

CE

**Oplossingen voor
milieu, economie
en technologie**

Oude Delft 180

2611 HH Delft

tel: 015 2 150 150

fax: 015 2 150 151

e-mail: ce@ce.nl

website: www.ce.nl

Besloten Vennootschap

KvK 27251086

Hybride locs in het Rotterdamse havengebied

Een verkenning van de
potentiële effecten

Rapport

Delft, augustus 2006

Opgesteld door: L.C. (Eelco) den Boer
K. (Karen) Rensma



Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

L.C. (Eelco) den Boer, K. (Karen) Rensma

Hybride locs in het Rotterdamse havengebied : een verkenning van de potentiële effecten

Delft, CE, 2006

Luchtkwaliteit / Regionaal / Emissievermindering / Railvoertuigen / Rangeerterreinen / Prognoses /

Publicatienummer: 06.4254.42

Alle CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Opdrachtgever: Havenbedrijf Rotterdam nv

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Eelco den Boer.

© copyright, CE, Delft

CE

Oplossingen voor milieu, economie en technologie

CE is een onafhankelijk onderzoeks- en adviesbureau, gespecialiseerd in het ontwikkelen van structurele en innovatieve oplossingen van milieuvraagstukken. Kenmerken van CE-oplossingen zijn: beleidsmatig haalbaar, technisch onderbouwd, economisch verstandig maar ook maatschappelijk rechtvaardig.

De meest actuele informatie van CE is te vinden op de website: www.ce.nl.

Dit rapport is gedrukt op 100% kringlooppapier.

Inhoud

Samenvatting	1
Summary	3
1 Inleiding	5
1.1 Projectkader	5
1.2 Doelstelling, deelvragen en afbakening	6
1.3 Methodiek	6
1.4 Leeswijzer	7
2 Het rangeerverkeer in de Rotterdamse haven	9
2.1 Inleiding	9
2.2 Het onderzoeksgebied: de Rotterdamse haven	9
2.3 Omvang van het rangeerverkeer	11
2.3.1 Regio Rijnmond	11
2.3.2 Rijnmond ten opzichte van Nederland	12
2.4 De gebruikskarakteristiek van rangeerlocomotieven	13
2.5 Een hybride locomotief	13
2.5.1 Gebruik van hybride locomotieven door vervoerders	14
2.6 Conclusie	14
3 De milieueffecten van hybride locs	15
3.1 Inleiding	15
3.2 Milieu en rangeerlocomotieven: het wettige kader	15
3.3 Milieuproductie huidige rangeerlocs	16
3.4 Hybride loc: een lager energiegebruik en lagere emissies	18
3.4.1 Geluid	19
3.5 Alternatieven voor hybride locomotieven	19
3.6 Conclusie	21
4 Conclusie: de effecten in Rijnmond	23
4.1 Inleiding	23
4.2 Effecten op emissies en brandstofverbruik	23
4.3 Effecten op luchtkwaliteit	23
4.3.1 De effecten van het vervangen van een diesellocomotief door een hybride loc	24
4.4 Kosteneffectiviteit	25
Referenties	27
A Spoorwegemplacements in de Rotterdamse haven	31

Samenvatting

Ter verbetering van de luchtkwaliteit in de regio Rijnmond werken DCMR, ROM-Rijnmond en de gemeente Rotterdam gezamenlijk aan de verbetering van de luchtkwaliteit. DCMR en ROM-Rijnmond hebben daartoe gezamenlijk een regionaal luchtkwaliteitsplan opgesteld. Het actieprogramma bevat onder andere een maatregel ter vermindering van de milieudruk van het rangeren op het spoor. Er is gekozen om maatregelen te treffen aan rangeerlocomotieven, omdat deze juist regionaal bijdragen aan luchtvervuiling.

In overleg met marktpartijen is gekozen voor het pilotproject "*hybride aandrijving voor locomotief*". Door Alstom wordt een prototype hybride rangeerlocomotief ontworpen. Uiteindelijk dienen de hybride locs in bedrijf te worden gesteld in de havenregio.

CE is gevraagd om ter ondersteuning van dit pilotproject een voorinschatting te maken van het potentieel aan emissiereductie, wanneer de rangeerlocomotieven in de Rotterdamse havenregio vervangen zouden worden door hybride locs.

In de regio Rijnmond worden naar schatting zo'n 8 rangeerlocomotieven gebruikt. Bij ingebruikname van de Betuweroute zal dit aantal met zo'n 10 locomotieven toenemen. Het aantal draaiuren bedraagt zo'n 4.500. Rangeerlocs worden niet altijd ingezet voor het vervoer van goederen per spoor aan begin en eind van de keten, er rijden ook complete treinen van terminal naar terminal waarvan de lading gelost wordt door middel van overslag.

Rangeerlocomotieven hebben over het algemeen een vrij hoge leeftijd. Tweederde van de locomotiefmotoren, die worden gebruikt door Europese spoorvervoerders heeft een bouwjaar van voor 1980. Vanwege de UIC-emissienormen zijn de emissiefactoren van nieuwe locomotieven de laatste decennia gedaald. Recente Europese regelgeving zorgt in de toekomst voor verdere daling. Echter de hoge levensduur van locomotiefmotoren zorgt voor een langzame instroom van schone locomotieven.

Met behulp van een hybride aandrijving kan het brandstofverbruik van een locomotief met 60% worden verminderd. De afname van luchtverontreinigende emissies van NO_x en PM₁₀ wordt zelfs geschat op 80-90%, ten opzichte van een gemiddelde conventionele locomotief. Deze cijfers zullen door metingen aan een prototype locomotief, die in werking wordt genomen in het havengebied, worden geverifieerd binnen het pilotproject. De genoemde besparing kan worden gehaald, omdat een stationair draaiende motor, wanneer er geen vermogensvraag is, niet meer nodig is.

In de onderstaande tabellen zijn de specifieke emissies, brandstofgebruik en het totaal aan besparingspotentieel in de Rotterdamse havenregio samengevat.

Tabel 1 Potentiële brandstofbesparing door de inzet van hybride locomotieven in het Rotterdamse havengebied

	Aantallen locs	Draaiuren (jaarlijks)	Brandstofverbruik (l/u)	Brandstofbesparing per loc (jaarlijks, liter)	Totale brandstofbesparing (jaarlijks, liter)
referentie	8 (18)	4.500	40	90.000	~720.000 (1.620.000)
hybride loc			20		

Noot: de getallen tussen haakjes hebben betrekking op ingebruikname van de Betuweroute. Als referentie is gekozen voor een nieuwe diesellocomotief.

Tabel 2 Potentiële emissiereductie door de inzet van hybride locomotieven in het Rotterdamse havengebied

		Aantallen locs	Draaiuren (jaarlijks)	Emissies (kg/u)	Emissiereductie per loc (jaarlijks, ton)	Totale emissievermindering (jaarlijks, ton)
NO _x	referentie	8 (18)	4.500	1,0	~2,9	~23 (52)
	hybride loc			0,2-0,4		
PM ₁₀	referentie	8 (18)	4.500	~0,02	~0,04	~0,3 (0,6)
	hybride loc			~0,01		

Noot: De getallen tussen haakjes hebben betrekking op ingebruikname van de Betuweroute. Als referentie is gekozen voor een nieuwe diesellocomotief.

De emissiereductie door de aanschaf van een hybride locomotief in plaats van een moderne diesellocomotief bedraagt ongeveer 3 ton NO_x per jaar. Dit komt overeen met een vermindering van de NO₂-concentratie van ongeveer 0,2-0,3 µg/m³, afhankelijk van de grootte en ligging van het terrein, en het aantal bedrijfsuren.

