

INTEGRAAL STIKSTOFONDERZOEK

Implementatie en gebruik van NitroGenius

Jan Willem Erisman, Arjan Hensen, Hein de Wilde (ECN)¹
 Wim de Vries, Hans Kros (Alterra)²
 Tamme van de Wal, Wim de Winter, Jan Erik Wien(WISL)³
 Jurriaan van Rijswijk, Matthijs Maat (SERC)⁴

¹Energieonderzoek Centrum Nederland, Postbus 1, 1755 ZG Petten

²Alterra, Instituut voor de groene ruimte, P.O. Box 47, 6700 AA Wageningen

³Wageningen Software Labs, P.O. Box 47, 6700 AA Wageningen

⁴SERC, Postbus 424, 3500 AK Utrecht

Revisies		
A		
B		
Opgesteld door:	Goedgekeurd door:	ECN-Schoon Fossiel
J.W. Erisman	J.W. Erisman	
Geverifieerd door:	Vrijgegeven door:	
G.J. de Groot	C.A.M. van der Klein	

Verantwoording

Dit rapport beschrijft de activiteiten uitgevoerd in het kader van project 7.2798 Integraal N onderzoek uitgevoerd in opdracht van het ministerie VROM.

Abstract

NitroGenius is a decision support system in the form of a game to help solve the complex nitrogen problems in the Netherlands. It was developed for the ministry of the Environment, Housing and Spatial Planning (VROM) and tested and played at several occasions, amongst others the Second International Nitrogen Conference in the US. From these sessions several suggestions for improvement of the game and extension of the database with all the abatement options were given. Furthermore, the need for a website with a downloadable version of NitroGenius was identified. This report describes the improvements and extension of NitroGenius and the content and of the web site (www.nitrogenius.com). Three new options for nitrogen reduction were investigated by performing a desk study. These options are i) NO_x emissions from ships; ii) reduction of N in fuel and iii) NO_x reduction by carbon sequestration.

INHOUD

LIJST VAN TABELLEN	4
LIJST VAN FIGUREN	4
SAMENVATTING	5
1. INLEIDING	7
2. WEBPUBLICATIE VAN NITROGENIUS	9
3. NIEUWE OPTIES VOOR DE VERMINDERING VAN STIKSTOFEMISSIONS NAAR HET MILIEU	11
3.1 Scheepvaart NO _x emissies: evaluatie reductiepotentieel en kosten	11
3.1.1 Vorming van NO _x in (scheeps)dieselmotoren	11
3.1.2 NO _x emissie door de scheepvaart in Nederland	11
3.1.3 Scheepsdieselmotortypes en brandstofsoort	11
3.1.4 Emissienormen NO _x in de binnenvaart	12
3.1.5 NO _x reductie technieken (DeNO _x)	13
3.1.5.1 Katalytische DeNO _x technieken	13
3.1.5.2 Motortechnische aanpassingen	13
3.1.6 Reductiepotentieel en kosteneffectiviteit NO _x emissies scheepvaart	13
3.1.6.1 Uitgangspunten berekening kosteneffectiviteit	14
3.2 NO _x reductiepotentieel door inzet N-arme brandstof	16
3.2.1 Vorming NO _x	16
3.2.2 Thermische NO _x	16
3.2.3 Brandstof NO _x	16
3.2.4 Reductiepotentieel Brandstof NO _x	17
3.3 Effecten van CO ₂ sequestratie op NO _x uitstoot energieopwekkingprocessen	18
3.3.1 Inleiding	18
3.3.2 CO ₂ afvangst technieken	18
3.3.3 Kosten NO _x reductie door CO ₂ sequestratie.	20
4. SPELEN VAN NITROGENIUS IN DE PRAKTIJK	21
5. AANBEVELING VOOR VERVOLG	23
6. GEREALISEERDE KENNISOVERDRACHT	25
REFERENTIES	27
BIJLAGE A VERSLAG NITROGENIUS SPELSESSIE TE GRAND HOTEL KAREL V, UTRECHT 9 OKTOBER 2002	29
A.1 Inleiding en programma	29
A.2 Ochtend programma: oefenen	29
A.3 Middagprogramma: spelen	30
A.4 Evaluatie	33
A.5 Conclusies en aanbevelingen	34

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1	<i>CCR NO_x emissie normen voor scheeps(diesel)motoren in gr/kWh. N is het nominale toerental en Pn het nominale vermogen in kW. (Bron: http://www.cbrb.nl)</i>	12
Tabel 2	<i>EU NO_x emissie normen voor zware diesel voertuigen op de weg, ter vergelijking met de scheidsemissienormen (http://www.dieselnet.com/standards/eu/hd.html)</i>	12
Tabel 3	<i>Aantal schepen per bouwjaar­klasse van de actieve Nederlandse binnenvaartvloot</i>	14
Tabel 4	<i>Motorvermogen­klasse opbouw van de actieve Nederlandse binnenvaartvloot</i>	15
Tabel 5	<i>Vergelijking van de belangrijkste NO_x emissiefactoren voor zeeschepen in g/kWh (steady state, motorbelastingen van 70 – 100%). Ter vergelijking is tevens een indicatieve waarde voor de emissie van een grote elektriciteitscentrale gegeven (Whall et al., 2002)</i>	15
Tabel 6	<i>Stikstofgehalte in diverse typen kolen en olie</i>	17

