigheid’) van de wielen. Hierdoor ontstaat bij het rijden een hoog geluidsniveau. De belangrijkste oorzaak van de polygonisatie ligt in het feit dat het materieel is voorzien van een schijfremstelsysteem met *toegevoegde* gietijzeren blokkenrem. Deze combinatie is berucht als veroorzaker van polygonisatie.

*Veiligheid* is onderwerp van discussie als gevolg van het feit dat in het verleden een aantal incidenten heeft plaatsgevonden, en nog plaatsvindt, met ICM-driewagenstellen die zijn doorgesloten. Dit kwam voor bij stoptonende seinen en perrons. De veiligheidsinstantie (Railned) accepteert deze incidenten niet meer.

Dit rapport doet een studie naar de mogelijkheden om deze twee belangrijke zwakke punten van het remsysteem van ICM-1 op te lossen. Belangrijke beoordelingscriteria van de te beschouwen mogelijkheden zijn de invloed op onderhoudbaarheid, betrouwbaarheid en beschikbaarheid, ontwikkelingskosten, investeringskosten en operationele kosten. De veelbelovende kandidaat-oplossingen worden op deze criteria beoordeeld. De te verwachten investeringskosten en eventuele effecten op instandhouding, exploitatie en infrastructuur worden, voorzover mogelijk, gekwantificeerd.

Het rapport is als volgt opgebouwd. In hoofdstuk 2 wordt de geluids- en veiligheidsproblematiek in een remtechnisch kader geplaatst. Daarna geeft hoofdstuk 3 een summier technische beschrijving van het remsysteem. Hoofdstuk 4 geeft een overzicht van de reeds in het verleden gedane beproevingen en resultaten daarvan, waarna in hoofdstuk 5 een aantal verschillende additionele opties beschouwd wordt. De definitieve afweging wordt gemaakt in hoofdstuk 6, gebaseerd op bovengenoemde beoordelingscriteria. Besloten wordt in hoofdstuk 7 met conclusies en aanbevelingen.

De in dit rapport gedane observaties zijn zonder veel moeite te vertalen naar ICM-2 (treinstellen 4051–4097). Deze materieelserie is namelijk — qua remsysteem althans — gelijk aan ICM-1. In dit rapport wordt verder geen onderscheid gemaakt tussen deze twee series: ze vallen samen onder de noemer ICM-III. De nieuwere series ICM-3 (nummers 4201–4230) en ICM-4 (4231–4250) vallen samen onder de noemer ICM-IV (vierwagenstellen).

De treinstellen 4001–4007, oftewel ICM-0, worden hier buiten beschouwing gelaten, hoewel ook voor deze geldt dat het remsysteem functioneel gelijk is aan dat van de overige driewagenstellen.

## 2 Probleembeschrijving

### 2.1 Geluid

Het 'Besluit Geluidhinder Spoorwegen' (BGS) bevat een inventarisatie van de geluidemissie van het bestaande NS reizigersmaterieel. De emissiegetallen zijn praktijkgetallen, gebaseerd op metingen langs de baan, gedaan midden jaren '90 van de vorige eeuw. Uit deze metingen blijkt dat onder andere ICM-III een significant hoger geluidsniveau produceert dan het vergelijkbare ICM-IV materieel. Het verschil bedraagt volgens deze metingen circa  $7 \text{ dB(A)}$ , bij  $140 \text{ km/h}$ .

Hoewel het BGS niet expliciet eisen stelt aan de emissie van individuele treinen, maar immis-sienormen stelt voor huizen rond het spoor, ligt het in de lijn der verwachting dat in de toekomst strengere eisen aan het materieel zelf gesteld zullen gaan worden. Bovendien heeft NS een intentieverklaring ondertekend waarin overeengekomen is dat geluidsreducerende maatregelen aan het materieel bij grotere beurten zullen worden meegenomen. Ten slotte zal het totale emissieniveau van het treinverkeer toenemen door groei van het materieelpark en het aantal reizigerskilometers, zodat maatregelen om de immissie te beperken nodig zullen blijken.

De geluidscategorie waarin ICM-III valt is een van de meest luidruchtige, waarin ook ICR en DDM-1 vallen (categorie 2). Deze hebben gemeenschappelijk dat zij alle voorzien zijn van een toegevoegde gietijzeren blokkenrem. Ze staan ook bekend om het feit dat ze last hebben van polygonisatie. Reeds in het verre verleden is de invloed van blokkenremming op polygonisatie onderkend, waarbij al gauw duidelijk werd dat een toegevoegde blokkenrem een *ergere* polygonisatie veroorzaakt dan zuiver blokkenremd materieel (het geheel blokkenremde Materieel '64 heeft er minder last van, en valt ook in een stillere geluidscategorie).

Specifiek voor ICM-III leeft de overtuiging dat een rolgeluidsniveau als dat van ICM-IV haalbaar moet zijn. Dit wordt ingegeven door het feit dat het enige rem- en geluidstechnisch relevante verschil tussen ICM-III en ICM-IV de afwezigheid van de blokkenrem op laatstgenoemde is. De magneetrem van ICM-IV *op zich* heeft, naast een geringe opruwing van het spoor, geen aanwijsbare invloed op rolgeluid.

In dit rapport zullen mogelijke wijzigingen aan het remsysteem van ICM-III worden beoordeeld op hun invloed op geluid. Het gaat hier expliciet om *rolgeluid*; geluid gedurende remmen (piepen en dergelijke), rangeren en andere exploitatiesituaties wordt hier niet beschouwd. Eventuele invloed op deze geluidsniveaus zal natuurlijk worden vermeld. Ook zaken als wioldempers, schorten en dergelijke worden niet beschouwd.

Er wordt voor de verbetering van het remsysteem van ICM-III uitgegaan van een 'streefniveau' van de geluidsreductie tot het niveau van ICM-IV, welke overigens samen met IRM in de meest stille categorie valt<sup>1</sup>.

## 2.2 Veiligheid

Het remsysteem van ICM-1 bestaat uit een schijfrem met een toegevoegde blokkenrem. De toegevoegde blokkenrem is een typisch product uit de tijd waarin de schijfrem als opvolger van de klassieke blokkenrem in zwang kwam. Men durfde het toentertijd (nog) niet aan om zuiver schijfberemde treinen te laten rondrijden: de angst bestond dat met het wegvallen van het zogenoemde 'poetseffect' van de blokken de wielband te glad zou blijven, met als mogelijke gevolgen slechte adhesieuitnutting, onbetrouwbare remwegen en vlakke plaatsen. Ook de antiblokkeerinstallaties uit die tijd waren nog niet zo goed als nu.

Toch leeft de overtuiging dat ICM-III, met poetsblokken en al, veel last heeft van doorschieters bij gladde sporen. In het algemeen wordt aangenomen dat, dankzij hun magneetrem, de viertjes hier minder last van hebben, ondanks de afwezigheid van poetsblokken. In de door Railed Spoorwegveiligheid bijgehouden database met incidenten komt over de periode 1990–2000 een vijftiwintigtal incidenten voor met ICM waarbij gladde sporen als hoofdoorzaak zijn aangewezen (zie [21]). De verdeling van de incidenten over de typen III en IV is als volgt.

Incidenten 'doorschieters' ICM, 1990–2000			
Treinsamenstelling	Aantal incidenten	Vóór weging	Na weging
Alléén ICM-III	16	64%	50%
Alléén ICM-IV	6	24%	38%
Gemengde samenstelling of onbekend	3	12%	12%
<b>Totaal</b>	<b>25</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

De laatste kolom geeft de gecorrigeerde getallen op basis van de grootte van het park (94 driewagenstellen, 50 vierwagenstellen, een verhouding van bijna 2 op 1). Hoewel de populatie niet groot is kan op basis van deze getallen voorzichtig geconcludeerd worden (de relatieve zwaarte van de incidenten is niet beschouwd) dat het verschil tussen de drietjes en de viertjes helemaal niet zo groot is als algemeen gedacht. Dit kan op twee elkaar niet uitsluitende wijzen uitgelegd worden:

1. *Het netto effect van de magneetrem is kleiner dan verondersteld wordt.* Dit wordt ondersteund door de constatering dat bij veel incidenten met ICM-IV expliciet wordt opgemerkt dat de machinist te laat is met het plaatsen van de remhendel in de snelremstand. De magneetrem werkt pas als de snelremstand gekozen is. Het is dus niet

<sup>1</sup> Hierbij dient rekening gehouden te worden met het feit dat sinds 2000 een ander afdraairegime geldt voor ICM-III. De wielen worden preventief afgedraaid, wat de polygonisatie geen kans geeft om al te groot te worden. Het verschil van 7 dB(A) zoals hierboven genoemd is in de huidige praktijk ongetwijfeld kleiner. Het is dus niet realistisch te verwachten dat een daadwerkelijke 7 dB(A) winst gehaald zal worden (waarmee ICM-III dus stiller dan ICM-IV zou worden).

zozeer de technische functionaliteit van de magneetrem, maar de afhankelijkheid van menselijk handelen die hier de veiligheid beïnvloedt.

2. *Het 'poetseffect' van de blokken is kleiner dan doorgaans verondersteld wordt. Deze conclusie is al eerder getrokken, getuige het volgende citaat uit [14], in het kader van de toenmalige discussie rond de magneetrem op ICM-IV: 'Het in het verleden beproefde poetsblok gaf niet het gewenste effect van opruwing op de wielband. "De blokkenrem is overbodig gebleken" (1984)'.*

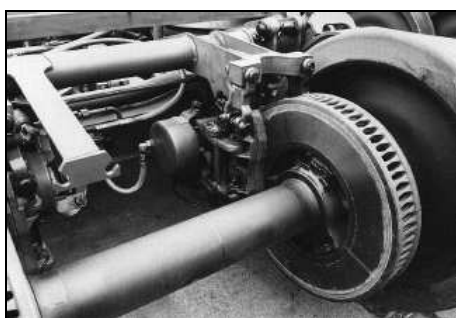
Zoals beschreven zal worden in hoofdstuk 3 is ICM voorzien van een antiblokkeerinstallatie (ABI) die bij slechte adhesiecondities doorschieters niet kan voorkomen. Het kan gebeuren dat netto slechts 50% van de gewenste remkracht wordt opgebracht gedurende een remming waarbij het risico bestaat dat de persluchtreservoirs uitgeput raken. Ook dit fenomeen verhoogt de kans op doorschieten.

Deze incidenten hebben ertoe geleid dat vanuit de hoek van Railned Spoorwegveiligheid de (dringende) aanbeveling is gedaan om ICM-III te voorzien van magneetremmen en een moderne ABI zodra dit redelijkerwijs mogelijk is. Er zijn echter nog meer mogelijkheden om doorschieters tegen te gaan, zodat in dit rapport bovengenoemde aanbeveling ruim geïnterpreteerd wordt als *'pas het remsysteem zodanig aan dat de kans op doorschieters geminimaliseerd wordt'*.

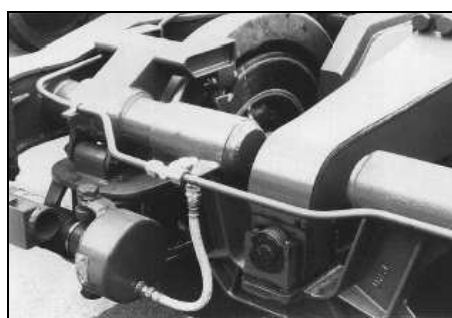
Dit rapport zal mogelijke aanpassingen alleen in relatieve, kwalitatieve zin beschrijven en beoordelen. Het is dus geen safety case waarin veiligheid in termen van risico en effect gekwantificeerd wordt, mede omdat het huidige noch het gewenste veiligheidsniveau precies bekend is.

### 3 Beschrijving remsysteem ICM-1

Hier wordt een korte beschrijving van het remsysteem gegeven. Enige kennis van spoorweg- en remtechniek wordt verondersteld. Het remsysteem van ICM-1 bestaat uit een schijfrem met een toegevoegde blokkenrem. De schijven zijn gemonteerd op zowel de motor- als de loopassen. Per as zijn twee schijven gemonteerd. De remcilinders van de schijfrem drukken met perslucht remvoeringen met frictiemateriaal tegen de schijf.



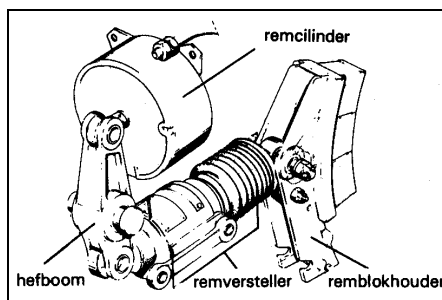
**Figuur 1: Remschijf op loopas ICM**



**Figuur 2: Wielremschijf op motoras ICM**

De wrijvingskracht die hiermee wordt opgewekt zorgt voor een vertraging van de as; de kinetische energie wordt zo omgezet in warmte van de schijf. De warmte wordt door de koelribben aan de rijwind afgestaan.

De blokkenrem is eveneens gemonteerd op zowel de loop- als de motordraaistellen. Per wiel is een blokkenremunit gemonteerd die aan één zijde een gietijzeren remblok tegen de wielband drukt. De hierbij optredende wrijvingskracht zorgt voor een vertraging op de as. De blokkenrem wordt bijgeschakeld bij ATB- en dodemaningrepen, snelremmingen, de noodrem reizigers en in de bedrijfremstanden 5 en hoger.



**Figuur 3: Blokkenremunit ICM**

Oorspronkelijk doel van de blokkenrem is de wielband 'op te ruwen' zodat een betere adhesieuitnutting zou moeten resulteren dan met schijfremmen alleen ('poetsblok'), waarmee doorglijders zouden moeten worden voorkomen.

Veelgehoord misverstand is het idee dat de blokkenrem voor een grotere, extra remvertraging zorgt: zodra de blokkenrem wordt bijgeschakeld wordt de bijdrage van de schijf even-

redig verminderd, zodat de totale remkracht en -vertraging gelijk blijft. Ook is de blokkenrem géén 'backup'-systeem dat eventuele uitval van de schijfrem zou kunnen opvangen (zie ook Appendix A).