De bijdrage van rangeeractiviteiten aan de PM₁₀-concentratie is zeer beperkt, omdat PM₁₀ voor een groot deel een natuurlijke herkomst heeft (o.a. bodemstof). Volgens een internationale studie is dit in de orde van grootte 0,1 tot 0,2 µg/m³. Het effect van de vervanging van een rangeerlocomotief door een schonere variant is nog veel beperkter. Fijn stof (met name PM_{2.5}) is echter wel zeer schadelijk voor de gezondheid, vanuit dit oogpunt is het toch zinvol aandacht te schenken aan fijn stof.



Summary

To improve air quality in the Rijnmond industrial zone around Rotterdam port, the environmental agencies DCMR and ROM-Rijnmond and the municipality of Rotterdam have drawn up a regional air quality action plan. One of the elements of the plan is to reduce the environmental impact associated with railway shunting operations, shunting locomotives being one of the contributors to regional air pollution.

After talks with market parties it was decided to implement a pilot project on hybrid-drive shunting locomotives, with the firm of Alstom designing a prototype of such a loc for ultimate use in the port area. In support of this project, CE Delft was asked to make a preliminary estimate of the potential emission reductions that might be achieved if all the shunting locomotives used in the Rotterdam port area were replaced by hybrid locs.

In the Rijnmond industrial zone an estimated 8 shunting locomotives are presently in use. When the new Betuwe rail link comes into service this figure will rise to about 18. These locs will be operating about 4,500 hours a year. Shunting locs are not always used just for freight transport at the beginning and end of the chain, but also for complete transport from terminal to terminal, with the cargo being transferred at the end point.

Most shunting locomotives in use today are fairly old. Two-thirds of the locomotive engines used by European rail carriers were built prior to 1980. Thanks to the UIC emission standards, there has been a decrease in the emission factors of new locs over the last few decades, and recent European legislation means they will continue to decline in the future. Given the long service life of locomotive engines, however, replacement by cleaner locs will take some time.

Use of hybrid locomotives could cut fuel consumption by 60%. The decrease in emissions of the air pollutants NO_x and PM_{10} is even projected to be around 80-90%, compared with an average conventional loc. These figures are to be verified as part of the pilot project by monitoring the emissions of a prototype loc that will be used in the port area. The cited savings arise from the fact that it will no longer be necessary to keep the engine running when there is no need for power.

The specific emissions, fuel consumption and total savings potential in the Rotterdam port area are summarised in the following tables.

Table 3 Potential fuel savings through use of hybrid locomotives in the Rotterdam port area

	Number of locs	Hours of operation (annual)	Fuel consumption (l/h)	Fuel savings per loc (annual, litres)	Total fuel savings (annual, litres)
reference	8 (18)	4,500	40	90,000	~720,000 (1,620,000)
hybrid loc			20		

Note: The bracketed figures apply after the Betuwe rail link becomes operational. The reference figures are for a new diesel locomotive.

Table 4 Potential emission reduction through use of hybrid locomotives in the Rotterdam port area

		Number of locs	Hours of operation (annual)	Emission (kg/h)	Emission reduction per loc (annual, tonnes)	Total emission reduction (annual, tonnes)
NO _x	reference	8 (18)	4,500	1.0	~2.9	~23 (52)
	hybrid loc			0.2-0.4		
PM ₁₀	reference			~0.02	~0.04	~0.3 (0.6)
	hybrid loc			~0.01		

Note: The bracketed figures apply after the Betuwe rail link becomes operational. The reference figures are for a new diesel locomotive.

By opting for a hybrid rather than a modern diesel, locomotive NO_x emissions can be cut by about 3 tonnes a year. This translates to a reduction of about 0.2-0.3 µg/m³ in ambient NO₂ levels, depending on the size and location of the shunting yard and the number of operating hours.

Shunting operations make a very modest contribution to levels of PM₁₀, which is largely of natural origin (wind-blown soil, for example). A recent international study has shown that shunting accounts for about 0.1 to 0.2 µg/m³. Compared with this, introducing cleaner locs will have only a very limited impact. Fine particulates (particularly PM_{2.5}) are a serious health threat, however, and from this perspective it is still worth tackling these emissions.



1 Inleiding

1.1 Projectkader

Ter verbetering van de luchtkwaliteit in de regio Rijnmond werken DCMR, ROM-Rijnmond en de gemeente Rotterdam gezamenlijk de verbetering van de luchtkwaliteit. DCMR en ROM-Rijnmond hebben daartoe gezamenlijk een regionaal luchtkwaliteitsplan opgesteld (DCMR & ROM-Rijnmond, 2005). Het actieprogramma bevat onder andere een maatregel ter vermindering van de milieudruk van het rangeren op het spoor. Er is gekozen om maatregelen te treffen aan rangeerlocomotieven, omdat deze een specifiek regionaal gebruikt worden.

In overleg met marktpartijen is gekozen voor het pilotproject “*hybride aandrijving voor locomotief*”. Het pilotproject kent een zestal fasen:

a Ontwerp- en bouwfase

- 1 Ontwerpen, bouwen en inregelen van de hybride locomotief.
- 2 Beproeven en toelaten in NL van het prototype.
- 3 Voorinschatting van milieueffecten.

b De voorfase (juni 2006)

- 1 Opstellen programma van eisen.
- 2 Ontwikkelen van een besluitvormingsmodel voor de keuze hybride - versus dieselhydraulische locomotief.
- 3 Opstellen meetprogramma.
- 4 Benaderen van een deelnemende operator.
- 5 Opstellen meetplannen met externe partners voor vaststelling emissie en bedrijfscyclus.

c Tussenrapportage (januari 2007)

- 1 Rapportage over het eerste jaar.

d Validatiefase (februari 2007)

- 1 Validatie van de aannames van brandstofverbruik en emissies via rijcycli in het Rijnmondgebied.
- 2 Exploitatiefase bij de operator, met toetsing van het besluitvormingsmodel.

e Eindrapportage en publiciteit (december 2007)

- 1 Eindrapportage.
- 2 Publicatie + PR.

f Contractsluiting met marktpartij (december 2007)

- 1 Rijdende locomotief in havengebied.

CE levert een ondersteunende rol binnen het pilotproject. In dit rapport brengen we de omvang van het rangeerverkeer in beeld en brengen we de effecten van vervanging van de bestaande locomotieven voor het milieu in kaart (fase a-3).

Alstom renoveert oude Duitse locomotieven van het type BR 203 met een vermogen van 750 kW. Daarnaast bestaat de mogelijkheid om deze locomotieven om te bouwen tot hybride locomotief. De locomotieven zijn na de samenvoeging

van de Oost- en Westduitse spoorwegen en het daaropvolgende rationalisatieproces ruimschoots voorhanden.

1.2 Doelstelling, deelvragen en afbakening

De doelstelling van het deelproject 1a is het in kaart brengen van de effecten op het milieu bij het vervangen van de rangeerlocs door hybride alternatieven in het Rijnmond gebied. Daartoe worden in dit rapport verschillende hoofdvragen beantwoord:

- Wat is de omvang van het rangeervervoer in de regio Rijnmond?
- Welke milieuverbetering kan een hybride locomotief brengen?
- Wat betekent de inzet van hybride rangeerlocs voor de emissies naar het milieu in de regio Rijnmond?

Als het gaat om milieuemissies behandelen we klimaatveranderende emissies: CO₂ en luchtvervuilende emissies: NO_x en PM₁₀. Aan geluid wordt kwalitatief aandacht besteed.

1.3 Methodiek

Het milieuvoordeel van het inzetten van hybride rangeerlocs is de resultante van de verkeersomvang vermenigvuldigd met de verbetering van de milieupformance.

De verbetering van de milieupformance kan op twee manieren bepaald worden:

- 1 Ten opzichte van de huidige in gebruik zijnde locomotieven (parkgemiddelde, 1985).
- 2 Ten opzichte van een nieuwe conventionele locomotief (stand der techniek).

