

# Einsparung von Zugförderenergie bei NS Reizigers

Leo van Dongen, Wilco Fiechter, Utrecht

*Nederlandse Spoorwegen hat mit dem Wirtschaftsministerium ein mehrjähriges Abkommen über effizientere Energienutzung geschlossen. Als Unternehmensbereich mit dem weitaus größten Energiebedarf erbringt NS Reizigers 10% Energieeinsparung. Es wird über Struktur und Details des Energieabkommens sowie über bisherige und zukünftige Energieeinsparung bei NS Reizigers berichtet.*

## Savings of traction energy at NS Reizigers

*Nederlandse Spoorwegen has concluded a long-term energy efficiency improvement agreement with the Ministry of Economic Affairs. NS Reizigers, as the NS division with the highest energy demand, signed up for energy savings of 10%. This article gives an overview of the structure and details of the energy covenant as well as of energy savings at NS Reizigers in the recent past and in the future.*

## Économies de l'énergie de traction chez NS Reizigers

*Avec le ministère de l'économie le Nederlandse Spoorwegen a conclu un accord de plusieurs années sur l'optimisation du rendement énergétique. Étant la société de NS avec la plus grande demande de l'énergie, NS Reizigers a signé pour une économie d'énergie de 10%. Cet article propose un aperçu de la structure et des détails de l'accord-énergie ainsi que de l'énergie économisée par NS Reizigers dans le passé proche et dans la future.*

## 1 Einführung

Im Oktober 1999 hat Nederlandse Spoorwegen (NS) mit dem niederländischen Wirtschaftsministerium ein mehrjähriges Abkommen

über effizientere Energienutzung abgeschlossen, im Folgenden *Energieabkommen* genannt. NS hat sich damit zu einer Energieeinsparung oder im Grunde genommen zu einer effizienteren Energienutzung von 11% in der Zeitspanne von 1997 bis 2010 verpflichtet.

Am Energieabkommen nehmen fünf NS-Unternehmensbereiche teil:

- NS Reizigers (Reiseverkehr)
- NS RailInfraBeheer (Netzinfrastruktur)
- NS Stations (Bahnhöfe)
- NS Vastgoed (Immobilien)
- NedTrain (vormals NS Materieel)

Jedes beteiligte NS-Unternehmen stellt einen *Energieeinsparungsplan* (EBP) für die Prozesse im eigenen Unternehmensbereich auf. Darin wird unter anderem Folgendes beschrieben:

- die Energiebedarfsdaten sowie die Energiebilanzen der Prozesse,
- die Definition des Energieeffizienzindex,
- die Zuständigkeiten im Bereich Energieeinsparung innerhalb des jeweiligen Unternehmensbereichs,
- eine Übersicht zum Energieeinsparungspotential.

Auf der Grundlage dieses EBP hat jeder Unternehmensbereich festgelegt, wie die Energieeinsparung im Vertragszeitraum, also von 1997 bis 2010 realisiert werden kann. Dies hat zu den in Tabelle 1 gezeigten Werten geführt.

Das gewichtete Mittel dieser Energieeinsparungswerte beträgt 11%. Die Gewichtung erfolgt auf Grundlage des Anteils am gesamten Energiebedarf aller NS-Unternehmen. Das bedeutet, dass die Einsparungsrate von NS Reizigers am stärksten gewichtet wird, weil er mit 86% des Gesamtbedarfs der größte Partner im Energieabkommen ist.

## 2 Index der Energieeffizienz von NS Reizigers

Die Energieeffizienz der Prozesse von NS Reizigers (NSR) wird bestimmt durch die Kennzahl *Energiebedarf pro Sitzplatzkilometer*. Anhand der Entwicklung dieser Kennzahl über die Jahre wird das Energieabkommen überwacht, zumindest was den Anteil von NSR am Abkommen betrifft. Die anderen NS-Unternehmensbereiche verwenden andere Bezugsgrößen, die für die Prozesse dieser Unter-

nehmensbereiche geeigneter sind, beispielsweise NS Vastgoed die Brutto-Bodenfläche in m<sup>2</sup>.