De parkeerremfunctie wordt vervuld door de schijfremmen van (één van) de beide kopdraai-stellen met een handwiel te bedienen. Er is geen ED- of magneetrem aanwezig.

De remkrachtbronnen worden vanuit de cabine in principe elektrisch gestuurd aan de hand van doorgaande treindraden (EP-rem). Bij uitval van de EP-rem neemt de klassieke pneumatische sturing aan de hand van de treinleidingdruk over (P-rem). Traditionele veiligheidsremmingen als ATB, dodeman en noodrem reizigers vinden alle plaats via pneumatische weg (ontluchting van de treinleiding).

Ieder rijtuig van de trein is voorzien van een elektronische antiblokkeerinrichting (ABI) van het fabrikaat Oerlikon. De ABI heeft als primaire functie om bij gladheid of andere slechte adhesieomstandigheden (blaadjes, roest, vocht, vervuiling van de rail) de hierdoor optredende remwegverlenging te minimaliseren en de wielband te behoeden voor beschadigingen (vlakke plaatsen, uitbrokkelingen). In extreem slechte gevallen kan, zonder goede ABI, de remweg verdubbelen.

In Appendix A wordt het remsysteem in detail beschreven; in Appendix B wordt de werking van antiblokkeersystemen nader toegelicht.

## 4 Historie aanpassingen remsysteem ICM-III

In het verleden zijn verschillende onderzoeken en beproevingen aan ICM-III gedaan. Deze betroffen hoofdzakelijk het bestrijden van de polygonisatie, met als uitgangspunt dat de toegevoegde blokkenrem hiervan de oorzaak is. Een aantal opties is, in meer of mindere mate, onderzocht:

1. Het plaatsen van een magneetrem in plaats van de toegevoegde blokkenrem;
2. Het op een andere wijze bijgeschakelen van de blokkenrem;
3. Het plaatsen van alternatieve remblokken, eventueel in combinatie met een gewijzigd inschakelregime.

De uit deze proeven opgedane ervaringen worden hier beschreven<sup>2</sup>.

### 4.1 Magneetrem

De mogelijkheid om één of meerdere draaistellen met magneetremmen uit te rusten is overwogen. Zoals bekend zijn de latere ICM series 3 en 4 inderdaad met een magneetrem op drie draaistellen uitgerust (elektromagneet).

De magneetrem wordt alleen bijgeschakeld bij 'bijzondere remmingen', dat wil zeggen snelremmingen en remmingen opgelegd door het dodemansysteem, het ATB-systeem of de noodrem reizigers. Het grote voordeel van magneetremmen is dat de bijdrage aan de remkracht, hoewel niet groot, adhesieonafhankelijk is. Daarnaast vervullen zij een enigszins adhesieverbeterende werking door het 'schoonmaken' van de spoorstaaf. De assen die *achter* de magneetrem komen profiteren hiervan.

#### 4.1.1 Elektromagneetrem

De — naar verhouding — goedkoopste magneetrem is de elektromagneetrem (EMg). Deze wordt neergelaten op het spoor en daarna elektrisch bekrachtigd<sup>3</sup>. De aandrukkkracht plus de magneetkracht zorgen voor een wrijvingskracht langs de spoorstaaf.

In principe is de rem zoals hier uitgevoerd niet 'veilig', omdat het elektrische voedingssysteem niet fail safe is uitgevoerd. De EMg wordt ook niet meegeteld in het rempercentage.

Eind jaren '80 is een aantal proefnemingen gedaan met de BSI magneetrem [10]. Met kunstmatig slechte adhesieomstandigheden werden toch redelijke vertragingen behaald; echter nooit zo goed als in droge omstandigheden zonder magneet. Eveneens blijkt uit deze beproevingen duidelijk dat bij ICM een groot verschil bestaat tussen de rijrichtingen. In gladde omstandigheden worden 20% slechtere vertragingen gehaald met cabine 1 (mBDk) voorop dan met cabine 2 (sBFk) voorop, omdat de mBDk, zonder magneetrem, voorop loopt

---

<sup>2</sup> De experimenten op ICR (met een vergelijkbaar remsysteem) zijn zodanig fragmentarisch gedocumenteerd dat die niet nader worden bestudeerd.

<sup>3</sup> In tegenstelling tot wat in sommige wandelgangen wordt beweerd is de remkracht van de EMg niet regelbaar, althans, een EMg is voorzover bekend nog nooit zo toegepast.

en dus niet profiteert van de schoonmakende werking van de magneet. Dit effect wordt versterkt door de niet optimale ABI-werking. Zie Appendix C voor de precieze meetwaarden.

#### **4.1.2 Permanente-magneetrem**

Een tweetal typen permanente-magneetrem (PMg) is overwogen, die van Tebel (die nu ook in IRM zit) en een van OKE. Deze ontlopen elkaar niet veel qua invloed op de remweg [10, 12], ook niet in vergelijking met de EMg.

De PMg is een vrij complexe en dure constructie. De magneetslof wordt pneumatisch op het spoor neergedrukt. Daarna wordt het magnetisch krachtveld met behulp van een mechaniek ingeschakeld. Het heeft even geduurd voordat dit mechanisme geheel betrouwbaar was. Problemen met de slijtstukken waren er ook: pas met de komst van de nieuwe slijtstukken op IRM is het probleem van de zogenoemde plakkaatvorming opgelost. Deze plakkaatvorming zorgt voor een zeer slechte krachtsoverdracht tussen magneetslof en rail (zoals nu nog steeds bij de EMg van ICM-IV een probleem is).

Omdat de remkracht van de PMg niet afhankelijk is van externe voeding, en het probleem van de plakkaatvorming is opgelost, is het toegestaan de PMg — althans gedeeltelijk — als veiligheidsrem mee te tellen in het rempercentage, hoewel dit totnogtoe niet gedaan is.

#### **4.1.3 Evaluatie magneetremmen**

Een aantal overwegingen heeft toentertijd geleid tot het niet voor de magneetrem kiezen op de bestaande driewagenstellen. Dit waren, voorzover na te gaan, economische overwegingen:

1. Kapitaalvernietiging, door het verwijderen van de blokkenremunits;
2. Investeringskosten, met name voor een permanente-magneetrem.

Technisch gezien was er weinig in te brengen tegen het plaatsen van een magneetrem en het verwijderen van de blokkenrem. Het veronderstelde verlies van het 'poetseffect' van de blokken zou voldoende worden gecompenseerd door de schoonmakende werking op de rail van de magneetsloffen. Groter nadeel hiervan is echter wel dat de adhesieverbeterende werking alléén plaatsvindt in het geval van een bijzondere remming. In normale bedrijfsomstandigheden is het risico op doorglijden groter door de gladdere wielbanden, afgezien van de tractieproblemen (doorslippen bij het wegglijden).

De veiligheid zou verder gewaarborgd worden door de gegarandeerde, adhesie-onafhankelijke remkracht. Deze stellingname wordt enigszins ontkracht door het feit dat de werking van de magneet afhankelijk is van een niet-gegarandeerde voedingsspanning. De remvertraging van de magneetrem zelf is vrij gering, circa  $0,3 \text{ m/s}^2$  met drie magneetreminstallaties.

Toch werd de EMg voldoende veilig en betrouwbaar geacht om toepassing op ICM-IV samen met het weglaten van de blokkenrem te rechtvaardigen. De invloed van magneetremmen op het rolgeluid bestaat voorzover bekend niet, afgezien van een mogelijke, beperkte, verhoging van het rolgeluid door opruwing van de rail (wat tegelijk invloed heeft op alle andere treinen die langskomen op dat punt). Aangezien het om incidenten gaat — hoe vaak bijzon-

dere remmingen optreden is onbekend — is niet eenvoudig te zeggen wat de invloed op het totale geluidlandschap is en of die significant groot is. Vermoedelijk niet.

## **4.2 Alternatieve schakeling blokkenrem**

In de strijd tegen de polygonisatie is eveneens nagedacht over het inschakelregime van de blokkenrem. Het huidige systeem schakelt de blokkenrem bij zodra remstand 5 of hoger wordt gekozen. De blokken remmen dus alleen mee bij relatief hoge remkrachten. In het verleden zijn hier twee alternatieven voor beproefd: continuschkakeling (dus meerremmen in alle remstanden) en een snelheidsafhankelijke schakeling (meerremmen bij 50 *km/h* en hoger).

### **4.2.1 Continuschkakeling**

Aangezien polygonisatie en geluid bij ICM prominenter waren (en zijn) dan bijvoorbeeld bij Plan V12/13, werd beredeneerd dat de oorzaak voor deze grotere polygonisatie wellicht in het inschakelregime lag. Een schakeling gelijk aan die van Plan V12/13, namelijk permanent bijschakelen, zou deze extra polygonisatie kunnen verminderen. Dit is gedaan, met inderdaad een aanzienlijke verlaging van de polygonisatie (geen precieze geluidsreductiegetallen bekend).

Groot nadeel was de hoge slijtage van de remblokken en het piepende geluid bij de laatste meters voor het tot stilstand komen zoals bekend van klassiek blokberemd materieel.

### **4.2.2 Snelheidsafhankelijke schakeling**

In het licht van bovengenoemde hoge slijtage is later een proef gedaan met een snelheidsschakeling (bijschakelen boven 50 *km/h*, zie [5]). Hier is van de redenering uitgegaan dat de hoge slijtage van gietijzeren blokken met name in het lage-snelheidsgebied voorkomt, gezien de steil oplopende wrijvingscoëfficiënt van gietijzer in dat gebied. Tegelijkertijd zou het piepen bij het tot stilstand komen dan ook niet meer optreden.

De proeven zijn helaas slecht gedocumenteerd en het is niet duidelijk in hoeverre de slijtage en de polygonisatie zijn verminderd met deze schakeling.

### **4.2.3 Evaluatie alternatieve schakelingen**

Het permanent bijschakelen van de blokkenrem heeft de polygonisatie verminderd, maar niet opgelost. De slijtage van de blokken bleek, logischerwijs, flink gestegen. Geluid trad, zoals verwacht, op bij de laatste meters voor het tot stilstand komen.

De snelheidsschakeling (50 *km/h*) met gietijzeren blokken heeft geen duidelijke uitkomst voor wat betreft polygonisatie opgeleverd. Het ligt niet in de lijn der verwachting dat deze hiermee geheel verdwijnen zal.

Qua veiligheid zijn er geen conclusies getrokken en maken deze alternatieve schakelingen weinig tot geen verschil met de conventionele configuratie. De opruwing blijft in principe gelijk, voorzover dit überhaupt aan de veiligheid bijdraagt.

### 4.3 Alternatieve remblokmaterialen

Er zijn twee groepen van remblokmaterialen als alternatief voor gietijzer op de markt beschikbaar: kunststofblokken (gebaseerd op kunsthars) en sinterblokken. Ze hebben doorgaans een substantieel hogere wrijvingscoëfficiënt dan gietijzer, waardoor een aanpassing aan het remsysteem benodigd is om veelvuldige ABI-ingrepen, vlakke plaatsen en andere schades te voorkomen. Bovendien nemen met name kunststofblokken weinig energie (warmte) op waardoor de temperatuur van de wielband tijdens een remming aanzienlijk kan stijgen. Zie voor een uitgebreide inventarisatie van de technische aspecten van deze blokken [18].

#### 4.3.1 Kunststofblokken

Een aantal beproevingen met verschillende typen kunststofblokken is uitgevoerd. De toenmalige blokken werden niet goed bestand geacht tegen winterse omstandigheden zodat 's winters weer met gietijzer werd gereden [4].

Een L-blok (Becorit 670 L,  $\mu$  circa 0,17) en een LL-blok (Jurid 897 LL,  $\mu$  circa 0,11, asbesthoudend) zijn beproefd. Het remsysteem is niet aangepast, wat zich uitte in veelvuldig ingrijpen van de ABI bij het L-blok (verhoogd risico op vlakke plaatsen). Later bleek ook dat zich op de wielbanden een kunststof laagje had gevormd, wat de detectie in gevaar zou kunnen brengen en ook een verhoogde kans op doorglijden zou kunnen inhouden.

Ook de tractieinstallatie had moeite met de gladdere wielbanden, wat zich uitte in moeizaam aanzetten. Wel was een duidelijke vermindering van de polygonisatie bewerkstelligd, hoewel ook hier weer geen concrete resultaten van geluidsmetingen voorhanden zijn.

#### 4.3.2 Sinterblokken

Begin jaren '90 heeft een aantal beproevingen met sintermetalen remblokken (Abex en Jurid) in combinatie met een gewijzigd inschakelregime (bijschakelen boven 50 km/h) plaatsgevonden [8, 13]. De resultaten waren wat geluid betreft 'bevredigend' (geen exacte getallen bekend), maar de sinterblokken deden helaas ook wat al verwacht werd: er trad overmatige slijtage van de wielband en een onrustige loop op. Daarnaast werd het fabriekaat Jurid door de hoge percentages koper in het blok niet geschikt geacht voor grootschalige inzet.

Wegens de hoge wrijvingscoëfficiënt van de beproefde blokken is het remsysteem aangepast door de remcilinderdrukken te verlagen. Echter, de gewenste druk kon niet bereikt worden, aangezien deze zo laag is dat de remstandaandwijzers niet reageerden op het aanslaan van de rem. De bewering dat dit een groot obstakel is voor werkelijke invoering lijkt overigens enigszins gezocht.

#### 4.3.3 Evaluatie alternatieve remblokmaterialen

Geen van de beproefde K-, L- en LL-blokken heeft tot een bevredigend resultaat geleid. De bekende problemen, veel ABI-ingrepen door de hoge wrijvingscoëfficiënt, plakkaatvorming op de wielband bij kunststofblokken en aanvreten van de wielband door sinter, hebben zich alle voorgedaan.

Qua geluid is gebleken dat zowel de sinter- als de kunststofblokken de polygonisatie hebben verminderd. Onduidelijk is hoeveel geluidsreductie precies is bewerkstelligd. Veiligheidstechnisch lijken de kunststofblokken in het nadeel door de mogelijke plakkaatvorming.