In het eerste geval gaat men ervan uit dat de bestaande locomotief versneld wordt vervangen door een hybride locomotief vanwege de verbeterde milieupformance van de locomotief.

In het tweede geval gaat men uit van een autonoom scenario. Locomotieven worden vervangen op een natuurlijk moment. In dit geval is het milieuvoordeel van de hybride locomotief gelijk aan het verschil tussen een moderne conventionele locomotief en een hybride locomotief.

Het is duidelijk dat het milieuvoordeel in het eerste geval op de korte termijn groter is dan in het tweede geval. Omdat er geen stimuleringsprogramma voor vervroegde vervanging bestaat, zullen de hybride rangeerlocomotieven op een natuurlijke wijze het park instromen. Voor de bepaling van het milieueffect (emissies) gaan we dus uit van de *tweede* benaderingswijze.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 inventariseren we de omvang van het rangeerverkeer en beschrijven we mogelijkheden van de inzet van hybride locomotieven in het rangeren. In hoofdstuk 3 gaan we in op de milieupformance van rangeerlocomotieven. In het laatste hoofdstuk combineren we gegevens uit de voorgaande hoofdstukken en maken we een inschatting van het potentieel aan reductie in emissies van NO_x en PM₁₀ en het brandstofverbruik.



2 Het rangeerverkeer in de Rotterdamse haven

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk maken we een inventarisatie van de omvang van het rangeerverkeer in de Rotterdamse haven. Daarnaast beschrijven we enkele relevante karakteristieken van rangeer locomotieven en de voor- en nadelen van een hybride aandrijving ten opzichte van een conventionele dieselmotoraandrijving.

2.2 Het onderzoeksgebied: de Rotterdamse haven

Rotterdam streeft er naar om in 2020 een kwaliteitshaven te hebben. Wat deze keuze in de praktijk betekent en wat er moet gebeuren om die te realiseren, is uitgewerkt in het Havenplan 2020. Dit Havenplan richt zich grofweg op 6 thema's, te weten:

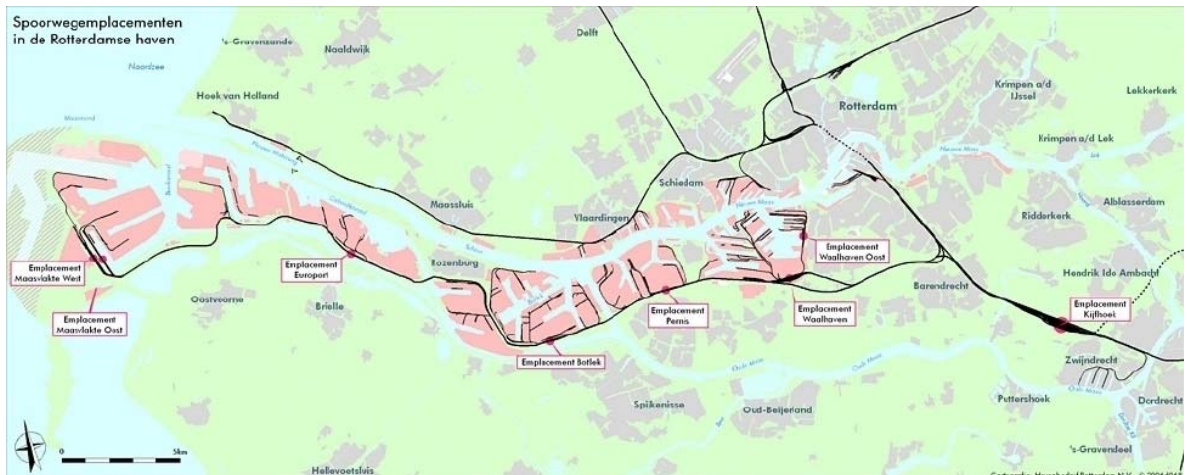
- een veelzijdige haven;
- een duurzame haven;
- een kennishaven;
- een snelle en veilige haven;
- een attractieve haven;
- een schone haven.

Verbetering van de luchtkwaliteit door middel van hybride rangeer locomotieven grijpt in op de thema's "duurzaam" en "schoon".

Een groot deel van het Rotterdams havengebied ligt in of in de nabijheid van de bebouwde kom. Dat maakt dat (reducties van) emissies, van zowel stoffen als geluid, direct aangrijpen op het welbevinden van veel bewoners van de regio.

Het onderzoeksgebied betreft het Rotterdams havengebied, opgerekt tot de regio Rijnmond. Hieronder is een kaart van het betreffende gebied weergegeven (Figuur 1). Voor een beter zicht op de kaart is deze in bijlage A paginagroot weergegeven.

Figuur 1 Spoorwegemplacementen in de Rotterdamse haven



Het gebied strekt zich grofweg uit van de Maasvlakte tot Rangeerterrein Kijfhoek.

Rangeerverkeer concentreert zich op goederenstations en emplacements. De belangrijkste in de regio Rijnmond zijn:

- Kijfhoek;
- Feijenoord;
- IJsselmonde;
- Waalhaven Zuid met de raccordementen:
 - Waalhaven Oost;
 - Waalhaven West;
 - Containerterminal RSC Waalhaven;
- Pernis met de raccordementen:
 - Interforest;
 - Distripark;
 - Shell;
 - Stamlijn Pernis west;
- Botlek (inclusief terminals 10 t/m 70);
- Europoort (inclusief raccordementen);
- Europoort West (inclusief stamlijn Markweg);
- Maasvlakte (empl. oost/oud en west) met de raccordementen:
 - EMO;
 - Containerterminal ECT Oostelijke Railterminal (ORT);
 - Containerterminal ECT Railterminal West (RTW).

Emplacement Kijfhoek is een rangeerterrein, Feijenoord en IJsselmonde zijn opstelemplacementen, waar treinen 'in de wacht' staan wanneer op de betreffende overslagterminal nog geen plek is, overige genoemde emplacements zijn overslagterminals, waarvan Waalhaven de grootste is.

2.3 Omvang van het rangeerverkeer

2.3.1 Regio Rijnmond

Om een beeld te kunnen krijgen van de potentiële milieuvoordelen wanneer het bestaande dieselrangeerverkeer zou worden uitgevoerd door hybride locomotieven, brengen we allereerst de omvang van het huidige rangeerverkeer in beeld. Door het ontbreken van documentatie is deze informatie tot stand gekomen door telefonische interviews met Havenbedrijf Rotterdam, spoorwegexploitant ProRail en operator Rotterdam Rail Feeding. Tabel 5 toont de omvang en inzet van het rangeerverkeer voor de regio Rijnmond, naar inschatting van bovengenoemde bedrijven. Alle rangeerlocomotieven in de regio worden aangedreven door dieselmotoren, de meeste diesel-elektrisch en enkele dieselhydraulisch.

Tabel 5 Kerncijfers rangeerlocomotieven regio Rijnmond, in aantallen

Bron	Locs totaal	Draaiuren/dag (belast+onbel.)	Draaiuren/ jaar	Verwachte toename aan locs a.g.v. Betuweroute
Havenbedrijf Rotterdam	8-10	16	3.000-6.000	3-4
ProRail	5-6	15-22	4.000-6.000	10
Rdam RailFeeding	5	24		15-20

Noot: Totaal aantal locs met toegekende rangeerfunctie (rangeerlocomotieven + treinlocs) die gemiddeld op enig moment actief zijn in het havengebied, wordt door ProRail geschat op 20 stuks. Geschat wordt dat slechts 5 tot 6 locomotieven vast in de regio aanwezig zijn.