Während der Vorbereitung auf das Energieabkommen wurde bei NSR dieser Kennzahl aus folgenden Gründen der Vorzug gegenüber einer anderen häufig gebrauchten Größe gegeben, dem Energiebedarf pro Personenkilometer:

**Tabelle 1:** Energiebedarf und -einsparung im Konzern Nederlandse Spoorwegen.

Unternehmensbereich	Primärenergiebedarf*		Energieeinsparung 1997 bis 2010	
	TJ	TWh	%	%
NS Reizigers	9104	2,53	86	10
NS RailInfraBeheer	730	0,20	7	8
NS Stations	218	0,06	2	13
NS Vastgoed	375	0,11	3	25
NedTrain	191	0,05	2	8
Summe	10618	2,95	100	11

\* Umrechnungsfaktor: Wirkungsgrad Kraftwerk und Übertragungsnetz 50%

- Ein Energieabkommen zielt in erster Linie auf die Verbesserung und Optimierung interner Unternehmensprozesse ab. Dafür ist die naheliegendste und intern häufig verwendete Produktionskennzahl der Sitzplatzkilometer.
- Die Kennzahl Energiebedarf pro Personenkilometer wird natürlich stark durch den Platzausnutzungsgrad der Züge beeinflusst.

Letzteres kann in manchen Situationen zu großen Abweichungen dieser Kennzahl führen, die aber kein realistisches Bild darüber geben, wie sich die interne Energieeffizienz entwickelt. Ein Beispiel dafür ist die Einführung der Studentenkarte Anfang der neunziger Jahre. Sie führte zu einer starken Zunahme des Platzausnutzungsgrads und demzufolge zu einer starken Abnahme, also Verbesserung der Kennzahl Energiebedarf pro Personenkilometer.

NSR hat im Rahmen des Energieabkommens mindestens 10% Energieeinsparung vereinbart. Das bedeutet konkret, dass der Energiebedarf pro Sitzplatzkilometer im Jahr 2010 um mindestens 10% geringer sein muss als im Jahr 1997.

Daneben wurde festgelegt, dass zur Information und um einen besseren Überblick über die Entwicklung im Bereich Energie zu erhalten, die folgenden Kennzahlen überwacht werden:

- Energiebedarf pro Zugkilometer
- Energiebedarf pro Wagenkilometer
- Energiebedarf pro Personenkilometer

### 3 Bisherige Energieeinsparung bei NSR

#### 3.1 Gesamtentwicklung

1998 betrug der Gesamtelektrizitätsverbrauch von NSR für die Zugförderung ungefähr 1,3 TWh. Dies entspricht dem jährlichen Elektrizitätsverbrauch von rund 400 000 niederländischen Haushalten. Daneben wurden noch etwa 20,6 Mio Liter Dieselkraftstoff für NSR-Züge verbraucht.

Zwischen 1985 und 1998 ist der gesamte Zugförderenergiebedarf

von NSR beträchtlich gestiegen, und zwar um 44%. Die Produktionssteigerung gemessen in Sitzplatzkilometern war in diesem Zeitraum jedoch größer: 1998 wurden 75% mehr Sitzplatzkilometer produziert als 1985. Dies bedeutet, dass die Energieeffizienz der Prozesse von NSR in diesem Zeitraum um 20% verbessert wurde. In Bild 1 ist diese Entwicklung der Energieeffizienz dargestellt.