Het is intussen bekend dat de fabrikanten met name op het K-blokkenvlak een deel van deze problemen redelijk hebben kunnen bestrijden. UIC-toelating van bepaalde typen K-blokken op goederenmaterieel is intussen een feit. Een hernieuwde evaluatie van de mogelijkheden is wat dat betreft niet uit te sluiten.

#### **4.4 Stand van zaken**

De beproevingen aan ICM hebben op een gegeven ogenblik ertoe geleid dat het park ICM-1 (en 2) een, wat remsysteem betreft, bijzonder gevarieerd aanzien kreeg. De proeven hebben rond dezelfde tijd, 1985 – 1995 gelopen en elk treinstel had wel een 'bijzonder' remsysteem. Dit was onderhoudstechnisch op zijn zachtst gezegd niet optimaal zodat op een bepaald moment alle ICM driewagenstellen teruggebouwd zijn naar 'standaard remsysteem'. Op het moment van schrijven is dat, voorzover bekend, nog steeds zo. Deze maatregel heeft ook tot gevolg gehad dat van veel van de proeven het uiteindelijke resultaat niet duidelijk is.

## 5 Inventarisatie mogelijke aanpassingen

Naast de in het verleden uitgeprobeerde alternatieven, die met name op vermindering van het geluid gericht zijn geweest, is er in het kader van deze studie nog een aantal andere mogelijkheden te bedenken. In dit hoofdstuk passeren de volgende opties de revue:

1. Aanpassingen aan de blokkenrem:
  - a. In zijn geheel verwijderen van de blokkenrem;
  - b. Vervangen van de gietijzeren blokken door sinterblokken:
    - Remstandafhankelijk bijschakelen;
    - Snelheidsafhankelijk bijschakelen;
    - Permanent bijschakelen.
  - c. Vervangen van de gietijzeren blokken door kunststofblokken:
    - Remstandafhankelijk bijschakelen;
    - Snelheidsafhankelijk bijschakelen;
    - Permanent bijschakelen.
2. Plaatsen van magneetremmen:
  - a. Elektromagneetremmen;
  - b. Permanent-magneetremmen;
  - c. Varianten in bijschakeling en aantal.
3. Vervangen van de bestaande ABI door een modern systeem:
  - a. Draaistelgestuurd;
  - b. Asgestuurd.
4. Plaatsen van zandstrooiers en soortgelijke:
  - a. Automatische;
  - b. Manuele.

Het moge duidelijk zijn dat in deze varianten in principe de bestaande hoofdremskrachtbron 'schijf' in stand blijft. In meer of mindere mate exotische opties als alternatieve schijven, alternatieve remvoeringen, ED-remmen of wervelstroomremmen zijn dus buiten beschouwing gelaten.

Verder worden, naast geluid en veiligheid, de volgende aspecten bekeken en, indien relevant, vermeld: investerings- en onderhoudskosten, mogelijke invloeden op de exploitatie en de infra.

Uitgegaan wordt van een in principe *ongewijzigd* remvermogen (rempercentage) van de trein voor de verschillende beschouwde aanpassingen, evenals – vanzelfsprekend – het in stand houden van de bestaande veiligheidsfuncties van de rem (ATB, dodeman, noodrem reizigers).

Tenslotte: het gaat hier om *relatieve* verbeteringen of verslechtingen ten opzichte van het *bestaande* remsysteem, en dus niet om specifieke eindoplossingen. Met andere woorden: de mogelijke varianten 'magneetrem toevoegen' en 'blokkenrem verwijderen' worden als twee aparte varianten bekeken en beoordeeld, hoewel uiteindelijk natuurlijk beide varianten *samen* een mogelijke eindoplossing vormen.

## 5.1 Blokkenrem

Mogelijke aanpassingen aan de blokkenrem zijn: verwijderen, sinter- of kunststofblokken. Een aantal mogelijkheden is al in hoofdstuk 4 besproken. Alternatieve schakelingen met gietijzer worden niet beschouwd omdat polygonisatie altijd in meer of mindere mate zal optreden zodat het geluid hier dus niet in voldoende mate mee bestreden zal worden.

### 5.1.1 Verwijderen van de blokkenrem

Het weghalen van de blokkenrem is het meest eenvoudige. We zijn dan in zijn geheel verlost van de polygonisatie en het geluidsniveau zou grofweg dat van ICM-IV moeten bereiken. De extra belasting van de schijfrem zou geen probleem moeten vormen, getuige de ervaring met ICM-IV (identieke schijven en vergelijkbare remkrachten).

Zoals beredeneerd in §2.2, bladzijde 7 en verder is het poetseffect van de blokken discutabel. Het veiligheidsniveau zal niet significant lager worden; er zullen sowieso additionele veiligheidsverhogende maatregelen worden bekeken aangezien dit een van de uitgangspunten van deze studie is.

Verwijderen van de blokkenrem heeft als bijkomende voordelen minder onderhoud, verhoogde betrouwbaarheid en beschikbaarheid en vormt op zich een kleine investering. De slijtage van de remvoeringen zal echter stijgen, geschat<sup>4</sup> met circa 20%.

### 5.1.2 Sinterblokken

De volgende pluspunten van sinterblokken zijn voor toepassing in ICM interessant:

- geen polygonisatie;
- lage slijtage van het blok;
- gunstige invloed op wielbandkwaliteit door 'wegvreten' kleine schades.

De volgende minpunten zijn daarentegen te noemen:

- risico op verslechtering loopeigenschappen door zogenoemde holslijtage;
- de noodzaak om andere remblokhouders te plaatsen;
- hogere prijs.

Grofweg kan gesteld worden dat de lagere blokslijtage de hogere prijs voldoende compenseert. Omdat de wielband niet zo glad wordt als bij weglating van de blokken zal de geluidsreductie ook minder groot zijn. Dit blijkt uit beproevingen met goederenwagens. Hoeveel minder is echter niet precies bekend.

Om het effect van holslijtage te verminderen zou voor een kleinere bijdrage in remkracht van de blokkenrem gekozen kunnen worden; dit gaat echter wellicht weer ten koste van het wegvreten van kleinere schades. Bovendien wordt van moderne sinterblokken gezegd dat ze

---

<sup>4</sup> Dit is gebaseerd de bijdrage in remkracht van de blokken van 25%, wat nu dus door de schijven wordt opgebracht, ietwat verminderd door het feit dat de blokken niet altijd meedoen.

minder agressief zijn dan vroeger. Uitgebreid experimenteren met de remkrachtverdeling heeft derhalve waarschijnlijk weinig zin.

Het veiligheidsniveau van de trein zal niet omlaag gaan. Sinter heeft een met gietijzer vergelijkbaar schurend effect op de wielband, zonder dat polygonisatie optreedt.

Als toch voor sinter gekozen wordt zal waarschijnlijk een L-blok of, indien beschikbaar, een LL-blok moeten worden uitgezocht. De mogelijkheden om de overbrengverhouding of de remcilinderdruk te wijzigen zijn, als de kosten binnen de perken moeten blijven, gering.

Onderhoud, beschikbaarheid en betrouwbaarheid van het remsysteem zullen met sinter niet sterk afwijken van de huidige praktijk.

### **5.1.3 Kunststofblokken**

De volgende pluspunten van kunststofblokken zijn voor ICM interessant:

- geen polygonisatie;
- lage slijtage van het blok;

De volgende minpunten zijn daarentegen te noemen:

- de noodzaak om andere remblokhouders te plaatsen;
- hogere prijs;
- slechte thermische eigenschappen.

Van het gebruik van kunststof als *toegevoegde* blokkenrem is weinig bekend. Zoals gesteld in §4.3.3 bestaat de angst dat de kunststof op de wielband achterblijft met gevaar voor de detectie, hoewel dit gevaar waarschijnlijk niet zo groot is als bij volledige blokkeremming.

De ontwikkeling van kunststof blokken heeft bovendien niet stilgestaan en voor goederenverkeer is een aantal bloktypen al UIC toegelaten. Dit zijn echter kunststof K-blokken, met een hoge wrijvingscoëfficiënt, wat inhoudt dat als de keus hierop valt de overbrengverhouding en waarschijnlijk ook de remcilinderdrukken aangepast moeten worden. Het is de vraag of dat binnen de bestaande configuratie kan. Er zullen op zijn minst andere remblokhouders moeten worden geplaatst. Zie ook [18].

Tenslotte zal het slijtagepatroon van de wielband mogelijk ongunstiger zijn dan met gietijzer, omdat het huidige wielprofiel is geoptimaliseerd voor gietijzeren beremming. Hierover is uit de praktijk weinig bekend.

### **5.1.4 Conclusie blokkenrem**

De in de voorgaande paragrafen gemaakte overwegingen zijn samengevat in de volgende tabel. De kunststofblokken worden aan de onveilige kant ingeschat, hoewel dit niet geheel terecht hoeft te zijn. Dit geldt ook voor het verwijderen van de blokkenrem.

Gezien de winst op geluidsgebied zijn de opties ‘verwijderen’ en ‘kunststof’ het meest wenselijk. Voor sinter en kunststof geldt bovendien dat hoogstwaarschijnlijk een ontwikkeltraject nodig zal zijn. Bovendien is een investering in alternatieve remblokhouders dan onvermijdelijk.

Opties 'blokkenrem'		Aspect	
		Geluid	Veiligheid
Blokkenrem geheel verwijderen		++	–
Sinter	Remstandafhankelijk	+	0
	Snelheidsafhankelijk	+	0
	Permanent	+	0
	Lagere kracht	+	0
Kunststof	Remstandafhankelijk	++	–
	Snelheidsafhankelijk	++	–
	Permanent	++	–
	Lagere kracht	++	–

## 5.2 Magneetremmen

Magneetremmen worden algemeen gezien als panacee voor het probleem 'gladde sporen'. In hoeverre dat terecht is, zoals in §2.2 gesignaleerd, is de vraag. Doorglijders met ICM-IV komen niet beduidend minder voor dan met ICM-III.

Naast de traditionele wijze van het toepassen van magneetremmen, dat wil zeggen alleen in de snelremstand, kan er nog gedacht worden aan:

- Meerdere magneetremmen, waarvan enkele al worden ingeschakeld bij normale bedrijfsremmingen ('cascadeschakeling'). Bijvoorbeeld 1 magneet in stand 5, twee magneten in stand 6, 3 magneten in stand 7 en de snelremstand.
- Een elektromagneet met regelbare remkracht.

Belangrijkste bezwaar tegen configuratie 1 is onnodig hoge slijtage van remmen en rail en slechte invloed op het comfort door grote sprongen in remkracht tussen stand 4 en opvolgende standen. Concept 2 is, als het al ooit ontwikkeld is, voorzover bekend nergens toegepast, wat op zich al voldoende pleit tegen deze variant. Energieverbruik en slijtage, van rem én rail, zouden bovendien onnodig hoog worden. Deze varianten zijn nodeloos complex, duur en onderhoudsgevoelig en worden niet nader overwogen.

Invloed van magneetremmen op geluid is niet aantoonbaar. Het vermoeden bestaat dat de opruwing van het spoor voldoende is om een merkbaar, hoewel gering, negatief effect op het rolgeluid te hebben. Belangrijk hierbij is natuurlijk de vraag hoe vaak magneetremmen überhaupt gebruikt worden. Dit is niet bekend.

Bij ICM is inbouwen van magneetremmen alleen eenvoudig mogelijk op de loopdraaistellen, zodat het schoonmaakeffect op de rail significant minder effect heeft als de motorbakken voorop lopen (zie Appendix C). Het is hierbij tevens noodzakelijk op de betrokken draaistellen de blokkenrem te verplaatsen (of te verwijderen). Montage op de motordraaistellen is theoretisch mogelijk maar zal een aanzienlijke inspanning vergen, zowel qua engineering als qua uitvoering.

Opruwing van de wielband vindt niet plaats. De wielbandkwaliteit wordt er hoogstens marginaal beter van; de verbeterde adhesie zou het aantal ABI-ingrepen moeten verminderen en vlakke plaatsen moeten voorkomen. De adhesieverbetering werkt echter alleen in de snelremstand; de tijd die nodig is voor de machinist om de rem in de snelremstand te plaatsen (waarna het nog 2 seconden duurt voordat de rem op de rail is neergelaten) is te lang om een eventuele vlakke plaats te verhinderen. Dit wordt ondersteund door de afdraaistatistieken (ICM-III doet het wat vlakke plaatsen betreft niet slechter dan IV).

De volgende tabel toont de mogelijke kandidaten uit de categorie 'magneetrem'. De veiligheidsverhoging ten opzichte van een gewone ICM-III wordt beoordeeld met niet meer dan één 'plus'. De in §2.2 aangetoonde afhankelijkheid van de machinist geeft hier de doorslag voor.

Opties 'magneetrem'	Aspect	
	Geluid	Veiligheid
EMg	0	+
PMg	0	+

Tenslotte is de magneetrem, met name de PMg, een prijzig en complex systeem. De — dure — slijtstukken van de huidige EMg dienen regelmatig gecontroleerd te worden om de werking te garanderen (moderne magneetremmen hebben hier overigens geen last van). Slijtage van de rail is sowieso een argument vanuit de infrastructuur voor het zo min mogelijk gebruiken van magneetremmen, en al zeker niet bij bedrijfsremmingen.

In hoeverre de ten opzichte van de PMg niet-veiligverklarde EMg toch toelaatbaar is, is een discussie op zich die hier niet verder wordt aangegaan aangezien een eventuele Mg op ICM niet mee zal tellen in het rempercentage (hoewel de *veiligheid* hier wel degelijk mee beïnvloed wordt).

### 5.3 Antiblokkeerinrichting

De antiblokkeerinrichting van ICM stamt uit de jaren zeventig. Hoewel toentertijd state of the art, hebben de ontwikkelingen op dit gebied niet stilgestaan en kan de huidige ABI als ouderwets worden beschouwd. In Appendix B wordt een overzicht gegeven van de werking van het systeem en de historie op dit gebied.