De inschattingen van de geraadpleegde bronnen lopen uiteen. Allen geven een klein totaal aantal rangeerlocomotieven voor de regio aan. Dit kleine aantal wordt als volgt uitgelegd. Rangeerverkeer in de regio Rijnmond gebeurt nu voornamelijk door middel van treinlocs van lange afstand shuttletreinen. Zo'n trein rijdt naar verschillende terminals na elkaar. Op iedere terminal wordt het deel bestemd voor die terminal gelost en wordt dat treindeel van nieuwe lading voorzien voor de vervolgbestemming. Dit gebeurt via overslag, niet via rangeerwerk¹. Er is op de terminalembplacements daarom (bijna) geen sprake van het samenstellen van treinen. Daadwerkelijke rangeerlocomotieven opereren bijvoorbeeld wel op emplacement Kijfhoek. Losse wagons worden daar vanuit de terminals aangevoerd door treinlocs (rangeerlocomotieven hebben een voor dat doel te lage snelheid). Door een rangeerlocomotief worden de losse wagons uitgestoten en door middel van spoorwissels naar de juiste trein(locomotief) geleid. Ook hier is de inzet van rangeerlocomotieven dus klein.

Na ingebruikname van de Betuweroute wordt een duidelijke toename voorzien van de vraag naar dieseldrangeerlocomotieven. (Bron: Havenbedrijf Rotterdam, ProRail, Rotterdam Rail Feeding). Immers, de Betuweroute - geheel geëlektrificeerd - zal worden bereden door elektrische treinen. De aanwezigheid van de bovenleiding

¹ Een voorbeeld hiervan is het ACTS-systeem, waarbij containers direct van de wagon op vrachtauto's worden gezet. Zie www.acts-nl.com.

vormt een fysieke belemmering voor overslag. Om die reden zullen op alle terminalemlacements (5 in totaal) naar verwachting enkele dieselrangeerlocs gaan rijden voor de overslag. De kans bestaat dat de dieselrangeerlocs zich zullen concentreren op bijvoorbeeld emplacement Waalhaven, om vervolgens daar vandaan het hele havengebied te bedienen.

Overigens leeft binnen de spoorwereld de verwachting dat de elektrificatie van de Betuweroute pas over enkele jaren effectief zal zijn en er de eerste jaren na in gebruikname van de route nog voornamelijk met diesellocs zal worden gereden. Dit is te wijten aan het feit dat de route niet over het hele traject hetzelfde voltage kent. Om het hele traject te kunnen rijden zonder wisseling van locomotieven, zijn zogenaamde multisysteemlocs nodig, en die zullen niet direct door alle operators worden aangeschaft.

2.3.2 Rijnmond ten opzichte van Nederland

Het bovengenoemde rangeerverkeer faciliteert alle goederenspoorvervoer van de regio. Dit vertegenwoordigt een aanzienlijk deel (ruim 50%) van het landelijk goederenvervoer per spoor, zie Tabel 6.

Tabel 6 Aandeel regio Rijnmond in landelijk goederenvervoer per spoor

Periode	Lading Rijnmond (1.000 ton)	Lossing Rijnmond (1.000 ton)	Totaal Rijnmond (1.000 ton)	Totaal Nederland (1.000 ton)	Aandeel Rijnmond (%)
2005 1 ^e kwartaal	106	576	682	1229	55
2005 2 ^e kwartaal	118	588	706	1332	53
2005 3 ^e kwartaal	98	582	680	1290	52

Bron: CBS Maandcijfers Binnenlands Goederenvervoer per Spoor, 2005.

Om een indruk te krijgen van de potentie voor hybride locs in Nederland als geheel is in onderstaande tabel ook de totale vloot weergegeven van locomotieven die door de verschillende spoorvervoerders op Nederlands grondgebied wordt ingezet in het goederentransport. Dit betreft niet alleen rangeer locomotieven. Het grootste gedeelte van het locomotievenpark bestaat uit diesellocs.

Tabel 7 Overzicht van locomotieven in Nederland gebruikt voor goederenvervoer per spoor

Vervoerder	Aantal diesel	Aantal elektrisch
ACTS	9	4
ERS	15	0
DLC	7	0
HGK	1	0
Railion	132	44
Rail4Chem	8	0
Rotterdam Rail Feeding	5	0
Totaal	177	48

Bron: RailCargo\Spoor in Cijfers\6c Overzicht Locomotieven.

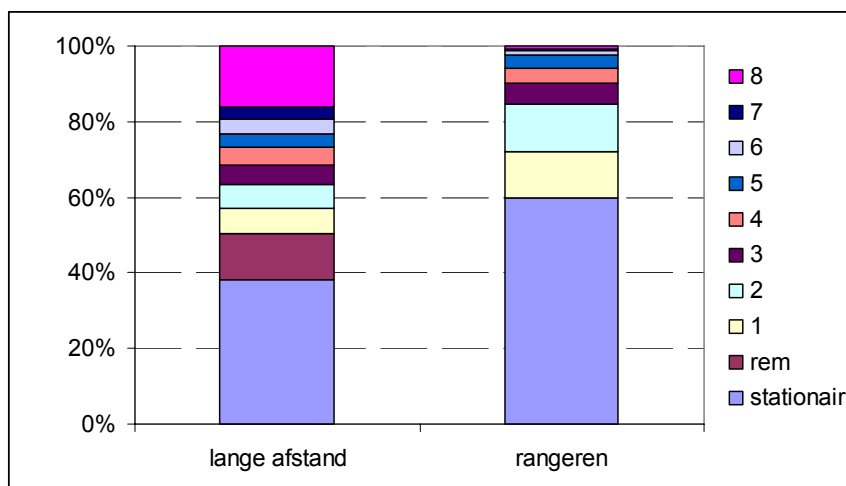


2.4 De gebruikskarakteristiek van rangeer locomotieven

Een rangeer locomotief wordt gebruikt op rangeerterreinen om treinen die over lange afstand zullen gaan rijden samen te stellen. Het vermogen van een rangeer locomotief is veelal beperkt tot 1.000 kW.

De belasting van een motor in een rangeer locomotief is over het algemeen laag, lager nog dan bij een lange-afstand locomotief, zie Figuur 2. Veelal draait de motor stationair of rijdt de locomotief met lage snelheid over het rangeerterrein. Onder deze omstandigheden is de efficiëntie van een dieselmotor laag en kunnen de emissies hoog zijn. Ondanks dat het brandstofverbruik onder stationaire omstandigheden laag is, wordt toch de grootste hoeveelheid brandstof verbruikt onder deze toestand door een rangeer locomotief (Argonne National Laboratory, 2003). Om praktische redenen (o.a. afkoelen van de motor en wegvallen remdruk, wat gevaarlijke situaties kan opleveren) worden de motoren niet telkens afgezet. Na een stop moet een rangeer locomotief immers direct arbeid leveren, en met een koude motor kan dit motorschade opleveren.

Figuur 2 De gebruikskarakteristieken van locomotieven



Noot: afgebeeld is de Amerikaanse testcyclus voor de typegoedkeuring, die locomotieven test met stationaire motor en op stationaire 8 verschillende vermogens. In de rem-modus wordt de elektromotor gebruikt als een generator om de trein af te remmen.

2.5 Een hybride locomotief

Een hybride locomotief heeft een accupakket dat door een dieselmotor onder constant en optimaal toerental wordt opgeladen. De dieselmotor slaat alleen aan wanneer de accu onder een bepaalde ontladingsgraad komt, of wanneer de vermogensvraag groot is. Het gebruik van een hybride motor bespaart energie op twee manieren:

- wanneer er bij stilstand geen vermogensvraag is, hoeft er geen stationaire motor meer te draaien; en
- het accupakket wordt zo efficiënt mogelijk opgeladen, in het zogenaamde ideale werkpunt van de motor.

2.5.1 Gebruik van hybride locomotieven door vervoerders

Vervoerders hebben een direct meetbaar voordeel bij het gebruik van hybride locomotieven ten opzichte van conventionele diesellocomotieven. De belangrijkste zijn:

- brandstofbesparing, en daarmee kostenbesparing;
- emissiereductie (stoffen);
- emissiereductie (geluid).