Die wichtigsten Trends, die dieser Entwicklung zugrunde liegen, sind die Folgenden (Tabelle 2):

- Neue Fahrzeuge sind pro Sitzplatz leichter als alte, wobei sich besonders die ab 1984 eingeführten Doppelstockwagen günstig auswirken.
- Moderne Fahrzeuge ab 1983 sind mit energiesparenden Antriebssystemen ausgerüstet. In jüngerer Vergangenheit in Betrieb genommene Fahrzeuge wie der *Regiorunner* (Bild 2) und der Triebwagen *DubbelDeksMaterieel* (mDDM plus DD-AR) speisen Bremsenergie in das Oberleitungsnetz zurück.
- Seit 1985 sind die Züge länger geworden, und zwar von durchschnittlich 3,8 Personenwagen pro Zug auf 4,9 im Jahr 1998. Dadurch hat der Luftwiderstand pro Sitzplatz abgenommen.

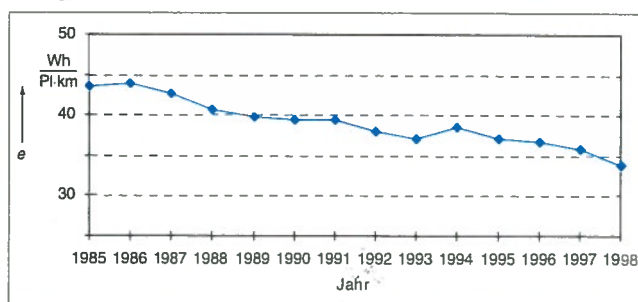


Bild 1: Energiebedarf  $e$  pro Sitzplatzkilometer (PI · km) bei NS Reizigers.

Tabelle 2: Maßnahmen zur Energieeinsparung pro Sitzplatzkilometer um 20% bei NS Reizigers seit 1985.

neue leichte Fahrzeuge, besonders Doppelstockwagen ab 1984  
Choppersteuerung ab 1983, rückspeisefähige Drehstromantriebe ab 1991  
zunehmende Länge der Züge seit 1985  
Ausbau der Bahnenergieversorgung  
besondere Beachtung der energiesparenden Fahrweise seit 1988/89

- Im Laufe der Jahre wurde die Bahnenergieversorgung verbessert. Durch Zwischenunterwerke wurden die Energieverluste in der Oberleitung reduziert.
- Seit 1988/1989 wird verstärkt auf energiesparende Fahrweise geachtet.

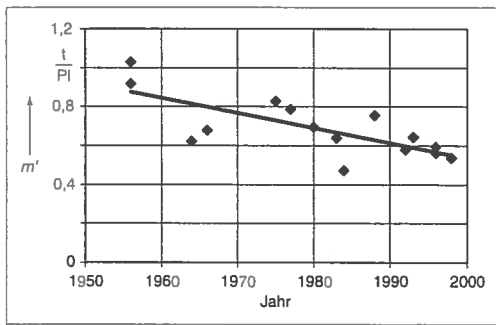
#### 3.2 Zugmasse

In Bild 3 ist die Entwicklung der auf einen Sitzplatz bezogenen Masse der Fahrzeuge dargestellt, und zwar immer im Jahr der erstmaligen Inbetriebnahme einer Fahrzeugserie bei NSR eingetragen. Die Darstellung beginnt mit Fahrzeugen, die 1956 in Betrieb genommen wurden und mittlerweile außer Betrieb sind, und endet mit dem Triebwagen *DubbelDeksMaterieel*, der in dieser Kombination 1998 in Betrieb genommen wurde.

Die Streuung in dem Diagramm ist hauptsächlich auf den Unterschied von Intercity-Zügen und



Bild 2: Doppelstock-Regiorunner.



**Bild 3:** Masse  $m'$  pro Sitzplatz von NS *Reizigers*-Fahrzeugen.

Nahverkehrszügen zurückzuführen. Intercity-Züge haben relativ weniger Sitzplätze pro Wagen, wodurch ihre bezogene Masse höher ist. Ungeachtet dieser Streuung ist der Trend deutlich: Die Züge von NSR werden leichter.