Het vervangen van de huidige ABI door een modern exemplaar zal een sterke verhoging van de veiligheid opleveren. De trein zal een betrouwbaar en veel voorspelbaarder remgedrag krijgen. Doorschieters worden gedurende de remming voorkomen: de apparatuur zoekt continu naar de maximaal beschikbare adhesie en houdt daarmee bij glad spoor de remweg binnen de perken. Hierbij worden de wielen in een gecontroleerde slip gehouden.

Door de hitte van het gecontroleerd slippen zal ook een vorm van adhesieverbetering voor de volgende assen optreden ("wegbranden" van verontreinigingen). Groot pluspunt hierbij is, dat in tegenstelling tot de magneetrem dit adhesieverbeterend effect *altijd* optreedt: in alle remstanden, in alle omstandigheden, in beide richtingen. Bovendien is de afhankelijk-

heid van de machinist vrijwel geëlimineerd en is een belangrijke oorzaak van de doorschieters hiermee weggenomen. Ten laatste is de kans op uitputting van de persluchtreservoirs door het lage luchtverbruik sterk verkleind.

Er bestaan twee varianten ABI: draaistelgestuurd en asgestuurd. De asgestuurde variant is technisch de mooiste, waarbij iedere as bijgeregeld wordt op optimale adhesieuitnutting. De draaistelgestuurde variant regelt — zoals de naam al zegt — per draaistel. In dat geval zal altijd één van de twee assen suboptimaal worden aangestuurd. De huidige ABI van ICM is ook draaistelgestuurd, zodat in dit geval deze variant goedkoper en met minder hak- en breekwerk aan te brengen zal zijn.

Naast de voordelen op het veiligheidsvlak is er nog één groot bijkomend voordeel: een moderne ABI is zeer goed in staat om vlakke plaatsen te voorkomen. Deze zorgen, hoewel incidenteel, voor een sterke verhoging van het rolgeluid.

In onderstaande tabel zijn de mogelijkheden voor wat betreft het deelsysteem 'ABI' samengevat. De winst op geluidsgebied is met een bescheiden 'plus' gewaardeerd.

Opties 'ABI'	Aspect	
	Geluid	Veiligheid
Asgestuurd	+	++
Draaistelgestuurd	+	+

De invloed op de exploitatie is groot. Vlakke plaatsen (en gevolgschades) zijn een grote kostenpost en hebben een grote invloed op de materieelbeschikbaarheid. Totale kosten voor afdraaiingen aan ICM-wielen bedragen voor 2002 naar schatting<sup>5</sup> € 1,3 miljoen, waarvan een aanzienlijk deel aan vlakke plaatsen en directe gevolgen zoals uitbrokkelingen te wijten is<sup>6</sup>. De indirecte gevolgschade in de vorm van verminderde beschikbaarheid en overige effecten op het treinverkeer komt hier nog bovenop.

Proefnemingen met een derde-generatie, asgestuurde ABI in SGM (oorspronkelijk voorzien van dezelfde ABI als ICM) resulteerden in een vermindering van vlakke plaatsen met gemiddeld 50%, met uitschieters tot 80% in de gladde periode<sup>7</sup>. De huidige vierde generatie doet het nog beter. Een ABI levert dus geld op, in tegenstelling tot de magneetrem.

Tenslotte is een goede ABI een zeer betrouwbaar en onderhoudsarm systeem. In principe bestaat het onderhoud alleen uit regelmatige controle en is er geen sprake van slijtage.

<sup>5</sup> Bron: NedTrain Services OCM

<sup>6</sup> De ervaringen met Gotcha geven aan dat de betrouwbaarheid van de afdraaigegevens in R5 op zijn zachtst gezegd discutabel is, zodat hier niet exact aangegeven kan worden wat de precieze bijdrage van vlakke plaatsen is.

<sup>7</sup> Statistieken van de SNCF ondersteunen deze getallen.

#### 5.4 Zandstrooiers

Zandstrooiers zijn een klassieke oplossing voor adhesieproblemen. De meest eenvoudige variant is de manuele, die vooral op goederenlocs wordt toegepast. Als er problemen zijn met remmen (of tractie geven, overigens) kan de machinist door op een knop te drukken de zandstrooier activeren. Het zand verhoogt de beschikbare adhesie sterk. Omdat een deel van het zand op het spoor blijft liggen zullen ook de achteroplopende rytuigen en wagens hiervan profiteren.

Het grote nadeel van deze methode is, evenals bij de magneetrem, de sterke afhankelijkheid van de machinist. Bovendien bestaat de kans dat zand in het omstelmechanisme van wissels gaat zitten en daarmee de werking verhindert. Ook zal de rail versneld slijten. Omdat zand elektrisch isoleert zal ook de detectie van de trein beïnvloed worden.

Automatische zandstrooiers, zoals gangbaar in Groot-Brittannië, nemen een deel van de genoemde problemen weg. Hun werking is globaal gezien als volgt. Indien tijdens een remming de ABI ingrijpt — en het dus glad is — wordt zand gestrooid. De dosering is afhankelijk van de *remstand*: bij lage remstanden een lage dosering, bij vol- en snelremmingen een hoge dosering (enkele grammen per minuut; dit maximum wordt door de detectie-eigenschappen bepaald. In Nederland is hier nog weinig onderzoek naar gedaan, voorzover bekend). Strikt genomen is het geen strooier maar een spuit, aangezien met perslucht het zand tussen wiel en rail wordt 'gespoten'. Ook bestaan versies met alternatieve materialen, zoals de Japanse 'Cerajet' die met keramische deeltjes werkt (waarvan de werking niet evident is overigens).

Het mooie van het systeem is dat in geval van glad spoor een passerende — remmende — trein de gladheid bestrijdt (een moderne ABI doet dit overigens ook door het 'wegbrand'-effect). Veel van het zand blijft liggen zodat een volgende trein geen last heeft van gladheid en dus ook niet overbodig zal strooien. Pas na een aantal passages is het zand verdwenen en zal, indien nodig, opnieuw automatisch gestrooid worden. Daarnaast is het systeem evenals de ABI onafhankelijk van de machinist en behoeft het niet al te veel onderhoud (periodiek vullen van de zandreservoirs en controleren op verstopping). Bijkomende voordelen zijn minder wielbandschade, vlakke plaatsen (beschikbaarheid) en verbeterde *tractie* (en dus punctualiteit), door het systeem op de tractieregeling aan te sluiten<sup>8</sup>.

Normaliter wordt het systeem op het tweede draaistel van de kopbak geplaatst indien er plaats is (twee installaties dus bij een treinstel), waarbij de spuitmond de derde as 'bedient'. De voorste assen worden dus niet beïnvloed door zand en zullen glijden. Het glijden van deze assen wordt gebruikt als indicator voor 'glad spoor', waarna gestrooid wordt en de overige assen profiteren. De voorste assen behouden dus een verhoogd risico op wielbandschade. Dit is de meest economische variant (twee installaties). Als de draaistellen in kwestie *niet* aangedreven zijn moet er nog een derde of zelfs vierde installatie worden geplaatst om in

---

<sup>8</sup> *Moderne tractieinstallaties hebben een slijpregeling die, analoog aan de moderne ABI, een optimale adhesieuitnutting probeert te bereiken. Deze hebben minder behoefte aan zandstrooiers dan de klassieke tractieinstallatie van ICM.*

beide richtingen een verbetering qua tractie te krijgen. Bij ICM-III zullen drie installaties nodig zijn. De draaistellen van de sBFk zijn niet aangedreven en de mBDk zal dus een extra installatie nodig hebben.

Nadelig zijn de kosten voor installatie, extra onderhoud, de mogelijkheid van vastlopende wissels, en mogelijk gebrekkige detectie. Bovendien is achteraf inbouwen niet altijd mogelijk omdat de apparatuur vrij volumineus is (het zandreservoir bevat circa 100 liter en mag niet te ver van de spuitmond af liggen). Gezien de beperkte ervaring binnen NS met deze apparatuur is nader onderzoek en overleg met de railinfrabeheerder absoluut nodig om de gesignaleerde risico's te kwantificeren. Vergelijk met Groot-Brittannië is niet zomaar te maken aangezien het detectiesysteem daar afwijkt. Verder onderzoek zou zich kunnen richten op de keramische variant (Cerajet), waarvan nog minder bekend is.

Eigenlijk kan de manuele zandstrooier als achterhaald beschouwd worden. De automatische variant biedt zoveel meer voordelen dat de meerprijs zonder meer gerechtvaardigd is. Wat het aspect geluid betreft kan beredeneerd worden dat zandstrooien hierop eerder een negatief dan een positief effect zal hebben aangezien de wielband, en de rail, ruwer worden gemaakt. Samengevat:

Opties 'zandstrooier'	Aspect	
	Geluid	Veiligheid
Manueel	–	+
Automatisch	–	++

## 6 Beoordeling mogelijke aanpassingen

Geen van de in de voorgaande hoofdstukken beschouwde mogelijkheden voldoet aan zowel de veiligheidseisen als de gewenste geluidsreductie. Er zal dus een optimale combinatie van mogelijkheden moeten worden gezocht.

De bevindingen zijn hieronder nog een samengevat.

Optie	Geluid	Veiligheid
Blokkenrem verwijderen	++	–
Kunststofblokken	++	–
Sinterblokken	+	0
EMg	0	+
PMg	0	+
ABI, asgestuurd	+	++
ABI, draaistelgestuurd	+	+
Automatische zandstrooier	–	++

Om optimale geluidsreductie te krijgen valt de automatische zandstrooier af. Kunststofblokken hebben ten aanzien van het totaal verwijderen van de blokkenrem geen toegevoegde meerwaarde: het effect op veiligheid en geluid is gelijk, maar het zal sowieso meer gaan kosten.

Gegeven dit feit zijn dan de meest interessante combinaties, in oplopende volgorde van veiligheid:

1. Blokkenrem verwijderen + Magneetrem sec ("ICM-IV")
2. Draaistelgestuurde ABI in combinatie met:
  - a. Blokkenrem verwijderen
  - b. Sinterblokken
3. Asgestuurde ABI in combinatie met:
  - a. Blokkenrem verwijderen
  - b. Sinterblokken
4. Blokken verwijderen + draaistelgestuurde ABI + Mg
5. Blokken verwijderen + asgestuurde ABI + Mg

De blokkenrem behouden, met sinterblokken, in combinatie met een magneetrem is eigenlijk onmogelijk. De blokkenremunits zouden verplaatst moeten worden naar de 'buiten'zijde van het draaistel. Magneet op *motordraaistel* wordt als technisch zeer discutabel gezien en hier niet in de overwegingen meegenomen.

Deze mogelijkheden worden vergeleken en beoordeeld in de volgende paragrafen.

## **6.1 RAMS**

De RAMS-aspecten zijn: betrouwbaarheid, beschikbaarheid, onderhoudbaarheid en veiligheid. Deze zullen hier slechts op kwalitatief vlak worden beoordeeld. De veiligheid is al uitgebreid aan bod gekomen, zodat die hier niet verder behandeld wordt.

### **6.1.1 Betrouwbaarheid**

De bestaande blokkenrem is een betrouwbare component. Verwijderen zal de betrouwbaarheid van de trein natuurlijk verhogen; de schijfrem wordt echter zwaarder belast. Grote invloed op het totaal zal dit niet hebben. Voor sinterblokken geldt een vergelijkbare redenering: het remsysteem blijft vrijwel gelijk.

Magneetremmen hebben, uit ervaring, een hoge betrouwbaarheid, met name de PMg. De EMg zoals op ICM-IV gemonteerd kan in theorie uitvallen maar hiervan zijn weinig praktijkgevallen bekend. Desondanks zal de betrouwbaarheid van de trein in zijn geheel omlaag gaan aangezien aan het geheel een component wordt toegevoegd met een bepaalde faalkans.

Moderne antiblokkeerinrichtingen zijn zeer betrouwbaar. Ze zijn door meervoudige veiligheids- en verbeterde kleppen betrouwbaarder dan de bestaande ABI van ICM. Ze zijn voorzien van een zelfdiagnosesysteem en defecten worden op een display aangegeven. Bovendien schakelt het systeem in dat geval over op noodbedrijf, waarna de werking doorgaans nog zeer redelijk is.

### **6.1.2 Beschikbaarheid**

Verwijderen van de blokkenrem zal de beschikbaarheid verbeteren door het feit dat in de huidige situatie de standtijd van de gietijzeren remblokken een maatgevend aspect is voor binnenkomsten in de onderhoudsbedrijven. Dit wordt weer enigszins gecompenseerd door de circa 20% hogere slijtage van de voeringen, hoewel deze niet kritisch is (en naar verwachting ook niet wordt). Ook de standtijd van sinterblokken is flink langer: grofweg kan uitgegaan worden van circa twee keer die van gietijzer.

De magneetrem op zich zal de beschikbaarheid enigszins vergroten, omdat de kans op vlakke plaatsen, en daarmee het aantal niet-geplande binnenkomsten, iets kleiner wordt door het schoonmaakeffect. Zoals echter beredeneerd in §5.2 is die kans marginaal te noemen.

Een moderne ABI heeft een zeer gunstige invloed op de beschikbaarheid. Vlakke plaatsen worden gereduceerd met tenminste 50% in het geval van een asgestuurde ABI. Het aantal niet-geplande bezoeken aan de kuilwielenbank gaat hiermee fors omlaag.

### **6.1.3 Onderhoudbaarheid**

Verwijderen van de blokkenrem is natuurlijk voordelig voor het onderhoud in de zin dat er een deelsysteem minder is dat onderhoud behoeft. Voor sinterblokken geldt als positief punt dat ze vergeleken met gietijzer een langere standtijd hebben en dus minder vaak hoeven worden vervangen.