De aanschaf van een hybride locomotief gaat gepaard met meerkosten ten opzichte van een conventionele dieselmotor. Deze meerkosten kunnen echter terugverdiend worden vanwege het lagere brandstofgebruik. De terugverdientijd bedraagt zo'n 5 jaar (Alstom).

Genoemde emissiereducties zijn belangrijk met het oog op de (nabije) toekomst, waarin de druk op spoorvervoerders om de milieubelasting te verminderen zal worden opgevoerd, om (regionale) doelstellingen voor duurzaamheid en luchtkwaliteit te kunnen realiseren.

Reductie van geluidsemissie zal niet alleen bijdragen aan een verbetering van de leefomgeving van omwonenden maar ook van de werkomgeving van eigen werknemers.

Daarnaast zal het in gebruik nemen van milieuvriendelijke hybride rangeerlocomotieven, met ondersteuning van goede PR, bijdragen aan een positief imago van de spoorvervoerders.

In Noord Amerika zijn inmiddels al enige tientallen hybride locomotieven in gebruik van producent Railpower². Rond maart 2006 stond het aantal orders op 160.

2.6 Conclusie

In de regio Rijnmond worden naar schatting zo'n 8 rangeerlocomotieven gebruikt. Bij ingebruikname van de Betuweroute zal dit aantal met zo'n 10 locomotieven toenemen. Het aantal draaiuren bedraagt zo'n 4.500. Dat het aantal rangeerlocs niet zo groot is heeft te maken met de wijze van lossen: complete treinen rijden van terminal naar terminal waar de lading gelost wordt door middel van overslag. Zo'n trein rijdt naar verschillende terminals na elkaar. De verwachte toename van het aantal rangeerlocs bij ingebruikname van de Betuweroute heeft te maken met aanwezigheid van een bovenleiding, die een fysieke belemmering vormt voor overslag.

Met behulp van een hybride aandrijving kan de milieubelasting van een rangeerloc omlaag worden gebracht. Dit heeft te maken met de afwezigheid van een stationair draaiende motor en het efficiënter gebruik van de dieselmotor in het hybride concept.

² www.railpower.com.



3 De milieueffecten van hybride locs

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk gaan we in op de milieuprestatie van rangeerlocomotieven. Allereerst gaan we in op de milieuprestatie van de huidige rangeerlocomotieven, waarvoor we kijken naar cijfers die gelden als gemiddeld voor West-Europese landen. Vervolgens kijken we naar de milieuprestatie van een hybride locomotief en bepalen we het voordeel van het gebruik van hybride rangeerlocomotieven.

3.2 Milieu en rangeerlocomotieven: het wettige kader

Sinds 2006 geldt er Europese regelgeving ten aanzien van de emissies van diesel railmaterieel. In de tijd voorafgaande hieraan schreef de Union International de Chemin des Fers (UIC) streefwaarden voor, waar de bedrijven die aangesloten waren bij de UIC zich aan conformeerden, zie Tabel 8.

Tabel 8 UIC emissienormen (g/kWh)

		HC	CO	NO _x	PM ₁₀
01.1993		1,6	4	16	1,6
01.1997		0,8	3	12	0,8
01.2003	P ≤ 560 kW	0,6	2,5	6	0,25
	P > 560 kW	0,8	3	N > 1.000 rpm: 9,5 N ≤ 1.000 rpm: 9,9	0,25

Bron: UIC leaflet 624.

Noot: HC staat voor koolwaterstoffen, CO voor koolmonoxide, NO_x voor stikstofmonoxide en PM₁₀ voor fijn stof.

De in Tabel 8 gepresenteerde waarden worden gemeten over de ISO 8178/F testcyclus. In Tabel 9 is de definitie van deze testcyclus weergegeven.

Tabel 9 Weegfactoren in de ISO 8178/F cyclus

Belasting	Weegfactor
Stationair (5% belasting)	60%
Gemiddeld (60-70% of nominaal vermogen, maximaal koppel)	15%
Maximaal vermogen	25%

Deze ISO-F cyclus geldt ook als basis voor de door de EU vastgestelde richtlijn in 2004. De richtlijn legt emissie-eisen vast tot en met 2012. In Tabel 10 geven we de limietwaarden weer.

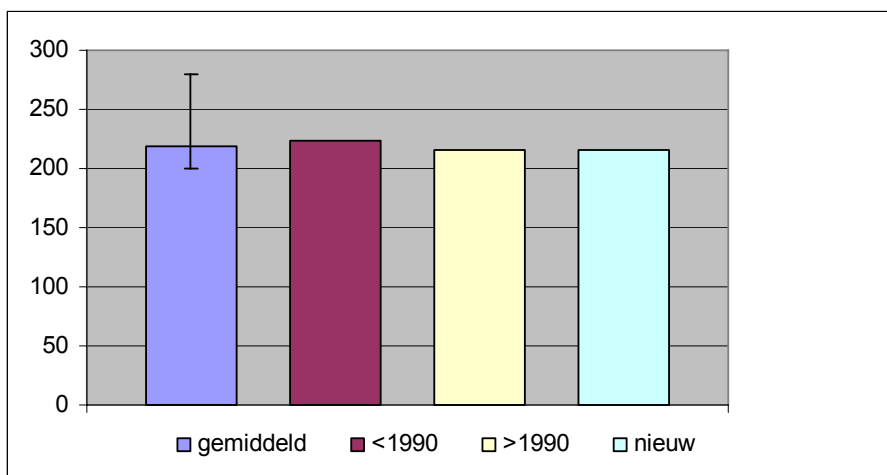
Tabel 10 EU emissie-eisen aan locomotieven volgens Richtlijn 2004/26/EC (g/Kwh)

	Vermogensklasse (kW)	Type goedkeuring	Alle verkoop	CO	HC	NO _x	PM10
IIIA	130-560	01.2006	01.2007	3,5		4,0	0,2
	> 560	01.2008	01.2009	3,5	0,5	6,0	0,2
	> 2.000+ > 5l.cil. inh	01.2008	01.2009	3,5	0,4	7,4	0,2
IIIB	>130	01.2011	01.2012	3,5		4,0	0,025
		01.2011	01.2012				

3.3 Milieupformance huidige rangeerlocs

De onderstaande figuren geven informatie over het brandstofgebruik, en de emissies van NO_x en PM₁₀. De waarden zijn gemeten over de ISO-F cyclus, die zoals reeds eerder gezegd gebruikt wordt voor de typegoedkeuring van locomotieven voor de EU. De luchtverontreinigende emissies hangen sterk af van de leeftijd van de locomotief vanwege de UIC emissie-eisen uit het verleden.

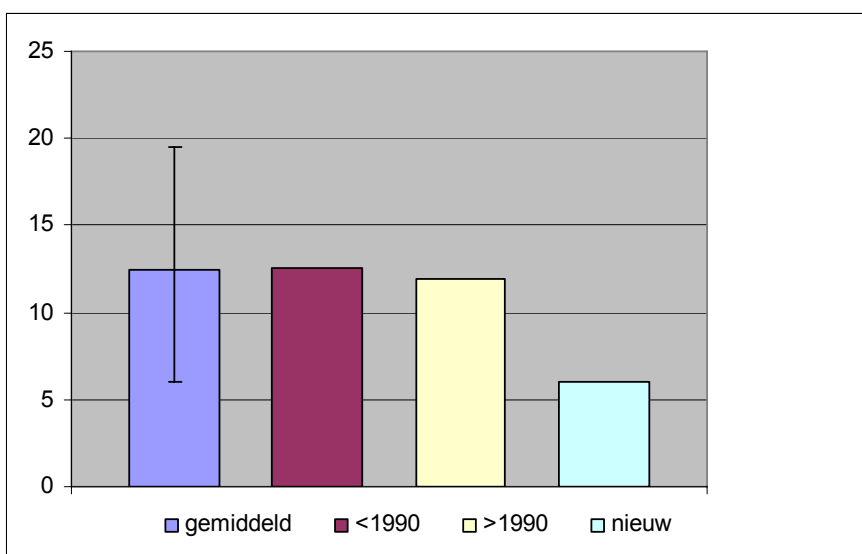
Figuur 3 Brandstofverbruik voor locomotiefmotoren in rangeerlocomotieven (g/kWh)



Bron: UIC, 2005a.