### 3.3 Antriebstechnik

Ein wichtiger Teil der Verbesserungen bei der Energieeffizienz in den vergangenen Jahren ist eine Folge des höheren Wirkungsgrades der modernen elektrischen Antriebe. Dabei wurde die klassische Widerstandssteuerung sukzessive durch Choppersteuerung oder durch Drehstromantriebe mit Asynchronfahrmotoren ersetzt.

Um beim Anfahren und Beschleunigen eines elektrischen Triebfahrzeuges aus dem Stillstand den Motorstrom zu begrenzen, muss die Spannung geregelt werden. Konventionell geschieht dies durch Anfahrwiderstände, in denen viel Energie als Wärme verloren geht. Bei NSR-Fahrzeugen, die seit Anfang der achtziger Jahre in Betrieb genommen wurden wie die Lokomotive 1600 und der Vierwagenzug *Koploper*, werden Spannung und Strom mittels Leistungselektronik in Form des Gleichstromstellers (*Chopper*) praktisch verlustfrei geregelt.

Seit Anfang der neunziger Jahre verwendet NSR auch Drehstromantriebssysteme, so beim *Railhopper*, beim Regiorunner und beim Triebwagen *DubbelDeksMaterieel*. Diese Antriebstechnologie mit Wechselrichtern ermöglicht nicht nur die Anfahrröme zu regeln, sondern auch Bremsenergie in die Oberleitung zurückzuspeisen, wenn andere Leistung aufnehmende Züge in der Nähe sind.

Kürzlich durchgeführte Messungen an Zweiwagen-Sprinterzügen SGM II haben gezeigt, dass die Energieeinsparung durch moderne IGBT-Chopper beträchtlich ist: Gegenüber dem konventionellen Antriebssystem mit Fahrwiderständen wurden auf der Zoetermeer-Linie mit kurzem Haltestellenabstand 42% Energie gespart.

### 3.4 Energiesparende Fahrweise

Die energiesparende Fahrweise (EZR) wird bei NS bereits seit Jahren angewendet; sie ist vielleicht schon so alt wie die Eisenbahn selbst. Im Dampfzeitalter lagen die Resultate der energiesparenden Fahrweise deutlich auf der Hand, denn am Ende der Fahrt war die Menge nicht verbrauchter Steinkohle ein Maß für die energiesparende Fahrweise auf der betreffenden Fahrt – und für die Kohlenprämie des Lokomotivführers! Bei der elektrischen Zugförderung fehlt bisher eine derartig eindeutige Messmethode für die Energieeinsparung.

Die EZR basiert auf dem Prinzip, den Zug bis zur nächsten Haltestelle ausrollen zu lassen, wenn der Fahrzeitpuffer im Fahrplan dies zulässt. Im Fahrplan von NSR ist 7% Standard-Fahrzeitpuffer integriert. Wenn dieser nicht zum Ausgleich von Verspätungen benötigt wird, kann er verwendet werden, um das Antriebssystem abzuschalten und bis zum nächsten Bahnhof auszurollen. Der Unterschied zwischen EZR- und herkömmlicher Fahrt kann nach Berechnungen zwischen 15 und 20% betragen.

Ende der achtziger Jahre erhielt die EZR bei NS einen neuen Impuls. Seitdem werden auf den Fahrplanausdrucken für die Triebfahrzeugführer (Tf) die sogenannten Abschaltpunkte angegeben. An

diesen Punkten, meist bei einem Signal oder einem anderen markanten Punkt an der Strecke kann der Tf das Antriebssystem abschalten und bis zum nächsten Bahnhof ausrollen, wenn der Zug planmäßig fährt. Mit dieser Information kann der Tf den Zeitpunkt des Ausrollens besser bestimmen.

Es ist zwar schwierig, den quantitativen Beitrag dieses neuen Impulses zur EZR zu erfassen. Doch hat die neuerliche Beachtung dieses Themas seither zweifellos zur Verbesserung der Energieeffizienz bei NSR beigetragen.