Moderne magneetremmen hebben geen last van plakkaatvorming onder de sloffen zoals de oude EMg van ICM-IV, die elke dag hierop gecontroleerd moet worden. Het onderhoud voor een moderne Mg beperkt zich dan tot controle van de pneumatisch/mechanische werking, die plaatsvindt bij elke controle van het remsysteem (24 uurs-controle). De constructie is wel redelijk complex zodat in geval van defect aanzienlijke inspanningen nodig kunnen zijn.

ABI's behoeven in principe geen onderhoud, defecten daargelaten. In dat geval meldt de interne diagnose wat er aan de hand is. De constructie is niet ingewikkeld en vervangen van defecte componenten is in de meeste gevallen zeer eenvoudig. Bovendien verandert er niet veel aan het onderhoud aangezien de trein al voorzien is van een ABI.

#### 6.1.4 Samenvatting RAM-aspecten

Verwijderen van de blokkenrem of invoeren van sinterblokken heeft geen grote invloed op deze aspecten, de langere standtijd van sinter daargelaten. De enige variant met een negatieve impact is de magneetrem. Met name de onderhoudbaarheid is minder dan die van de andere varianten.

Positieve uitschieter is de ABI, die voor een sterke verhoging van de beschikbaarheid van de trein kan zorgen door het optreden van vlakke plaatsen terug te dringen. De magneetrem doet dit ook, maar het effect is veel kleiner. De effecten zijn samengevat in de volgende tabel.

Variant	Beschrijving	Betrouwbaarheid	Beschikbaarheid	Onderhoudbaarheid
1	Blokkenrem verwijderen + Mg	-	+	0
2a	Blokken verwijderen + ABI drst	+	++	+
2b	Sinterblokken + ABI drst	+	++	+
3a	Blokken verwijderen + ABI as	+	++	+
3b	Sinterblokken + ABI as	+	++	+
4	Blokken verw + ABI drst + Mg	0	++	0
5	Blokken verw + ABI as + Mg	0	++	0

Belangrijk onderhoudsaspect voor *alle* opties die hier besproken zijn is dat onderlinge compatibiliteit van draaistellen tussen ICM-1 en overige ICM-series hiermee teniet wordt gedaan aangezien de blokkenrem wordt gewijzigd dan wel verwijderd. Er zal dus ook rekening moeten worden gehouden met extra kosten voor het aanpassen van de reservevoorraad draaistellen en de logistieke consequenties. Aangezien dit voor alle varianten geldt wordt het niet meegewogen. Dit aspect zal minder zwaar gaan tellen als ook de overige ICM drietjes worden gewijzigd.

## 6.2 Kosten en baten

De kosten zijn onder te verdelen in investeringen en operationele kosten en opbrengsten. Afschrijving en sloop worden niet beschouwd.

Er kan hier slechts een grove indicatie worden gegeven. Veel getallen die hier genoemd worden zijn schattingen of in een ver verleden bepaald. Van veel werkzaamheden doen en

deden bovendien schattingen de ronde die niet altijd consistent met elkaar zijn, en is de werkelijk bestede effort niet bekend. Wat dat betreft wordt hier een ruime slag om de arm gehouden. De schattingen zijn in detail terug te vinden in Appendix D.

### 6.2.1 Investerings

Het verwijderen van de blokkenrem is relatief eenvoudig en kan snel. De remcilinderdrukken van de schijfrem moeten tegelijkertijd worden aangepast, wat ook geen erg ingrijpende operatie is. Totale kosten: € 334.000. Voor sinterblokken moet de remblokhouders worden vervangen en zal geïnvesteerd moeten worden in een ontwikkelingstraject. Aanpassen van de remcilinderdrukken zal eveneens noodzakelijk zijn. Totaal: € 650.000.

De hoeveelheid werk voor een ABI is afhankelijk van het type. Plaatsen van een draaistelgestuurde variant is eenvoudiger: de huidige ABI is ook draaistelgestuurd zodat minder hak- en breekwerk nodig zal zijn. Totale kosten: € 1,6 miljoen. Voor de asgestuurde variant is iets meer werk nodig, er moet per as een klep worden geplaatst, totaal komt dit op € 2 miljoen.

De grootste investering is de magneetrem. Hier wordt alleen plaatsing op de loopdraaistellen overwogen<sup>9</sup>. De EMg-unit is goedkoper, maar de hoeveelheid werk is groter omdat de elektrische installatie moet worden aangepast (extra laadapparatuur en batterijen). Uit toenmalige berekeningen is gebleken dat het netto verschil klein is. Totale investering € 5,9 miljoen.

### 6.2.2 Operationele kosten en baten

De operationele baten zitten in de besparing op wielbanden, afdraaikosten en onttrekkingen door de verminderde polygonisatie. Qua verbruik van remblokken en ~voeringen verandert er, in geld uitgedrukt, niet veel.

Afdraaiingen kosten veel geld: zowel door de hoeveelheid werk als door het verbruik van wielbanden. Een voorspelling voor 2002 door NedTrain Services spreekt van € 1,3 miljoen voor het park ICM-III voor alléén kuilwielenbankbehandelingen, zonder bijkomende kosten als gederfde inkomsten wegens stilstand materieel, rebandageringen, etcetera<sup>10</sup>. Een kuilwielenbankbehandeling kost € 426. Het aandeel van ICM-1 hierin (2001) is circa 1353 keer afdraaien = € 575.000.

Ook is bekend dat in 2001 het totaal aantal afdraaiingen voor ICM-III, per wielstel, 38% hoger was dan voor ICM-IV. Uit onder andere de metingen met GOTCHA blijkt dat de afdraai-redenen die worden bijgehouden in R5 als twijfelachtig kunnen worden beschouwd. Bovendien is afdraaien op basis van *contourmetingen* met name bij ICM ver doorgevoerd: een wiel wordt afgedraaid als het buiten een bepaalde tolerantie valt. Het is dus niet precies bekend welke oorzaken aan deze afdraaiingen ten grondslag liggen. Wel is door GOTCHA duidelijk geworden dat de wielbandkwaliteit van ICM-III *aanzienlijk* slechter is dan die van ICM-IV.

<sup>9</sup> Plaatsing op motordraaistellen is zodanig ingrijpend dat – in het verleden althans – leveranciers hier niet voor in wilden staan. Voor de apparatuur die bij een elektromagneet hoort is sowieso geen ruimte.

<sup>10</sup> Totaal aantal afdraaiingen ICM-III: 2528, IV: 1300. Aantal wielstellen III: 1128, IV: 800. Verhouding gecorrigeerd naar aantal =  $2528 \cdot 1128 / (1300 \cdot 800) = 1,38$ .

Ervan uitgaande dat het verschil van 38% in aantal afdraaiingen tussen III en IV in zijn geheel toegerekend kan worden aan de polygonisatie, zou de vermindering in afdraaiingen voor ICM-1 circa 38% van 1353 = 514 keer op jaarbasis kunnen bedragen. Dit komt overeen met € 219.000 exclusief extra opbrengsten door verbeterde beschikbaarheid, minder rebandageringen en dergelijke. Een pessimistisch-realistische schatting is ongeveer de helft van deze 38% = € 104.500.

Van de asgestuurde ABI is, door gericht onderzoek aan SGM, wel bekend dat de vermindering van vlakke plaatsen minstens 50% bedraagt ten opzichte van de elektronische, en in de gladde periode tot 80% kan oplopen. Van een draaistelgestuurde ABI kan, redelijkerwijs, zo'n 30 à 50% verwacht worden.

Ervan uitgaande dat een derde tot de helft van de *niet* door polygonisatie veroorzaakte afdraaiingen (62% van het geheel = 801 stuks) te wijten is aan vlakke plaatsen en gevolgen zoals uitbrokkelingen, kan de winst voor een asgestuurde ABI oplopen tot 133 à 320 afdraaiingen = € 57.000 à 136.000. Voor een draaistelgestuurde ABI wordt dit 80 à 200 beurten = € 34.000 à 85.000 op jaarbasis.

De magneetrem sec brengt niets op. De massa die moet worden meegezeuld is aanzienlijk en bij een EMg moeten de accu's door middel van een extra omzetter gevoed worden, wat energie kost. Het tegelijkertijd verwijderen van de blokkenrem zal daarentegen, zoals hierboven beredeneerd, een opbrengst opleveren door het tot 38% minder vaak afdraaien.

Variant	Beschrijving	Investering (€)	Opbrengst pessimistisch (€)	Opbrengst optimistisch (€)	Terugverdientijd (jaren)
1	Blokkenrem verwijderen + Mg	6.244.000	109.500	219.000	29 – 57
2a	Blokken verwijderen + ABI drst	1.914.000	143.500	304.000	6 – 13
2b	Sinterblokken + ABI drst	2.230.000	143.500	304.000	7 – 16
3a	Blokken verwijderen + ABI as	2.334.000	166.500	355.000	7 – 14
3b	Sinterblokken + ABI as	2.650.000	166.500	355.000	7 – 16
4	Blokken verw + ABI drst + Mg	7.824.000	143.500	304.000	26 – 55
5	Blokken verw + ABI as + Mg	8.244.000	166.500	355.000	23 – 50

De terugverdientijd is simpelweg berekend als investering, exclusief rente, gedeeld door opbrengst — in termen van afdraaikosten sec — per jaar. De werkelijke terugverdientijd is korter als effecten als verbeterde beschikbaarheid gekwantificeerd zouden worden meegenomen.

### 6.3 Beoordeling

In de volgende tabel zijn de mogelijkheden samengevat. De geluids- en veiligheids-eigenschappen zijn gecumuleerd zodat ook '+++' tot de mogelijkheden behoort.

Variant	Beschrijving	Geluid	Veiligheid	Betrouwbaarheid	Beschikbaarheid	Onderhoudbaarheid	Investering	Opbrengst pessimistisch	Opbrengst optimistisch	Terugverdientijd (jaren)
1	Blokkenrem verwijderen + Mg	++	0	-	+	0	6.244.000	109.500	219.000	29 – 57
2a	Blokken verwijderen + ABI drst	+++	0	+	++	+	1.914.000	143.500	304.000	6 – 13
2b	Sinterblokken + ABI drst	++	+	+	++	+	2.230.000	143.500	304.000	7 – 16
3a	Blokken verwijderen + ABI as	+++	+	+	++	+	2.334.000	166.500	355.000	7 – 14
3b	Sinterblokken + ABI as	++	++	+	++	+	2.650.000	166.500	355.000	7 – 16
4	Blokken verw + ABI drst + Mg	+++	+	0	++	0	7.824.000	143.500	304.000	26 – 55
5	Blokken verw + ABI as + Mg	+++	++	0	++	0	8.244.000	166.500	355.000	23 – 50

Het moge duidelijk zijn dat de opties 2 en 3, zonder magneetrem, de voorkeur genieten. Ze leveren geld op en verdienen zichzelf binnen een redelijke tijd terug<sup>11</sup>. Het verschil tussen de draaistel- en asgestuurde varianten is qua geld niet groot, evenmin als het verschil tussen sinter of de blokkenrem verwijderen.

Van sinter moet nog blijken hoe goed de geluidreductie is die behaald kan worden. Ook zal, door de onderlinge verschillen in fabrikaten, nog een hoeveelheid werk moeten worden gestoken in een afweging tussen de verschillende bijschakelvarianten en de keuze van het beste fabrikaat. Dit laatste aspect geldt, in mindere mate, ook voor de ABI.

Het is niet zinvol om varianten met een magneetrem nader te onderzoeken. De prijs voor een kleine extra vergroting van de veiligheid is excessief hoog. Bovendien heeft het een negatieve invloed op het onderhoud.

De uiteindelijke voorkeur gaat, gezien de veiligheid, uit naar opties 2b, 3a en 3b. Optie 3a heeft de beste papieren, gezien de relatieve eenvoud van de ingreep, de invloed op geluid en het niet nodig zijn van een ontwikkelingstraject.

De 'goedkoopste' optie, 2a, biedt op het eerste gezicht geen verbetering in veiligheid ten opzichte van de bestaande trein. Dit komt door het conservatief inschatten van de veiligheid van een draaistelgestuurde ABI (§ 5.3). In hoeverre deze voorzichtigheid terecht is kan alleen aan de hand van een pilot worden bepaald. Als optie 2a 'veiliger' blijkt dan de huidige trein, is deze optie de beste. Het is helaas wel de vraag of dit met een (beperkte) pilot überhaupt kan worden bepaald; wellicht is een testbankproef hier een goede basis.

<sup>11</sup> De SNCF rekent overigens met terugverdientijden van twee à vier jaar bij de wijziging van een elektronische in een asgestuurde vierde-generatie ABI.

## 7 Conclusies en Aanbevelingen

### 7.1 Conclusies

Er is een aantal mogelijkheden onderzocht dat de veiligheid van het remsysteem van ICM-III kan verhogen terwijl tegelijkertijd het rolgeluid verlaagd kan worden. De drie meest interessante kandidaten zijn:

1. Blokkenrem verwijderen + moderne, asgestuurde ABI plaatsen;
2. Sinterblokken + moderne, draaistelgestuurde ABI plaatsen;
3. Sinterblokken + moderne, asgestuurde ABI plaatsen.

De problemen met doorschieten zullen door het plaatsen van een moderne ABI sterk gereduceerd worden. Het toevoegen van een magneetrem (wat overigens alleen mogelijk is bij optie 1) zal de veiligheid marginaal verhogen terwijl de investeringen naar verhouding aanzienlijk zijn.

De opties met sinter moeten hun kwaliteiten op geluidsgebied nog bewijzen; bij de keuze voor optie 1 zal een geluidsniveau vergelijkbaar met dat van ICM-IV behaald worden.

Het verwachte verdwijnen van de polygonisatie en de vermindering in vlakke plaatsen zal het aantal geplande en niet-geplande afdraaibeurten voor het materieel aanzienlijk doen verminderen, zodat de beschikbaarheid ervan verhoogd wordt en de kosten omlaag gaan. Door het vervallen van de gietijzeren remsblokken zou de onderhoudstermijn (C-staat) bovendien heroverwogen kunnen worden.

Gezien de relatieve eenvoud, de grote invloed op geluid en het niet hoeven volgen van een ontwikkelingstraject heeft optie 1 sterke voorkeur boven de andere twee. Sinter komt in beeld als het verwijderen van de blokkenrem, om wat voor reden dan ook, niet acceptabel is.