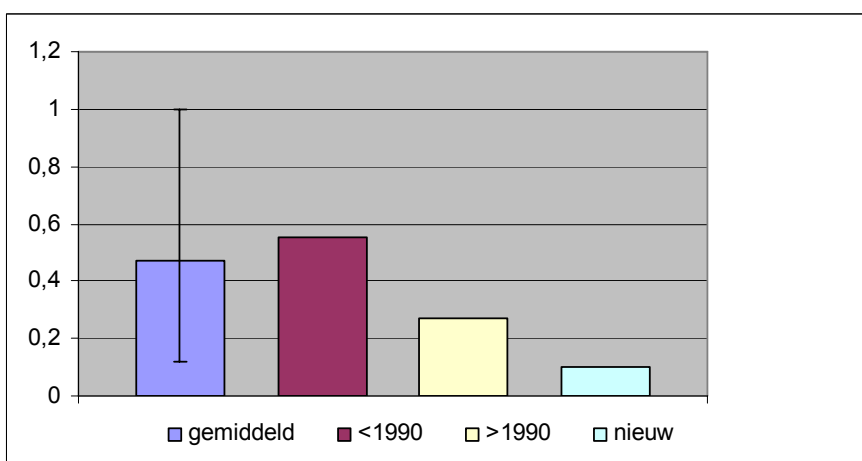
De bovenstaande brandstofverbruiken komen overeen met een gemiddelde motorefficiëntie van 40%. Over de ISO-F belastingscyclus is het brandstofgebruik voor een rangeerlocomotief tussen de 35-45 liter per uur, afhankelijk van het type locomotief en vermogen (UIC, 2005b).

Figuur 4 NO_x-emissies voor locomotiefmotoren in rangeerlocomotieven (g/kWh)



Bron: UIC, 2005a.

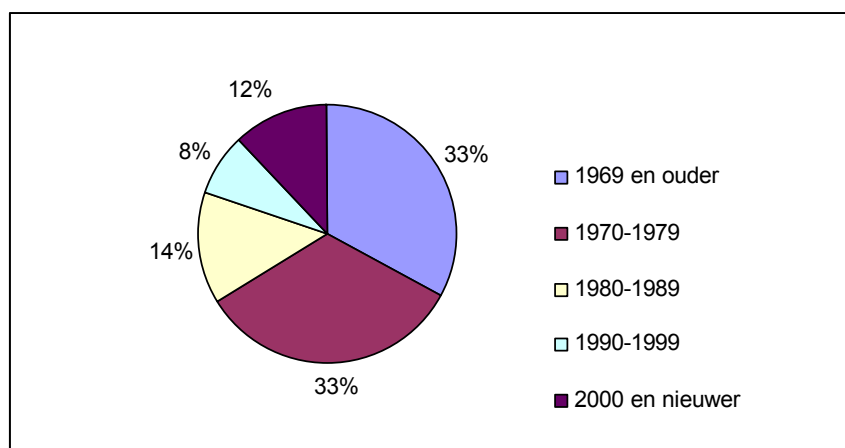
Figuur 5 PM₁₀ emissiefactoren voor locomotiefmotoren in rangeerlocomotieven (g/Kwh)



Bron: UIC, 2005a.

Uit de figuren valt af te leiden dat het aandeel “<1990” relatief groot is. Dat heeft te maken met de leeftijdsopbouw van het park aan locomotieven. Uit een recent gehouden enquête onder Europese vervoersbedrijven blijkt dat ongeveer 2/3 van de locomotiefmotoren een bouwjaar van voor 1980 heeft, zie Figuur 6. Maar de oudste locomotieven worden minder intensief gebruikt. Gemiddeld is de leeftijd 30 jaar.

Figuur 6 Leeftijdsofbouw van de locomotiefmotoren onder Europese spoorvervoerders



3.4 Hybride loc: een lager energiegebruik en lagere emissies

Hybride technologie kan het energiegebruik alsmede de emissies van luchtverontreinigende stoffen flink verminderen. Reducties tot 90% NO_x -emissies worden geclaimd voor de Toyota Prius. In de railsector worden in Japan al testen uitgevoerd met een hybride passagierstrein. JR East heeft als doel om een reductie van de emissies van NO_x en PM_{10} van 50% te behalen. Door JR East zijn al brandstofbesparingen van 20% geboekt door de inzet van een hybride trein. De rangeerlocomotief "green goat" van het Canadese bedrijf Railpower haalt brandstofbesparingen van 40-60% en een vermindering van luchtvervuilende emissies van NO_x en PM_{10} van 80-90%. De exacte besparingen hangen af van de specifieke belastingscyclus (Railpower, 2004). Met behulp van praktijktesten binnen het pilotproject "hybride aandrijving voor locomotief" zullen de cijfers uit de literatuur worden geverifieerd.

Overigens is de exacte vermindering van de luchtvervuilende emissies moeilijk in te schatten, want juist bij dynamische belastingsprofielen zijn de luchtvervuilende emissies van diesellocs het hoogste, terwijl alle testcycli een aaneenschakeling zijn van statische testen. Naar verwachting zijn dus de effecten onder dynamische omstandigheden groter dan de cijfers doen vermoeden, omdat de dieselmotor in een hybride loc altijd op constant toerental draait. Maar vooralsnog gaan we uit van de gerapporteerde cijfers.

Wanneer we uitgaan van de cijfers zoals gepresenteerd in de bovenstaande figuren uit paragraaf 3.3, en de emissiereductie inschatten op basis van de bestaande literatuur kunnen emissiewaarden worden gehaald zoals weergegeven in Tabel 11.

Tabel 11 Indicatief brandstofverbruik en emissies van een hybride rangeerlocomotief ten opzichte van conventionele locomotieven

		liter/uur (ISO-F)	kg/uur
Gemiddelde dieselloc	Brandstofverbruik	40	
	NO _x		2,0
	PM ₁₀		0,1
Nieuwe dieselloc	Brandstofverbruik	40	
	NO _x		1,0
	PM ₁₀		0,02
Hybride loc	Brandstofverbruik	20	
	NO _x		~0,2-0,4
	PM ₁₀		~0,01

Noot: emissiegetallen in kg/uur kunnen worden berekend door de cijfers in g/kWh te corrigeren voor de motorefficiëntie (40%) en te vermenigvuldigen met het brandstofgebruik.

De emissies van een hybride locomotief hangen af van de emissieklasse van de dieselmotor die in de locomotief is gebouwd. Alstom bouwt de locomotieven met een dieselmotor die voldoet aan Stage IIIA (Tabel 10), in de vermogensklasse 130-560 kW.

3.4.1 Geluid

Hybride technologie kan ook bijdragen aan het verminderen van de emissie van geluid. Wanneer er geen vermogensvraag is en de accu vol is, is de hybride loc geluidloos. Dit, in tegenstelling tot een diesel locomotief die vaak lange perioden zonder vermogensvraag stationair draait. Daarnaast kunnen hybride locomotieven, wanneer de accu's vol geladen zijn in de elektrische modus rijden.