## 4 Prognosen zur Energieeinsparung bei NSR

In einem Forschungsprogramm, das dem Energieabkommen vorausging, wurde eine große Zahl von Projekten und Maßnahmen untersucht. Die wichtigsten Punkte werden im Folgenden genannt und dann einzeln behandelt (Tabelle 3):

- Inbetriebnahme neuer längerer Regiorunner-Doppelstockwagenzüge
- Einführung des Economymeters
- Chopper für Sprinter-Zugeneinheiten
- Masseeinsparung beim Neubau und Umbau von Zügen
- Anpassen der Temperatur- und Lüftungsregelung im Zug
- Energiespeichersysteme

### 4.1 Neue Doppelstockwagen

Vor kurzer Zeit hat NSR einen Auftrag zur Erweiterung des Fahrzeugbestands erteilt. Es wurden insgesamt 252 Personenwagen bestellt, zum einen um den heutigen Regiorunner von drei auf vier oder von vier auf sechs Wagen zu verlängern, zum anderen in Form neuer Züge sowohl in der Variante mit vier als auch mit sechs Wagen.

**Tabelle 3:** Projekte zur Energieeinsparung pro Sitzplatzkilometer um mindestens 10% bei NS *Reizigers* von 1997 bis 2010 im Rahmen des Energieabkommens.

Anschaffung neuer, sehr energiesparender Doppelstockwagen weitere Förderung der energiesparenden Fahrweise, Einführung eines Economymeters Umbau der Dreiwagen-Sprinterzüge auf Choppersteuerung Massereduzierung beim Neubau und Umbau von Zügen Anpassen der Temperatur- und Lüftungsregelung im Zug verbesserte Spannungsregelung beim Rückspeisebremsen
--

Der Sechswagen-Regiorunner wird der energieeffizienteste Zug von NSR: Er ist um etwa 33 % sparsamer als der Durchschnitt des heutigen Bestands gemessen am Energieverbrauch pro Sitzplatzkilometer. Dazu haben folgende Eigenschaften und Technologien in hohem Maße beigetragen:

- Doppelstockwenzüge sind pro Sitzplatz leichter als durchschnittliche Züge von NSR. Der Regiorunner wiegt im Schnitt 620 kg pro Sitzplatz (Bild 3).
- Der Regiorunner hat ein modernes Antriebssystem, das die Anfahrverluste stark reduziert und Bremsenergie zurückspeisen kann.
- Der Sechswagenzug hat gegenüber den heutigen meist kürzeren Zügen einen deutlich geringeren Luftwiderstand.

Als Folge der Inbetriebnahme dieser großen Zahl neuer Doppelstockfahrzeuge wird sich die Gesamtenergieeffizienz von NSR um etwa 6,5% verbessern. Damit wird also ein großer Teil der vereinbarten Energieeinsparung erzielt werden.

Darüber hinaus werden alle neuen Regiorunner für die Einführung des neuen Bahnenergieversorgungssystems in den Niederlanden vorbereitet, nämlich AC 25 kV 50 Hz. Beim Übergang auf dieses System wird sich die Energieeffizienz des Regiorunners nochmals um 7% verbessern, hauptsächlich infolge der signifikant geringeren Verluste in der Oberleitung beim Übertragen der Zugförderungsenergie mit 25 kV.

## 4.2 Economymeter

Um den Tf bei der EZR besser zu unterstützen, arbeitet NSR an der Einführung des sogenannten Economymeters. Dieses Messgerät liefert dem Tf Informationen über die momentane Energieaufnahme in kWh pro Zeiteinheit und zeigt ihm den richtigen Abschaltzeitpunkt vor der nächsten Haltestelle an.