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1	<i>Screenshot van de hoofdpagina van de website www.nitrogenius.com</i>	10
Figuur 2	<i>Verschillende CO₂ sequestratie routes en het effect op de NO_x uitstoot</i>	19

SAMENVATTING

In opdracht van VROM werd het stikstofspel NitroGenius en het stikstof decision support system (NDSS) ontwikkeld. Het spel werd verbeterd, voorzien van een groot aantal nieuwe maatregelen en als demo versie op het internet gezet. Er werd een aparte website geopend (www.nitrogenius.com), waar naast het downloaden van de single player demo het ook mogelijk is om achtergrond informatie over het spel en de ontwikkelingen te vinden. De site wordt regelmatig bezocht en de single player demo is vele malen gedownload. Er is ook interesse getoond om NitroGenius te ontwikkelen voor andere gebieden (UK, Virginia en North Carolina USA en provincie Noord Brabant).

Drie van de maatregelen werden door een desk studie aan een nadere analyse onderworpen aangezien onbekend was wat de maatregelen voor effect zouden kunnen hebben. Uit de studie is gebleken dat:

- voor de Nederlandse binnenvaartvloot SCR (selectieve katalytische reductie) toepassing resulteert in een prijs van ongeveer 1,22 € voor elke vermeden kg NO_x. Voor de gehele binnenvaartvloot komt dit overeen met een maximaal emissiereductie potentieel van ca. 33 miljoen kg bij jaarlijkse kosten van ongeveer 40,5 miljoen €. In tegenstelling tot wegvoertuigen bedraagt de gemiddelde leeftijd van (binnenvaart)schepen enkele decennia. Dit onderstreept het belang van retrofit van bestaande schepen met nageschakelde emissiereductie technologie voor NO_x (en/of roet) emissies.
- De 'binnengaatse' emissies van de zeescheepvaart bedragen in Nederland ca. 22 miljoen kg/jaar ten gevolge van manoeuvreren, laden lossen, en het draaien van stroom etc. Omdat een substantieel deel van de binnengaatse emissies van zeeschepen in Nederland verband houdt met elektriciteitsopwekking aan de kade (stroomdraaien), zou het verplicht invoeren van 'walstroom' hier een interessante, en mogelijk kosteneffectieve, mogelijkheid kunnen bieden voor NO_x reductie.
- CO₂ sequestratie kan een belangrijke bijdrage leveren aan NO_x reductie, maar alleen voor NO_x zijn de kosten te hoog. Deze optie is aantrekkelijk wanneer er redelijke opbrengsten per ton CO₂ tegenover staan, dan wel als de optie ingepast wordt in het CO₂ reductie beleid.
- Verlaging van N in brandstof is alleen aantrekkelijk voor het gebruik van steenkool zonder de-NO_x installaties (en daarom minder relevant). Steenkool bevat 10-20% N die direct als NO_x vrijkomt.

NitroGenius is bij diverse gelegenheden gedemonstreerd en gespeeld. Tot op heden is het spel gespeeld op de 2e stikstofconferentie, bij RIVM en intern bij ECN en VROM. Het doel van deze sessies was educatie, begripsvorming en toetsen van de (on)mogelijkheden. Na de verbetering werd het rijp geacht om getest te worden als beleidsinstrument. Daarom werd een sessie georganiseerd met vier vertegenwoordigers van de doelgroepen van het spel (stakeholders stikstofproblematiek) om hier invulling aan te geven. Hieraan werd medewerking verleend door de VNO-NCW, Natuur & Milieu, Directie BWL van VROM en de LTO. Het doel van deze dag was de toepassing van het spel in de praktijk te toetsen. De deelnemers waren eenduidig in het oordeel dat het spel heeft bijgedragen aan het inzicht in de (complexe) stikstofproblematiek. Verder vervulde het een functie in de start en voeding van de discussie over oplossingen. Hierbij droeg het bij aan de communicatie en het draagvlak voor maatregelen. In de huidige vorm is het echter niet toepasbaar voor de besluitvorming. Er waren twijfels over de wetenschappelijke correctheid, aangezien er vreemde uitkomsten werden berekend als gevolg van een fout in het spel, welke inmiddels is opgelost.