Naast bovengenoemde drie opties bestaat nog de mogelijkheid om de blokkenrem te verwijderen en een moderne *draaistel*gestuurde ABI te plaatsen. Ook deze optie zal het geluid optimaal reduceren. In dit rapport wordt echter, op theoretische gronden, aan deze combinatie geen verbetering van de veiligheid toegedicht. Of dit terecht is zou uit nadere testen, praktijk of laboratorium, moeten blijken.

### 7.2 Aanbevelingen

Omdat binnen NS relatief veel onbekendheid bestaat met moderne antiblokkeerinrichtingen en met (moderne) sinterblokken, verdient het aanbeveling een pilot op te starten. Deze pilot zou een definitief inzicht moeten geven in tenminste de volgende zaken:

- Winst in rolgeluid, m.n. bij sinter;
- Winst in wielbandkwaliteit: polygonisatie, vlakke plaatsen;
- Werkelijke LCC, RAMS;
- Mogelijke verlenging onderhoud / C-staat;

- Verschillen in kwaliteit van ABI-leveranciers;
- Verschillen tussen draaistel- en asgestuurde ABI (met name qua veiligheid, indien mogelijk)
- Gedrag van verschillende sinterfabrikaten.

## Referenties

1. AEA Technology Rail UK, *The Evaluation of Wheel Slide Protection Equipment*.
2. *Beschrijvingen treinstellen deel XXIV: Intercity Materieel-1*, 1986.
3. Bretveld, J., 1993: *Verslag remproefritten onder gesimuleerd slechte adhesie-omstandigheden t.b.v. het beproeven cq. optimaliseren van de anti-blokkeerinstallatie ICM-4*, kenmerk Wr 93/04.
4. Emmerik, F. van en J. Schenk, 1987: *Remproefritten met ICM-1 treinstel 4030, waarvan de toegevoegde blokkenrem is voorzien van K-blokken*, kenmerk Wr 87/34.
5. Emmerik, F.G.S. van, 1988: *Proef ICM m.b.t. polygonisatie*, kenmerk Mw3W/642.4/1/34/26.
6. Emmerik, F.G.S. van, 1988: *Remberekening ICM-1, voorzien van L-blokken*, kenmerk Wr 88/49.
7. Emmerik, F.G.S. van, 1988: *Remberekeningen van ICM-1 en ICM-3 m.b.t. het plaatsen van magneetremmen*, kenmerk Wr 88/45.
8. Ezendam, G.J., 1993: *Proef sinterremblokken ICM*, kenmerk Mw 3 600/00/360/34.
9. *Indienststellingsaanschrijving ICM-0,1,2*, versie 1.0, kenmerk [TO/GG/ida/ICM-0-1-2](#), 2001.
10. Kalis, A., 1988: *Verslag prototype inbouw en rembeproeving ICM-treinstellen 4033 en 4058, die voorzien zijn van een elektro-magneetrem installatie in de loopdraaistellen*, kenmerk Wr 88/61.
11. Kalis, A. en J. van Es, 1991: *Bepaling van rempercentage treinstel 4058 na inbouw van de permanentmagneetrem fabrikaat Tebel*, kenmerk Wr 91/06.
12. Kalis, A. en J. van Es, 1991: *Bepaling van rempercentage treinstel 4033 met permanent magneetrem OKE*, kenmerk Wr 91/07.
13. Kalis, A., 1993: *Beproevingresultaten ter bepaling van het rempercentage bij toepassing van sinterremblokken van het fabrikaat ABEX als vervanging van JURID*, kenmerk Wr 93/12-01.
14. Kamerbeek, F., 1996: *Uitspraken m.b.t. magneetremmen*, kenmerk [TR/FK/960815/1](#).
15. *Luchtleidingschema ICM-1B 4031-4050*, tek. nr. 37 01 00 017 uitgave C.
16. *Luchtleidingschema ICM-3 4201-4230*, tek. nr. 37 01 00 020 uitgave H.
17. Notten, W., 1997: *Beproevingverslag AntiBlokkeerInstallatie SGM n.a.v. KT-analyse "vlakke plaatsen"*, kenmerk [TR/WN/970722RP/01](#).
18. Oosterom, A., F. Chang, H. Stark, 2002: *Alternatieve remblokken Materieel '64: Deel I – Voorstudie*, NedTrain Consulting, kenmerk [TR/TO/B439A/01-203086](#).
19. Oerlikon-Knorr Eisenbahntechnik, *Variantenbeschreibung Gleitschutz-Elektronik GSE-200*, kenmerk WBQ 70133 D.
20. Post, Y., 1996: *Herverkaveling remenergie ICM-1/2*, kenmerk TR/642.4/3/45.
21. *Railed Spoorwegveiligheid*, 2002: E-mail met incidenten ICM, [DME01-240310](#).
22. Stuijmeel, J., 1983: *Remberekening ICM-1 4011-4050 (Eld 3)*, kenmerk Wr 83/54.
23. *Systeem technische grenswaarden remsysteem ICM*, tek.nr. 91 45 07 010, uitgave A, 1996.
24. Tunley, J., 2002: *IRM WSP tests on the WSPER facility*, AEA Technology Rail UK, kenmerk [LD 43023-250](#).

## Appendix A: Technische gegevens remsysteem

### Remgewicht en rempercentage

Het remvermogen van de trein is samengevat in de volgende tabel.

Toestand	Leeg	Beladen
Eigengewicht (ton)	144	163
Remgewicht (ton)	239	270
Rempercentage ( $\lambda$ )	166%	

De nominale remweg vanaf 160 km/h bedraagt 900 m, wat overeenkomt met een gemiddelde remvertraging van 1,1 m/s<sup>2</sup>. De remberekening is te vinden in [22].

### Schijfrem

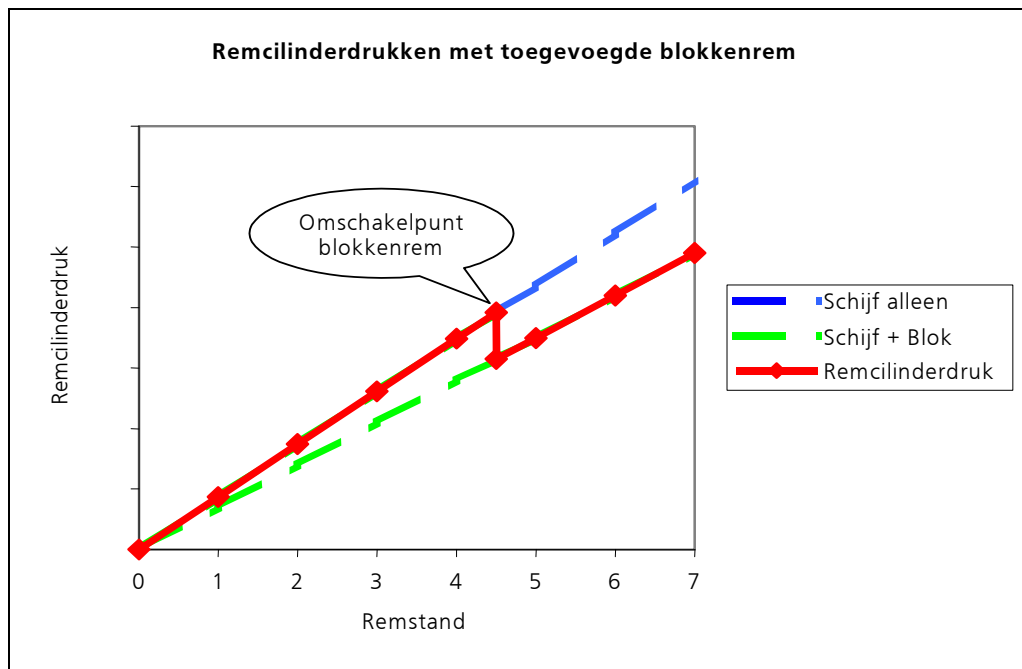
Alle assen zijn voorzien van twee remschijven. Op de vier motorassen van het mBDk-rijtuig zitten vanwege de beperkte inbouwruimte wielremschijven (schijven gemonteerd op het wiellijf). De remvoeringen zijn van het type Bremskerl 5818 met een wrijvingscoëfficiënt ( $\mu$ -waarde) van circa 0,35. De vultijd van de remcilinders bedraagt nominaal 4,5 s in de stand P en 3,0 s in de stand EP.

### Blokkenrem

Ieder wiel is voorzien van een blokkenrem-'unit' die aan één zijde een remblok tegen het loopvlak van het wiel aan drukt. De blokken zijn van het type P30 multiblok met een gemiddelde  $\mu$ -waarde van circa 0,12 à 0,13 (in de remberekening is overigens uitgegaan van P10 met een  $\mu$ -waarde van 0,11). Zoals wellicht bekend heeft gietijzer een bij lage snelheden sterk oplopende wrijvingscoëfficiënt, tot circa 0,3.

De blokkenrem wordt bijgeschakeld rond een gevraagde remkracht van circa 70% (vanaf remstand 5). Deze bijschakeling is volledig pneumatisch gestuurd. Op het moment van bijschakelen daalt de remcilinderdruk met circa 20%, waarbij de blokkenrem het hieruit resulterende verlies aan remkracht compenseert. De remcilinderdruk van de blokkenrem en die van de schijfrem zijn dan gelijk. Dit betekent dat de blokkenrem in principe *niet* zorgt voor een additionele remvertraging van de trein, aangezien de bijdrage van de schijfrem tegelijkertijd wordt verlaagd.

De opbouw van de remcilinderdruk als functie van de stand van de remkraan verloopt als in de onderstaande figuur aangegeven.



**Figuur 4: Verloop remcilinderdruk als functie van de remstand**

De rode lijn is de werkelijk optredende remcilinderdruk. Tot en met stand vier wordt de blauwe lijn gevolgd, die de remcilinderdruk voorstelt zonder blokkenrem. Op het moment van omschakelen (tussen stand 4 en 5) wordt de druk verlaagd zodat de groene lijn gevolgd wordt. Deze lijn is de benodigde druk voor schijf en blok samen.

Ondanks het feit dat de druk zakt, blijft de netto remkracht vrijwel lineair oplopen met de remstand zodat tussen stand 4 en 5 geen oncomfortabele sprongen in vertraging optreden. De blokkenrem is *niet* voorzien van een hoge-drukschakeling zoals bij Mat'64, die het afnemen van de wrijvingscoëfficiënt van gietijzer bij hogere snelheden compenseert.

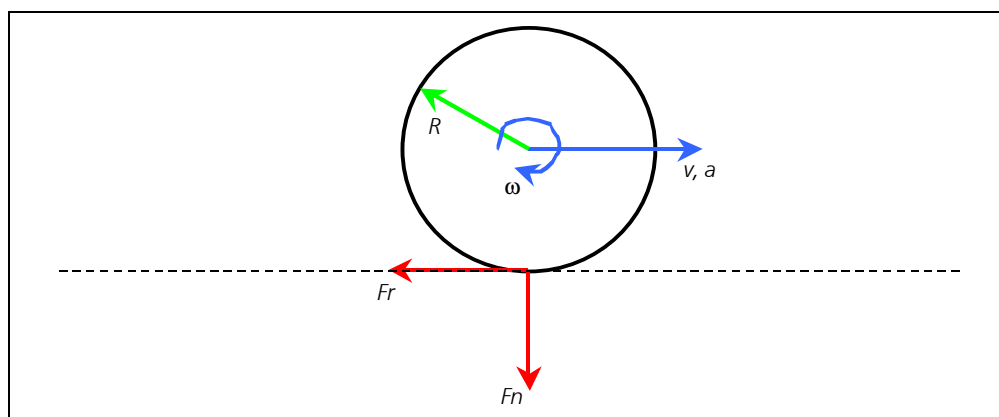
Antiblokkeerinrichtingen worden nader beschreven in Appendix B.

## Appendix B: Adhesie en antiblokkeerinrichtingen

Antiblokkeerinrichtingen (ABI's) voor pneumatische remsystemen zoals momenteel in gebruik bij NS vallen uiteen in drie categorieën: mechano-pneumatische (eerste-generatie), elektronische (tweede-generatie) en microprocessorgestuurde (derde-generatie). Hier zal een kort overzicht gegeven worden van de werking van de verschillende typen, maar eerst wordt het fenomeen adhesie nader beschouwd. Enige basiskennis van mechanica en remtechniek wordt verondersteld.

### Adhesie

De adhesie (symbool  $\mu$ , niet te verwarren met de wrijvingscoëfficiënt van remblokken of voeringen) is een maat voor de mogelijk over te brengen remkracht van de wielband op de rail en is gedefinieerd als de verhouding tussen maximaal over te brengen remkracht  $F_r$  en de normaalkracht  $F_n$  van wiel op rail:  $\mu = F_r / F_n$ . Uitgaande van de remvertraging  $a$ , de valversnelling  $g$  en de treinmassa  $m$ , volgt  $F_r = m \cdot a$  en  $F_n = m \cdot g$ , zodat  $a = \mu \cdot g$ . De haalbare vertraging  $a$  is dus rechtstreeks afhankelijk van de beschikbare adhesie.