Der Economymeter besteht unter anderem aus einem Energiemesser, einem Positionsbestimmungssystem, zum Beispiel per GPS, einem Industrie-PC und einer Ein-

und Ausgabeinheit für den Tf. An Hand des Fahrplans, der Daten über die Infrastruktur, den in einer Datenbank abgelegten Merkmalen des Fahrzeugs und der momentanen gemessenen Position berechnet der Economymeter die optimale EZR. Dies wird während der Fahrt alle vier Sekunden durchgeführt. Wenn ermittelt wird, dass genügend Zeit für Auslauf des Zuges vorhanden ist, leuchtet ein blauer Leuchtmelder im Führerstand auf als Zeichen für den Tf, dass er den Antrieb abschalten kann. Der Zug rollt dann ohne Zugförderenergie weiter und erreicht pünktlich die nächste Haltestelle.

Tests mit Prototypen des Economymeters haben gezeigt, dass im Nahverkehr bis zu etwa 6% Energie eingespart werden kann.

## 4.3 Chopper für Sprinter-Züge

Auf Grund der hohen Energieeinsparung bei den SGM-II-Zügen wird momentan die Möglichkeit untersucht, IGBT-Chopper auch in den Dreiwagen-Sprinterzügen SGM-III einzusetzen. Durch die anderen Einsatzbedingungen dieses Typs bei größeren Haltestellenabständen ist die Energieeinsparung jedoch geringer. Wenn alle SGM-III-Züge mit Chopper ausgestattet würden, betrüge die Energieeinsparung 29 GWh/a und die Gesamtenergieeffizienz von NSR würde sich um 2% verbessern.

## 4.4 Zugmasse

### 4.4.1 Allgemeines

Die Masse eines Zugs ist einer der bestimmenden Faktoren für seinen Energiebedarf. Ein Teil der Aktivitäten im Rahmen des Energieabkommens richtet sich daher auf die Reduzierung der Zugmasse, zum Beispiel durch Verwendung leichterer Konstruktionen oder Komponenten.

Im Lebenszyklus von Fahrzeugen gibt es zwei ideale Zeitpunkte, zu denen diese Masseverringerung durch leichtere Konstruktionen und/oder Komponenten konkret umgesetzt werden kann:

- Beim Entwurf neuer Fahrzeuge, wo der Konstrukteur den Aspekt Energieeinsparung einbeziehen kann,

- bei der großen Revision in der *Mitte des Lebens* von Bahnfahrzeugen nach 15 bis 20 Jahren, in deren Rahmen auch relativ große Anpassungen wirtschaftlich durchgeführt werden können.

### 4.4.2 Bonus-Malussystem

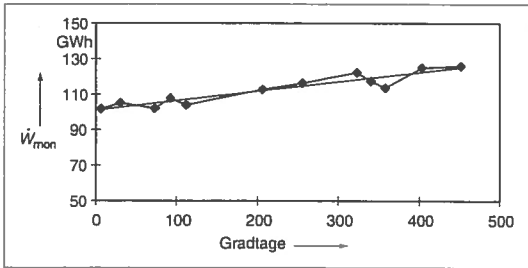
Bei NSR gilt heute die Philosophie, Züge nicht mehr selbst bis in technische Details zu spezifizieren und ihren Bau zu leiten, sondern dies der Eisenbahnindustrie zu überlassen. Deshalb wurde bei einigen Fahrzeugprojekten in jüngerer Zeit nicht vorgeschrieben, welche Leichtbau-Konstruktionen verwendet werden sollen, sondern Anreize zur Energieeinsparung in die Verträge aufgenommen. Beispiele hierfür sind die Anschaffung neuer Doppelstockwagen und die Modernisierung der Dreiwagen-Sprinter.