3.5 Alternatieven voor hybride locomotieven

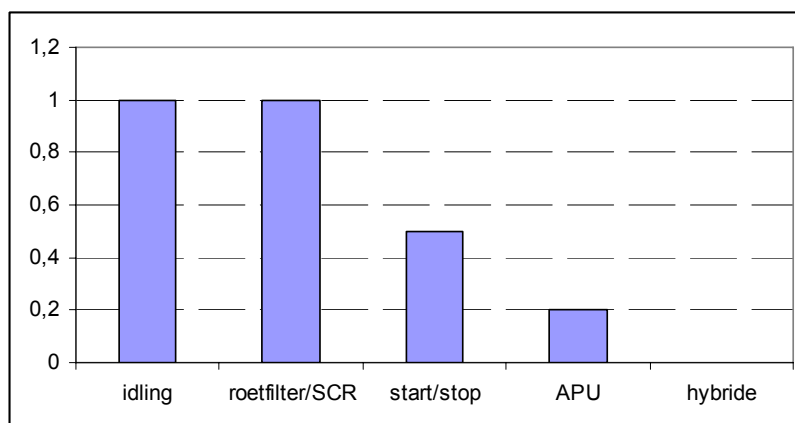
Naast de inzet van hybride locomotieven is er een aantal andere alternatieven voorhanden om brandstofgebruik en emissies te reduceren in Europa. In Tabel 12 geven we een overzicht van de mogelijkheden.

Tabel 12 Alternatieve maatregelen ter vermindering van emissies en brandstofgebruik

Maatregel	Kenmerken	Conclusie/effect
Roetfilters en SCR-filters	Reductie van fijn stof emissies en van NO _x . Grijpt niet aan op wijze van gebruik locomotief.	Vermindering emissies, gelijk brandstofverbruik.
Automatic engine stop-start controls (AESS)	Motor slaat uit tijdens stationair gebruik. Wanneer watertemperatuur, remdruk etc. te laag zijn, start de motor weer.	Tot 70 % minder stationair draaien, flinke besparing op brandstofgebruik en emissies. Besparing het grootst in warme klimaten.
Auxiliary power unit (APU)	Kleine motor, welke zorgt voor energievoorziening voor: <ul style="list-style-type: none"> • air conditioning • communicatie • cabineverwarming • remdruk 	Reduceert energiegebruik en emissies door lager energiegebruik en emissies van kleine APU-motor.

In Figuur 7 geven we het potentieel voor energiebesparing van verschillende opties weer. Uit de figuur blijkt dat een hybride motor de grootste energiebesparing geeft. Het patroon voor luchtverontreinigende emissie geeft een gelijk beeld.

Figuur 7 Relatief energiegebruik tijdens stationair draaien met verschillende besparingsopties



Bron: Argonne National Laboratory, 2003.

Er zijn ervaringen met bovengenoemde technieken in Europa. Roetfilters en SCR-filters hebben een groot volume. Het is daarom de vraag of het mogelijk is deze filters in te bouwen in bestaande locomotieven. Roetfilters kunnen de emissies van PM₁₀ met zo'n 90% verminderen, terwijl een SCR-filter een reductie van 60% in de NO_x-emissies kan geven. SCR-filters worden reeds toegepast op vrachtauto's, en naar verwachting zullen roetfilters vanaf 2008 worden ingebouwd bij de inwerkingtreding van de Euro 5-normen. Voor roetfilters is laagzware brandstof noodzakelijk.

Een beperkt deel van de Europese spoorondernemingen heeft testen uitgevoerd met roet- en SCR-filters. In Zwitserland is een retrofitprogramma gaande waarin 9 diesellocomotieven worden voorzien van roetfilters. Een UIC-onderzoek (UIC,



2005b) heeft uitgewezen dat combinaties van SCR en roetfilters toepasbaar zijn op verschillende rangeer- en treinlocomotieven.

Aan het eind van de jaren '90 heeft het Oostenrijkse ÖBB heeft APU's geïnstalleerd in een aantal rangeerlocomotieven (UIC, 2005b).

Uit een analyse van het Amerikaans Argonne National Laboratory blijkt dat de terugverdientijden van de verschillende investeringen sterk uiteen lopen, evenals de kosten en de brandstofbesparingen. Deze getallen gelden voor de Amerikaanse situatie, die op sommige punten verschilt van de Nederlandse situatie (o.a. een grotere locomotief).

Tabel 13 Terugverdientijd voor de verschillende besparingsopties

	brandstofbesparing (gallon/dag)	Jaarlijkse besparing (\$1.000)	Kosten (\$1.000)	Terugverdientijd (maanden)
Start/stop	36	15	7.5-15	6-12
APU	60	25	25-35	12-17
Hybride (ombouw)	291	122	700	69

Noot: Diesel-electrische GP38-2 met EPA rangeercyclus, 330 dagen per jaar, 50% minder stationair door start/stop systeem, 90% minder stationair door APU. De kosten voor een hybride locomotief bedragen het ombouwen van een bestaande locomotief.

Bron: Argonne National Laboratory, 2003.

Uit de tabel blijkt dat start/stop systemen en APU's een kortere terugverdientijd hebben, maar ook minder energie besparen. Volgens de Amerikaanse bron is de terugverdientijd bijna 6 jaar, terwijl Alstom een terugverdientijd van bijna 5 jaar aanhoudt. Dit kan te maken hebben met het verschil in brandstofprijzen en de doelstelling van Alstom deze terugverdientijd te beperken om de extra investering aantrekkelijk te maken.

3.6 Conclusie

Rangeerlocomotieven hebben over het algemeen een vrij hoge leeftijd. 2/3 van de locomotiefmotoren, die gebruikt worden door Europese spoorvervoerders heeft een bouwjaar van voor 1980. Vanwege de UIC-emissienormen zijn de emissiefactoren van nieuwe locomotieven de laatste decennia gedaald. Recente Europese regelgeving zorgt in de toekomst voor verdere daling. Echter de hoge levensduur van locomotiefmotoren zorgt voor een langzame instroom van schone locomotieven.

Met behulp van een hybride aandrijving kan het brandstofverbruik van een locomotief met 60% verminderd worden. De afname van luchtverontreinigende emissies van NO_x en PM₁₀ wordt zelfs geschat op 80-90%, ten opzichte van een gemiddelde conventionele locomotief. Deze cijfers zullen door metingen aan een prototype locomotief, die in werking wordt genomen in het havengebied, worden geverifieerd.

Naast het toepassen van het hybride concept op rangeerlocomotieven zijn er andere mogelijkheden om brandstof te besparen en emissies te verminderen: het toepassen van roet- en SCR-filters, een start/stop systeem of een APU (een kleine hulpmotor). De toepassing van roet- en SCR-filters zijn met name interessant voor treinlocomotieven, omdat het hybride concept voor treinlocomotieven minder voordeel biedt dan voor rangeerlocomotieven.

Start/stop systemen en APU's zijn goedkoper, maar leveren ook minder milieuwinst op. Start/stop systemen zijn bovendien ongunstig in het kader van slijtage aan de motor (Alstom).



4 Conclusie: de effecten in Rijnmond

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk combineren we de informatie uit de voorgaande hoofdstukken. Op basis van het aantal locomotieven in het havengebied en jaarlijkse aantal draaiuren en de vermindering van de emissies bij inzet van een hybride loc bepalen we de jaarlijkse emissievermindering. Vervolgens schatten we op basis van de emissiereductie de effecten op de luchtkwaliteit in.

4.2 Effecten op emissies en brandstofverbruik

Op basis van de beschikbare informatie over de omvang van het rangeerverkeer in het havengebied en de besparingen op emissies en brandstofverbruik van een hybride loc ten opzichte van een conventionele loc bepalen we de totale emissievermindering en reductie van het brandstofverbruik als gevolg van de inzet van hybride locs. In Tabel 14 en Tabel 15 geven we de potentiële besparingen weer die behaald kunnen worden, wanneer alle locomotieven vervangen worden door hybride locomotieven.