Figuur 5: Schema krachten en snelheden van een as

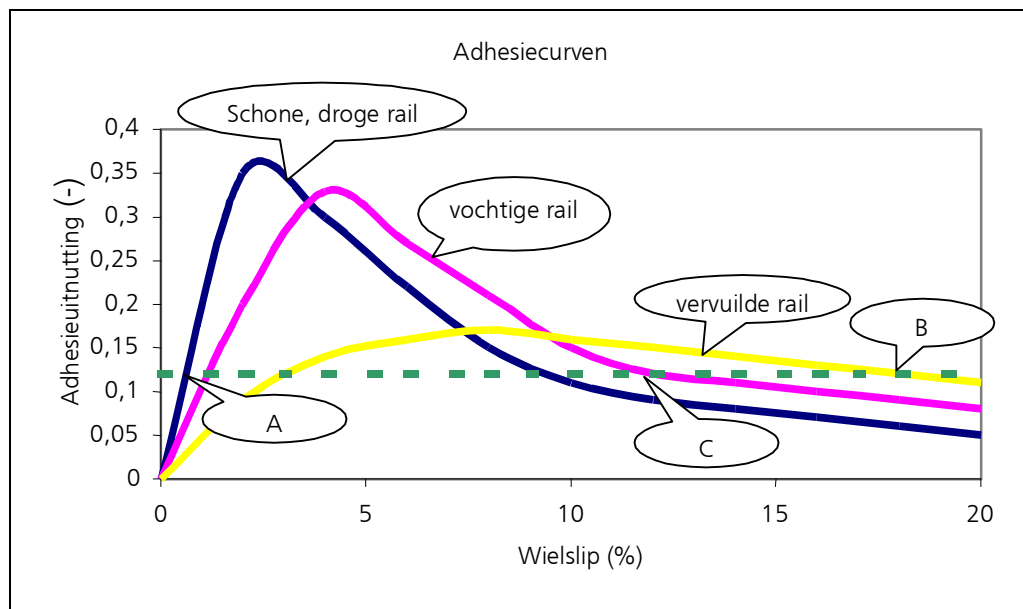
De snelheid van de trein is  $v$  en de omtreksnelheid van de wielband is gelijk aan  $\omega R$ , waarbij  $\omega$  de hoeksnelheid en  $R$  de radius van het wiel is.

De adhesie is afhankelijk van de treinsnelheid, de toestand van rail en wielband en is daarnaast een functie van de wielslip. Deze slip  $\lambda$  is gedefinieerd als het verschil tussen treinsnelheid en omtreksnelheid van de wielband en wordt uitgedrukt in procenten van de treinsnelheid:

$$\lambda = \frac{v - \omega R}{v}$$

Een slip van  $\lambda = 0\%$  betekent dat het wiel zuiver rolt en precies de treinsnelheid volgt:  $v = \omega R$ . Bij  $\omega = 0$  is sprake van 100% slip: het wiel staat dan stil en 'schuurt' over het spoor (blokkeert). Hierbij treden hoge temperaturen op en het resultaat is een vlakke plaats.

Blaadjes, vocht en roest hebben alle hun invloed op de adhesie. In Figuur 6 hieronder is een aantal verschillende adhesiecurven gegeven. De meest steile en hoge (blauwe) curve is die van normale, droge rail; de andere twee zijn *mogelijke* curven voor vervuilde, of natte rail.



**Figuur 6: Typische adhesiecurven bij verschillende railcondities (geschematiseerd)**

Ondanks het feit dat een adhesie van 0,35 of zelfs meer haalbaar is (de blauwe curve bij droge rail), wordt voor het remsysteem van een NS-trein doorgaans een adhesie van hoogstens 0,12 à 0,13 gehanteerd. Dit is de gestippelde, groene lijn. Bij ICM is de maximale adhesieuitnutting ongeveer 0,12 en de maximale remvertraging (van de schijfrem) bedraagt dus  $a = \mu g = 0,12 g = 1,2 m/s^2$  (punt A in de grafiek).

Normaliter wordt deze adhesie bereikt bij een natuurlijk optredende (micro-)slip van minder dan 1%, dat wil zeggen, vrijwel zuiver rollen. Zoals uit deze grafiek blijkt is het nodig om bij slechte omstandigheden een hogere slip te handhaven om de benodigde adhesie van 0,12 uit te kunnen nutten. Bijvoorbeeld punt B in de grafiek: hier is een slip van 18% vereist om een adhesie van 0,12 en daarmee de gewenste vertraging te handhaven<sup>12</sup>.

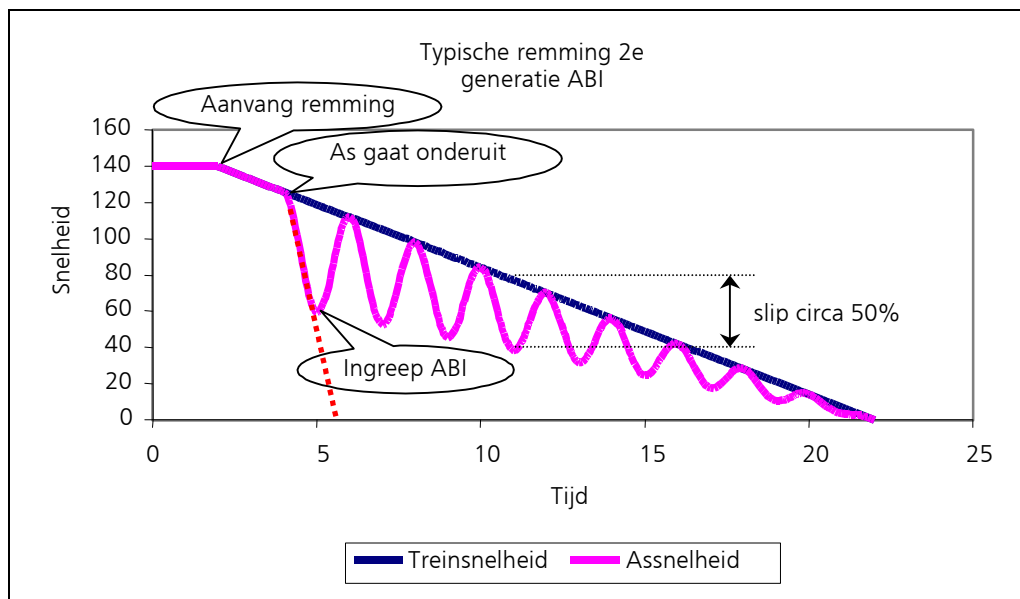
### Eerste-generatie ABI

De pneumatische 'asregelaars' van de volledig blokberemde Mat'64 en Plan W vertegenwoordigen de eerste generatie ABI's. Zij ontluchten de remcilinders van het draaistel als een bepaalde vertraging van het wiel wordt overschreden. Deze systemen stammen uit de jaren vijftig van de vorige eeuw. Ze werken geheel mechano-pneumatisch.

<sup>12</sup> Strikt genomen is 3% hier ook mogelijk maar een pneumatische ABI is niet in staat om op zulke lage percentages slip te regelen.

**Tweede-generatie ('elektronische') ABI**

Begin jaren zeventig kwam dit type ABI op de markt. Ze hebben een elektronische regelenheid die de snelheden van de vier assen door middel van asgevers meet en vergelijkt. Indien aan één of meerdere criteria voldaan wordt (zie hieronder) dan wordt de rem van het draaistel in kwestie geheel gelost en na enige tijd weer bekrachtigd. Een typische remming op zeer glad spoor ziet er dan, geïdealiseerd, uit als weergegeven in Figuur 7 hieronder.



**Figuur 7: Typische remming op glad spoor met tweede-generatie ABI (geschematiseerd)**

Toelichting: de horizontale as is de tijd, de verticale de snelheid; de snelheid van de trein (blauw) en van een willekeurige as (roze) zijn weergegeven. De trein rijdt 140 km/h. Op tijdstip  $t = 2$  wordt een remming ingezet, waarna de trein gaat vertragen en de snelheid daalt (blauwe lijn). De as volgt gedurende de eerste paar seconden van de remming de treinsnelheid en rolt zuiver mee (slip  $\approx 0$ ), totdat een glad stuk spoor wordt tegengekomen (op  $t = 4$ ). De as vertraagt door de gladheid sterk: hij 'gaat onderuit'. De slip neemt toe, tot circa 50% bij  $t = 5$ : de wielsnelheid is hier 50% van de treinsnelheid.

Als nu niets wordt gedaan zou de as de rode stippellijn blijven volgen om ongeveer op  $t = 5,5$  s tot stilstand te komen, blokkeren en een vlakke plaats rijden. Op  $t = 5$  grijpt de ABI echter in door de remcilinders van het betreffende draaistel *volledig* te ontlichten (gedeeltelijke ontlichting is niet mogelijk). De remdruk en dus de remkracht valt hiermee weg; de as spint hierdoor weer op en op  $t = 6$  bereikt hij weer de treinsnelheid. De rem wordt dan weer bekrachtigd, waarna — bij blijvende gladheid althans — de as direct weer onderuit gaat. De cyclus begint dan van voren af aan en de trein staat pas op  $t = 22$  stil.

De ABI greep in omdat een van de volgende drie mogelijke indicaties van glijdende of (bijna) blokkerende assen gedetecteerd werden:

1. *Statisch criterium*: de snelheid van een as is beduidend (40%) lager dan die van de snelste as in het rijtuig;
2. *Dynamisch criterium*: de vertraging van een as is te groot ( $5 \text{ m/s}^2$ );

3. *Derde criterium*: de snelheden en/of vertragingen van *alle assen* in het rijtuig zijn beduidend afwijkend van wat verwacht zou mogen worden aan de hand van de *berekende* treinsnelheid (referentiesnelheid) en/of -vertraging.

Zodra een as aan criterium één of twee voldoet, zal de ABI de remcilinders van het betreffende *draaistel* ontluchten zodat deze as — en automatisch ook de andere as in het draaistel — de kans krijgt ‘op te spinnen’ en de treinsnelheid weer te volgen. De rem van dit draaistel wordt weer belucht als aan één of meer van de volgende voorwaarden wordt voldaan:

- Het snelheidsverschil tussen de snelste en langzaamste as is kleiner dan 40%;
- De vertraging van de as is minder dan  $2 \text{ m/s}^2$ ;
- De vertraging van de snelste as is kleiner dan de berekende treinvertraging;
- De remcilinder is langer dan 4,5 s ontlucht geweest.

Indien de assen van een rijtuig voldoen aan het *derde criterium*, worden *beide* draaistellen gedurende twee seconden ontlucht. Langer ontluchten is in verband met het grote verlies aan remkracht niet wenselijk, aangezien het *gehele* rijtuig gedurende deze tijd volledig onberemd is. Theoretisch kan het zelfs voorkomen dat een heel treinstel gedurende enige tijd geheel onberemd is, aangezien de rijtuigen onderling niet communiceren zodat de ABI’s niet van elkaar weten wat zij doen.

Kenmerkend voor deze ABI’s is:

- *Risico op vlakke plaatsen*. De ‘dip’ op  $t = 5$  kan zo diep zijn dat de as stil komt te staan en dus een ‘vlakke plaats rijdt’ (rode stippellijn). Dit is onder andere het gevolg van de traagheid van de elektronica, de meeton nauwkeurigheid en de gehanteerde ingrijpcriteria.
- *Hoog luchtverbruik*. De remcilinder wordt voortdurend ontlucht en weer belucht. Als de reservoirs leeg zijn is er *geen remkracht meer*. Dit is geen denkbeeldig risico!
- *Hoge slip*. De optredende slip kan oplopen tot 50% of zelfs meer (zie bijvoorbeeld op tijdstip  $t = 5$ ). De wielband wordt hierdoor onnodig thermisch belast wat uiteindelijk tot wielschade leidt.
- *Lange remweg*. Zoals uit de adhesiecurven blijkt is bij *hoge* slippen de adhesie *laag*. Het kan hierdoor voorkomen dat de remweg meer dan verdubbeld wordt. Sowieso wordt dit nog eens versterkt door het gebrek aan remkracht als gevolg van de lange ontluchting.
- *Slechte referentiesnelheid*. Als alle assen glijden, zijn de assnelheden niet meer representatief voor de treinsnelheid. De ABI moet deze situatie ten eerste herkennen en dan zelf correct de momentane treinsnelheid berekenen. Dit wordt de referentiesnelheid genoemd. Als die verkeerd bepaald wordt, worden de kans op bovengenoemde problemen groter door onterecht ingrijpen of juist onterecht niet ingrijpen.

Deze ABI’s zitten behalve in ICM (de microprocessor ABI van ICM-4 functioneert, anders dan de naam doet vermoeden, op gelijke wijze als de elektronische), in DDM-1, SGM-III, Plan V12/13, ICK en ICR.

### **Derde-generatie ('microprocessorgestuurde') ABI**

Deze systemen zijn microprocessorgestuurd en zijn ontwikkeld in het begin van de jaren '80. Deze  $\mu$ P-ABI kenmerkt zich ten opzichte van de elektronische door de volgende verbeteringen:

- Een driestanden-klep. In tegenstelling tot de tweede-generatie kan deze klep de remcilinder niet alleen ontluchten en beluchten, maar ook een bepaalde tussenliggende remcilinderdruk handhaven.
- Een regelalgoritme dat op deze klep is voorbereid en op een, door de fabrikant bepaalde, *optimale* slip regelt.
- Een verbeterde bepaling van de referentiesnelheid door periodiek lossen van een as en (gekwalficeerde) schatting van de vertraging.
- Eventueel een individuele assturing in plaats van draaistelsturing.

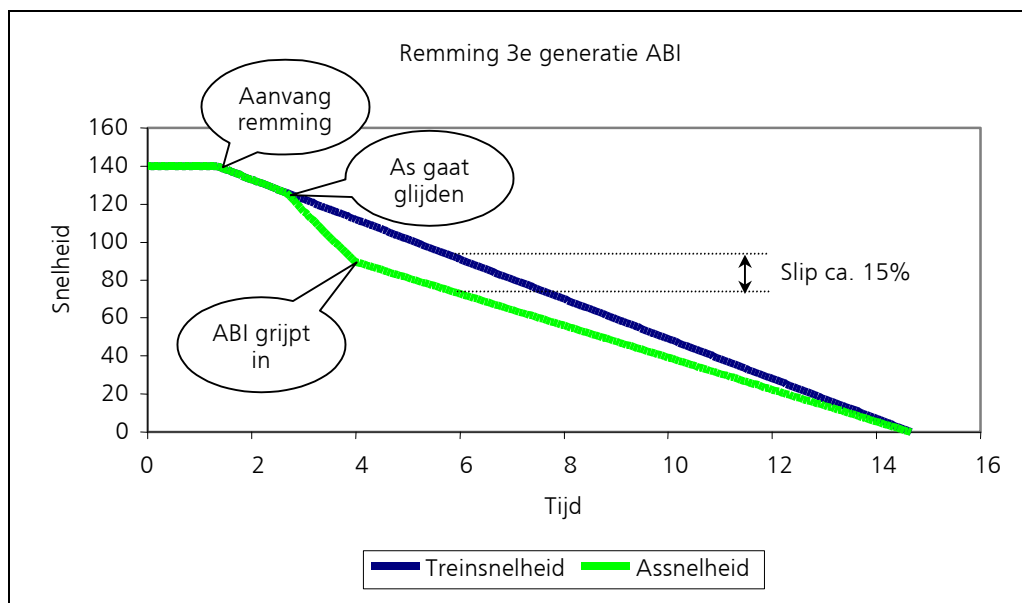
De vooraf ingestelde, optimale gewenste slip wordt door de fabrikant bepaald (doorgaans zo'n 10 à 20%), en kan eventueel ook afhankelijk zijn van de remstand, de snelheid of andere omstandigheden. Bij de bij NS gangbare OKE ABI's is overigens sprake van een vaste slip van 15 km/h in plaats van een percentage van de treinsnelheid<sup>13</sup>.