Zur Fahrzeugmasse und deren Verringerung wurden mit den Herstellern Vereinbarungen über die höchstzulässige Masse der zu liefernden Züge getroffen, und zwar unabhängig von den Anforderungen bezüglich der maximalen Radatzlast der Fahrzeuge. Gelingt es der Firma, den Zug durch Verwendung von Leichtbau-Konstruktionen und -Komponenten leichter zu machen als vereinbart, dann erhält sie pro Kilogramm Unterschreitung einen bestimmten Bonus. Dessen Höhe basiert auf der Energie- und damit Kosteneinsparung, die NSR als Folge des Einsatzes der leichteren Züge verbuchen kann. Wird der Zugeinheit hingegen schwerer als vereinbart, führt dies zu einem Malus pro Kilogramm Überschreitung. Auf diese Weise werden die Zulieferer bei der Realisierung der Ziele des Energieabkommens einbezogen.

## 4.5 Anpassen der Temperatur- und Lüftungsregelung im Zug

### 4.5.1 Ausgangslage

Ein beträchtlicher Teil der elektrischen Energie von NSR dient Heizzwecken. Als Folge davon schwankt der monatliche Gesamtbezug an Zugfördererlektrizität von NS zwischen 105 GWh im August und 137 GWh im Januar. Pro Jahr werden dafür zwischen 150 und 190 MWh abhängig vom Winter-



**Bild 4:** Monatlicher Gesamt-Elektrizitätsbedarf  $\dot{W}_{\text{mon}}$  von Nederlandse Spoorwegen nach Gradtagen. Regressionslinie:  $y = 101 + 0,053 \cdot x$ ,  $R^2 = 0,88$   
 Gradtag: Maß für die Kälte während einer bestimmten Zeitspanne bezogen auf 18 °C Außentemperatur, unterhalb der geheizt werden muss. Beispiele: Ein Tag mit 17 °C Durchschnittstemperatur bedeutet 1 Gradtag, ein Tag mit durchschnittlich 0 °C bedeutet 18 Gradtage.

wetter benötigt. In einem durchschnittlichen Jahr macht dies etwa 11 % des Gesamtbedarfs aus.

Wenn man den monatlichen Bezug an Zugförderelektrizität der Zahl der Gradtage in dem betreffenden Monat gegenüberstellt, ergibt sich der in Bild 4 dargestellte Zusammenhang an Hand der Daten des Fahrplanjahres 1997/98. Dabei wird von der Annahme ausgegangen, dass in einem Fahrplanjahr die monatliche Produktion gemessen in Zug-, Wagen- und Tonnenkilometer konstant ist. Es ist zu sehen, dass der monatliche Grundbedarf von NS 101 GWh beträgt. Daneben gibt es eine temperaturabhängige Komponente nach Gradtagen: Pro zusätzlichem Gradtag nimmt der Verbrauch durch die Zugheizung um 53 MWh zu.

Eine wichtige Entwicklung ist die Einführung von geregelten Klimaanlagen, mit denen Züge immer häufiger ausgestattet werden. Der Energiebedarf wächst dadurch natürlich zunächst. Andererseits sind bei klimatisierten Zügen die Fenster verriegelt. Dadurch entstehen weniger Turbulenzen durch geöffnete Fenster und der Luftwiderstand sinkt und in der Übergangszeit zwischen Sommer und Winter tritt auch kein Energieverlust durch unnötig geöffnete Fenster auf.

Die zwei wichtigsten Maßnahmen zum Einsparen von Energie bei der Zugheizung sind:

- Anpassen/Absenken der Innentemperatur und der Belüftungsmengen
- Anwendung CO<sub>2</sub>-gesteuerter Belüftungsregelungen

#### 4.5.2 Innentemperatur und Belüftungsmengen

Für das Energieabkommen wurden Möglichkeiten und Einsparpotenzial durch Anpassen der geregelten Innentemperatur und der Frischluftmenge pro Stunde in den NSR-Fahrzeugen gründlich studiert. Es zeigte sich, dass beide Werte bisher meist höher sind als für einen befriedigenden Komfort erforderlich wäre und dass sie deshalb abgesenkt werden können, ohne dass

Einbußen beim Komfort für den Fahrgast entstehen.