Tabel 14 Potentiële brandstofbesparing door de inzet van hybride locomotieven in het Rotterdamse havengebied

	Aantallen locs	Draaiuren (jaarlijks)	Brandstofverbruik (l/u)	Brandstofbesparing per loc (jaarlijks, liter)	Totale brandstofbesparing (jaarlijks, liter)
referentie	8 (18)	4.500	40	90.000	~720.000 (1.620.000)
hybride loc			20		

Noot: de getallen tussen haakjes hebben betrekking op ingebruikname van de Betuweroute. Als referentie is gekozen voor een nieuwe diesellocomotief.

Tabel 15 Potentiële emissiereductie door de inzet van hybride locomotieven in het Rotterdamse havengebied

		Aantallen locs	Draaiuren (jaarlijks)	Emissies (kg/u)	Emissiereductie per loc (jaarlijks, ton)	Totale emissievermindering (jaarlijks, ton)
NO _x	referentie	8 (18)	4.500	1,0	~2,9	~23 (52)
	hybride loc			0,2-0,4		
PM ₁₀	referentie	8 (18)	4.500	~0,02	~0,04	~0,3 (0,6)
	hybride loc			~0,01		

Noot: De getallen tussen haakjes hebben betrekking op ingebruikname van de Betuweroute. Als referentie is gekozen voor een nieuwe diesellocomotief.

4.3 Effecten op luchtkwaliteit

Uit een inventarisatie van de UIC blijkt dat Nederlandse spoorwegemplacements geen knelpunt vormen ten aanzien van de luchtkwaliteit. De bijdrage aan de jaargemiddelde concentratie van een spoorwegemplacement is geringer dan de bijdrage van bijvoorbeeld een snelweg. Op een zeer druk spoorwegemplacement wordt jaarlijks 40 ton NO_x geëmitteerd, terwijl de emissies gemiddeld zo'n 15 ton

bedragen. Ter vergelijking: de emissies van een gemiddelde snelweg bedragen zo'n 50-70 ton NO_x per kilometer per jaar (UIC, 2005c).

In Tabel 12 geven we een indruk van de bijdrage aan de jaargemiddelde concentratie van de emissies op spoorwegemplacementen.

Tabel 16 Jaargemiddelde bijdrage in de NO₂ concentratie door rangeerlocomotieven in Duitsland

	Oppervlakte (km ²)	NO _x emissies (kg/jaar)	Bijdrage aan NO ₂ conc. op terreingrens (µg/m ³)
Emplacement 1(hoge emissies)	0,52	40.279	2
Emplacement 2 (hoge emissie dichtheid)	0,1	12.303	2,5
Emplacement 3 (gemiddelde)	0,47	14.811	1

Bron: UIC, 2005c.

Noot: De in de tabel genoemde voorbeelden hebben betrekking op Duitsland. De locomotieven van Deutsche Bahn hebben een betere emissieperformance dan het Europees gemiddelde.

Ter vergelijking: bijdragen van 10 en 4 µg/m³ van snelwegverkeer aan de totale concentratie NO₂ op respectievelijk 50 en 200 meter van de weg-as zijn niet uitzonderlijk (CE, 2005).

4.3.1 De effecten van het vervangen van een dieselloc door een hybride loc

Omdat de rangeerlocomotieven in het havengebied verspreid zijn over de verschillende rangeerterreinen, zijn ook de emissies naar de lucht verspreid over alle emplacementen. Wanneer we ervan uitgaan dat er op één emplacement maar één rangeerloc actief is, is het effect van vervanging van een bestaande loc (<1985) door een hybride loc van 7,5 ton NO_x-reductie op basis van 4.500 bedrijfsuren per jaar (Tabel 11). Dit komt op basis van Tabel 16 over een met een afname van de NO_x-concentratie met ongeveer 0,4-0,5 µg/m³, afhankelijk van de oppervlakte van het rangeerterrein.

De reductie door de vervanging van een bestaande locomotief met een nieuwe diesellocotief bedraagt ongeveer 4,5 ton NO_x per jaar. Dit komt overeen met ongeveer 0,2 µg/m³. Het extra effect van de aanschaf van een hybride locomotief in plaats van een moderne dieselloc ligt dus in de orde van grootte van 0,2-0,3 µg/m³, afhankelijk van de grootte, ligging en het aantal bedrijfsuren.

De bijdrage van rangeeractiviteiten aan de PM₁₀-concentratie is zeer beperkt, omdat PM₁₀ voor een groot deel een natuurlijke herkomst heeft (o.a. bodemstof). Volgens (UIC, 2005c) is dit in de orde van grootte 0,1 tot 0,2 µg/m³. Het effect van de vervanging van een rangeerlocomotief is nog veel beperkter. De studie concludeert dat fijn stof emissie op spoorwegemplacementen slechts heel gering bijdraagt aan PM₁₀-concentraties. Fijn stof (met name PM_{2.5}) is echter wel zeer schadelijk voor de gezondheid, vanuit dit oogpunt is het toch zinvol aandacht te schenken aan fijn stof.



4.4 Kosteneffectiviteit

Het ombouwen van een locomotief is een kosteneffectieve wijze om emissies en het energiegebruik van spoor te verminderen. De meerkosten - grofweg € 500.000,- - worden binnen een aantal jaren terug verdiend door de spoorvervoerders.

Ook de alternatieven zoals start/stop systemen en APU's zijn investeringen die binnen korte tijd terug verdiend kunnen worden. De installatie van SCR- en roetfilters zijn maatregelen die voor de vervoerder geen baten opleveren. Overigens is de installatie van deze filters nog wel kosteneffectief vergeleken met maatregelen in het wegverkeer (CE, 2003).



Referenties

Argonne National Laboratory, 2003

L. Gaines

Reduction of Impacts from Locomotive Idling

Center for Transportation Research, Argonne National Laboratory

October 01, 2003

Railpower, 2004

Hybrid technology for the rail industry (RTD2004-66041)

Proceedings of the 2004 ASME/IEEE Joint Rail Conference April 6–8, 2004

Baltimore : Maryland USA

UIC, 2005a

Markus Halder, Andreas Löchter

Rail Diesel Study WP1 Final Report: Status and future development of the diesel fleet

21.07.2005

UIC, 2005b

Rail Diesel Study WP2 Final Report: Technical and operational measures to improve the emissions performance of diesel rail

UIC, 2005c

Melanie Hobson, Anne Wagner and Paul Cumine

Rail Diesel Study WP2 Final Report: The contribution of rail diesel exhaust emissions to local air Quality

AEA Technology, October 2005

Websites:

CE, 2005

Weg wijzer bij knelpunten

Aanknopingspunten voor het Innovatieprogramma Luchtkwaliteit, CE, 2005, www.ce.nl

CE, 2003

Clean on track-reducing emissions from diesel locomotives, CE, 2003, www.ce.nl

DCMR & ROM-Rijnmond, 2005

Regionaal actieprogramma luchtkwaliteit Rijnmond, december 2005

www.dcmr.nl

Persoonlijke gesprekken

Havenbedrijf Rotterdam

Persoonlijke communicatie met dhr. Gerard Eikelenboom.

ProRail

Persoonlijke communicatie met dhr. Hans Bruins.

Rotterdam Rail Feeding

Persoonlijke communicatie met dhr. Leo Dijkgraaff.



CE

**Oplossingen voor
milieu, economie
en technologie**

Oude Delft 180

2611 HH Delft

tel: 015 2 150 150

fax: 015 2 150 151

e-mail: ce@ce.nl

website: www.ce.nl

Besloten Vennootschap

KvK 27251086

Hybride locs in het Rotterdamse havengebied

Een verkenning van de effecten

Bijlagen

Rapport

Delft, augustus 2006

Opgesteld door: L.C. (Eelco) den Boer
K. (Karen) Rensma





A Spoorwegemplacements in de Rotterdamse haven