Het idee is om met behulp van deze gecontroleerde slip de gewenste adhesie te bereiken (zie bijvoorbeeld de punten B en C in Figuur 6 op pagina 36). Bovendien heeft het slippen een schoonmakend effect op de wielband en de rail ('wegbranden' van de vervuiling).

Het regelalgoritme stuurt de remcilinderdruk bij totdat de ingestelde *slip* bereikt wordt. Als die eenmaal bereikt is wordt deze slip (en dus, in principe, deze druk) vastgehouden totdat de gladheid voorbij is of de trein tot stilstand is gekomen. Een typische remming ziet er dan geïdealiseerd uit als weergegeven in de figuur hieronder (het periodiek lossen van een as is in deze figuur niet weergegeven):

---

<sup>13</sup> Dit betekent bij een treinsnelheid van 50 km/h wel een slip van 30%!



**Figuur 8: Typische remming op glad spoor met derde-generatie ABI (geschematiseerd)**

De as volgt ook hier de treinsnelheid. Nadat de as op  $t = 3$  gaat glijden, grijpt op  $t = 4$  de ABI in en houdt de slip vast op een constante 15 à 20% tot het eind van de remming.

Omdat de adhesieuitnutting, de remkracht en daarmee de vertraging groter zijn dan in het vorige geval duurt de remming minder lang en is de remweg korter. De achteroplopende assen hebben bovendien minder last van slechte adhesie door het schoonmakende effect op de rail van de slippende as.

De in de vorige paragraaf genoemde problemen komen bij deze typen echter ook voor, zij het in mindere mate. Bij de OKE ABI's van NS is aan de hand van proefbankresultaten [24] vastgesteld dat de in de praktijk optredende slip beduidend hoger kan zijn dan gewenst en dat de schatting van de treinsnelheid soms erg slecht is. Het fenomeen vlakke plaats is ook zeker niet uitgebannen. Theoretisch zou het luchtverbruik minimaal moeten zijn maar ook dat blijkt in de praktijk tegen te vallen.

De remwegverlenging van IRM kan nog altijd oplopen tot meer dan 30% (circa 300 m) bij hoge snelheden in de slechtste adhesieomstandigheden. Een flinke verbetering ten opzichte van de vorige systemen maar nog altijd niet optimaal.

Deze ABI's zijn toegepast bij DH, DD-AR, IRM, VIRM, DM'90 en SM'90 en SGM-II.

#### **Vierde-generatie ABI**

De ABI 'vierde generatie' is een product van het afgelopen decennium. Belangrijkste verschil met de vorige is dat niet een vooraf ingestelde slip wordt nagestreefd, maar dat het systeem 'zoekt' naar de optimaal haalbare adhesieuitnutting. Deze is afhankelijk van de omstandigheden: in het ene geval in punt C, in het andere geval in punt B in de adhesiecurve (pagina 36). Het systeem probeert, aan de hand van het sturen van de remcilinderdruk, de slip zo-

danig bij te regelen dat de benodigde adhesie wordt bereikt. De remwegverlenging wordt zo geminimaliseerd.

Deze systemen zijn dus *adaptief*: ze passen zich *continu* aan de heersende adhesieomstandigheden aan. Het verlies in termen van remweg zit dan eigenlijk alleen nog in de tijd die verloren gaat aan het 'zoeken' en de beschikbare adhesie.

De remwegverlenging van deze ABI's ligt in de orde van grootte van hoogstens enkele tientallen procenten: de besten doen 15 à 20%, of zelfs minder. Deze state-of-the-art wordt nu vertegenwoordigd door slechts enkele fabrikanten; de precieze interne werking van de apparatuur is bedrijfsgeheim. Het bestaande NS materieel kent deze systemen niet.

#### **Prestatiecriteria en proefbanken**

Omdat de werking van een antiblokkeerinstallatie afhankelijk is van de adhesieomstandigheden werden ABI's tot enkele jaren geleden eigenlijk alleen in de praktijk getest, waarbij zeep of andere adhesieverlagende middelen op de rail werden gesmeerd. Dit heeft twee belangrijke nadelen:

- de adhesieomstandigheden zijn niet reproduceerbaar;
- zeep is geen volledig substituut voor de werkelijkheid (blaadjes en dergelijke)

Fabrikanten hadden en hebben wel eigen testbanken, maar ieder houdt zijn eigen manier van testen erop na en de wijze van testen is niet altijd onderling vergelijkbaar. Bovendien is de (theoretische) kennis van het wiel-railcontact en de in de praktijk optredende adhesie als functie van wielslip en snelheid nog altijd in ontwikkeling. Waarheidsgetrouwe simulatie van het wiel-railcontact op een testbank is iets dat pas de laatste jaren mogelijk is geworden door de toegenomen rekenkracht van computers.

Een tendens van de laatste tijd is — ook in UIC-kader — om prestaties van een ABI op de testbank te meten en te vergelijken, in een poging om tot een objectief referentiekader te komen. Het toenmalige British Rail Research (nu AEA Technology Rail UK) heeft een aantal prestatiecriteria opgesteld voor ABI's. Nieuwe ABI's worden onderworpen aan een standaard testprogramma van verschillende adhesieprofielen: natuurlijke (gemeten met een speciale adhesie-meettrein) en kunstmatige. Vervolgens worden de resultaten beoordeeld op de volgende criteria:

- Remwegverlenging;
- Vlakke plaatsen;
- Luchtverbruik;
- Wielbandschade;
- Kwaliteit van de referentiesnelheid.

De streefwaarden voor deze criteria zijn niet absoluut, maar 'wat de beste in de markt doet'. Zie ook [1].

## Appendix C: Meetresultaten ICM met magneetremmen

In het verleden is een aantal proefnemingen met een ICM-III (treinstel 4033) gedaan om de mogelijkheden van magneetremmen op ICM te verkennen [10]. Er zijn metingen gedaan met 1, 2, 3 en 4 elektromagneten in dienst, met en zonder zeep op de rail en er is gemeten in beide rijrichtingen, bij verschillende beginsnelheden. Hier wordt alleen de variant met drie magneetremmen beschouwd zoals toegepast bij ICM-IV. Deze magneetremmen zitten op de drie loopdraaistellen vanaf de sBFk-zijde (cabine 2) geteld.

Met behulp van deze metingen is de volgende tabel met gemiddelde remvertragingen opgesteld:

Vooroplopend rijtuig	Gemiddelde remvertragingen bij pneumatische snelremming ( $m/s^2$ )			
	Droog		5% Zeep	
	Normaal	3 EMg	Normaal	3 EMg
mBDk	1,09	1,42	0,66	0,98
sBFk	1,16	1,40	0,77	1,17

Uit deze tabel blijkt dat de magneetrem — op zeep althans — een gunstige werking heeft: op glad spoor is in de ene richting de vertraging duidelijk beter dan in de andere. Indien de mBDk voorop loopt wordt de nominale vertraging van  $1,1 m/s^2$  echter niet gehaald en wordt de nominale remweg dus ook overschreden. Let wel, deze getallen representeren het ideale geval waarin de machinist *direct* doorheeft dat het glad is en de snelremstand kiest, wat in de praktijk zeker niet het geval is!

Merkwaardig aan deze metingen is overigens dat ook in normale droge en schone omstandigheden de gemiddelde vertraging in de ene richting groter is dan in de andere.

Uit de tabel blijkt tevens dat in slechte adhesieomstandigheden de remvertraging bijna wordt gehalveerd ( $0,66$  tegen  $1,09 m/s^2$ ) en de remweg dus bijna verdubbeld wordt. Zoals ook betoogd in Appendix B, is dit te wijten aan de antiblokkeerinrichting die voortdurend de rem ontluicht en belucht.

Tenslotte dient hierbij opgemerkt te worden dat het aanbrengen van zeep de adhesie wel verlaagt tot een waarde van  $0,05$  à  $0,06$ , maar dat in de praktijk nog veel lagere adhesie mogelijk is, tot wel  $0,02$ , wat de zaak nog verergerd. Of de hier gedane conclusies ook bij blaadjes en dergelijke nog even hard gelden is bovendien ook niet zeker.

## Appendix D: Indicatieve kostenschattingen

Uitgangspunt is het park ICM-1. Dit zijn 40 treinstellen met elk 3 rijtuigen, 160 loopdraaistellen en 80 motordraaistellen. Uitgangspunt is daarnaast een werkplaatstarief van € 50 per uur voor een monteur en € 500 per dag voor een onttrekking van een treinstel. Engineeringwerk wordt gesteld op € 100 per uur.

Zoals in §6.2 opgemerkt dienen deze schattingen met de nodige voorzichtigheid betracht te worden.

### **Blokkenrem verwijderen**

De activiteiten bij deze variant zijn: remcilinderdrukken aanpassen en het remsysteem aanpassen, waaronder het verwijderen van de blokkenrem (buitendienst zetten kan eventueel ook).

Activiteit/post	Hoeveelheid	Eenheden	per	Aantal	Prijs (€)	Totaal (€)
Engineering, documentatie	500	uur	serie	1	100	50.000
Remcilinderdrukken aanpassen	16	uur	drst	240	50	192.000
Aanpassen remsysteem	36	uur	trst	40	50	72.000
Doorlooptijd ombouw	1	dag	trst	40	500	20.000
<b>Totaal</b>						<b>334.000</b>

### **Sinterblokken**

De activiteiten bij deze variant zijn: remcilinderdrukken aanpassen en het remsysteem aanpassen, waaronder het plaatsen van andere remblokhouders. Het ontwikkeltraject is hier aanzienlijk, gezien de beperkte ervaring met sinter als toegevoegde blokkenrem en de ontwikkelingen op dit vlak.

Activiteit/post	Hoeveelheid	Eenheden	per	Aantal	Prijs (€)	Totaal (€)
Ontwikkeltraject	1000	uur	serie	1	100	100.000
Engineering, documentatie	500	uur	serie	1	100	50.000
Remblokhouders vervangen	16	uur	drst	240	50	192.000
Remblokhouders	4	st	drst	240	100	96.000
Remcilinderdruk aanpassen	16	uur	drst	240	50	192.000
Doorlooptijd ombouw	1	dag	trst	40	500	20.000
<b>Totaal</b>						<b>650.000</b>

### **ABI (asgestuurd)**

In het verleden (1994) is ervaring opgedaan met SGM-II. Voor deze ABI werd circa 100 manuur werk per rijtuig geschat bij een doorlooptijd van 4 dagen. De apparatuur kost circa € 10.000 per rijtuig, afhankelijk van het fabriekaat.

Geheel vergelijkbaar met ICM is de inbouwsituatie overigens niet, gezien het feit dat bij SGM-II alle draaistellen motordraaistellen zijn, wat de inbouw compliceert. Ook kunnen bij sommige fabrikaten de bestaande asgevers gebruikt worden, zodat de aanschaf van nieuwe asgevers niet nodig is en de hoeveelheid werk waarschijnlijk fors minder wordt. Deze schatting is dus ruim te noemen.

Activiteit/post	Hoeveelheid	Eenheden	per	Aantal	Prijs (€)	Totaal (€)
Engineering, documentatie	1200	uur	serie	1	100	120.000
ABI apparatuur	3	st	trst	40	10.000	1.200.000
Werk	100	uur	rijtuig	120	50	600.000
Doorlooptijd ombouw	4	dag	trst	40	500	80.000
<b>Totaal</b>						<b>2.000.000</b>

#### **ABI (draaistelgestuurd)**

Er kan vergeleken met de assturing uitgegaan worden van minder engineeringwerk en een geringe korting op de apparatuur (er is slechts één klep in plaats van twee nodig). Ook is de installatie minder werk.

Activiteit/post	Hoeveelheid	Eenheden	per	Aantal	Prijs (€)	Totaal (€)
Engineering, documentatie	800	uur	serie	1	100	80.000
ABI apparatuur	3	st	trst	40	9.000	1.080.000
Werk	60	uur	rijtuig	120	50	360.000
Doorlooptijd ombouw	3	dag	trst	40	500	60.000
<b>Totaal</b>						<b>1.580.000</b>

#### **Magneetrem**

In het verleden (1988) zijn hiervoor begrotingen van (gecorrigeerd voor inflatie) circa € 35.000 per unit gehanteerd. De hoeveelheid werk, inclusief verwijderen blokkenrem, werd geschat circa 750 manuur per treinstel en acht dagen onttrekking. Engineeringwerk is beperkt aangezien de exercitie al een keer is uitgevoerd.

Activiteit/post	Hoeveelheid	Eenheden	per	Aantal	Prijs (€)	Totaal (€)
Engineering, documentatie	500	uur	serie	1	100	50.000
Magneetunits PMg	3	st	trst	40	35000	4.200.000
Werk	750	uur	trst	40	50	1.500.000
Doorlooptijd ombouw	8	dag	trst	40	500	160.000
<b>Totaal</b>						<b>5.910.000</b>