Zurzeit wird ein Anpassungsprogramm bei der Zugheizung und -lüftung durchgeführt, das den Gesamtenergiebedarf von NSR um etwa 1 bis 2% senken soll.

#### 4.5.3 CO<sub>2</sub>-gesteuerte Belüftung

Die Belüftungsregelung in den NSR-Zügen basiert sowohl beim heutigen Stand als auch nach den genannten Anpassungen auf einer festen Frischluftmenge pro Sitzplatz, ungeachtet also der tatsächlichen Besetzung. In lastschwachen Zeiten wird somit viel mehr Frischluft zugeführt und daher auch erwärmt als unter Komfortaspekten erforderlich ist. Eine vom tatsächlichen Besetzungsgrad abhängige Belüftung kann daher eine große Energieeinsparung bringen.

Die Belüftung ist prinzipiell notwendig, um die CO<sub>2</sub>-Konzentration im Zug zu begrenzen. Wenn nicht ausreichend belüftet wird, steigt diese in einem voll besetzten Zug irgendwann über das zulässige Maß. Durch Messung der momentanen Konzentration mit CO<sub>2</sub>-Sensoren und durch entsprechendes Ansteuern der Belüftungsregelung kann die unnötige Zufuhr frischer Außenluft vermieden werden.

NSR plant deshalb zukünftige Fahrzeugprojekte mit einer CO<sub>2</sub>-gesteuerten Belüftungsregelung.

#### 4.6 Energiespeicherung

Prinzipiell können Energiespeichersysteme im Zug oder an der Strecke Bremsenergie, die nicht durch andere Züge genutzt wird

und heute in den Bremswiderständen des Zuges verloren geht, vorübergehend speichern und kurze Zeit später wieder abgeben. Eine Studie hat gezeigt, dass das theoretische Einsparpotenzial maximal 6% des Gesamtelektrizitätsbedarfs von NSR beträgt. Die Studie zeigt aber auch, dass die Anwendung von Energiespeichersystemen an der Strecke technisch nicht möglich und im Zug höchst unrentabel ist.

Als Weiterführung dieser Studie wurde jedoch eine Untersuchung gestartet, die die technischen Möglichkeiten prüft, die Spannungsregelung der Triebfahrzeuge beim Rückspeisen von Bremsenergie anzupassen. Dabei geht es um die Erhöhung der sogenannten Nutzspeisung. Wenn diese auf beispielsweise maximal 1950 V angehoben wird, kann mehr Energie zurückgespeist werden. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind abzuwarten.

#### Anmerkung:

Der Güterverkehr auf dem NS-Streckennetz wird von *Railion* geführt, einem nicht zu NS gehörenden Unternehmen. Es benötigt für Zugförderung etwa 0,1 TWh a elektrische Energie und 16 Mio l a Dieselkraftstoff.



**Dr. Ir. Leo A.M. van Dongen** (46), Maschinenbaustudium an der Technischen Universität Eindhoven und dort wissenschaftlicher Assistent von 1978 bis 1983; 1984 Eintritt bei Nederlandse Spoorwegen und dort seit 1995 Chef der Abteilung Rollendes Material & Infrastruktur Planung.

Tel.: +31-30-2 35-70 60,  
 Fax: -32 30; E-Mail: LAM.vanDongen@Reizigers.ns.nl



**Ir. Wilco G. Fiechter** (35), Studium Technische Physik an der Universität Groningen; 1991 Eintritt bei Nederlandse Spoorwegen und dort seit 1996 Projektleiter Energie & Umwelt, Abteilung Rollendes Material & Infrastruktur Planung.

Tel.: +31-30-2 35-94 79,  
 Fax: -32 30; E-Mail: GW.Fiechter@Reizigers.ns.nl

Adresse: NS Reizigers, Materiel & Infrabeleid, Postfach 20 25, NL-3500 HA Utrecht