Er zijn nog verschillende opties naar voren gekomen die een verbetering van het spel kunnen opleveren en daarmee de toepassing kunnen vergroten. Het betreft de spelopzet zelf waarbij het goed zou zijn om te kunnen kiezen uit alle maatregelen waarbij ook direct het werkelijke effect

zichtbaar is en afzien van de rolwisseling. Daarnaast kan gedacht worden aan uitbreiding naar andere componenten en problemen en het inzetten van het spel bij internationale onderhandelingen. Het is nu met de huidige versie goed mogelijk om bijeenkomsten met stakeholders op verschillende niveaus en met verschillende achtergronden te organiseren. Dit draagt vooral bij aan het vergroten van het inzicht in de stikstofproblematiek en mogelijk aan het vergroten van het draagvlak voor beleid.

1. INLEIDING

In opdracht van VROM werd voor de 2^e stikstofconferentie in Potomac (USA) het Nitrogen Decision Support System (NitroGenius) ontwikkeld. NitroGenius werd tijdens de conferentie gepresenteerd en 50 teams hebben er gedurende de conferentie gebruik van gemaakt. Dit was een goede test voor de relevantie, de robuustheid en de inhoudelijke aspecten van het spel. Naar aanleiding van deze praktijktests zijn er enkele suggesties voor verbetering naar voren gekomen. Ook zijn er vanuit VROM voorstellen gekomen voor aanpassing en uitbreiding van NitroGenius. Verder zou de beschikbaarheid, bijvoorbeeld via internet verbeterd moeten worden.

Het doel van dit project was het vervaardigen van een publicabele spelversie en het verkrijgen van een actuele inschatting van de NO_x vermindering door CO₂ opslag, de vermindering stikstof in brandstof en vermindering scheepvaartemissies om in het spel en Decision Support System als maatregelen op te nemen. Daarnaast werd het NDSS openbaar maken via een aparte internet site beoogd.

Dit rapport beschrijft de uitbreiding en aanpassingen van NitroGenius. Vervolgens geeft het de achtergronden bij de webpublicatie (hoofdstuk 2). In hoofdstuk 3 worden de achtergronden bij de drie nieuwe opties t.a.v. stikstof beschreven. Hoofdstuk 4 geeft een uitgebreid verslag van het spelen van NitroGenius in de praktijk. Het rapport sluit af met conclusies.

2. WEBPUBLICATIE VAN NITROGENIUS

NitroGenius is een spel dat tot doel heeft het inzicht in de complexe stikstofproblematiek te vergroten, de zoektocht naar effectieve maatregelen en oplossingen te faciliteren en draagvlak te creëren bij de verschillende stakeholders voor de maatregelen.

Om internet als klantkanaal optimaal te gebruiken is een single-player versie van NitroGenius ontwikkeld zodat surfers snel een indruk kunnen krijgen. De standaard 4-player versie is in tweede instantie beschikbaar wanneer mensen er mee door willen gaan. In de single player versie wordt “kunstmatig” tegenspel geboden omdat er slechts door één speler wordt gespeeld. De spelen tijdens de Stikstofconferentie in Amerika werden opgeslagen in een database. Het tegenspel in de single player versie wordt geboden door gebruik te maken van de gekozen maatregelen uit deze database. De uitkomst is dus niet een samenhangend spel maar bestaat uit individuele selecties.

Vanuit het oogpunt van robuustheid is het noodzakelijk geacht om de database met password beveiliging af te schermen. Het beveiligen van de database (en het alsnog toegang daartoe verkrijgen door de applicatie) was onderdeel van het project resultaat.

Een belangrijk onderdeel van de verbetering van NitroGenius was het uitbreiden van de database met nieuwe maatregelen. In deze database worden aanpassingen uitgevoerd op basis van de ervaring die in de Amerika is opgedaan en bij de andere spelen (VROM, RIVM). Er is een lijst gemaakt met alle suggesties/wensen van de gebruikers tot nu toe. De lijst is gescreend op relevantie en haalbaarheid. Verder zijn er enkele opties om het pakket aan maatregelen uit te breiden en beter te kwantificeren. Maatregel 1 tot 3 is tot stand gekomen door de uitvoering korte deskstudies, welke uitgewerkt zijn in hoofdstuk 3. De volgende maatregelen zijn in de database ingevoerd:

1. De reductie van NO_x emissies bij CO₂ opslag in de bodem (voormalige gasvelden)
2. Mogelijkheden om de stikstof in brandstof te verminderen
3. Reductie van stikstofemissies van schepen
4. Emigratie van varkenshouders naar het buitenland
5. Nieuwe mestverwerkingopties
6. Biologische landbouw
7. Meer subsidiemogelijkheden overheid
8. Maatregelen bestrijding fijn stof
9. Invoering mestquota verhandelingsstelsel
10. Implementeren stikstofplafonds
11. Implementeren van een waterstofinfrastructuur
12. NO_x katalysatoren voor diesels
13. Vermindering N₂O emissies van waterzuiveringinstallaties
14. Low-NO_x motoren op schepen
15. Maatregelen waarmee de industrie winst kan maken
16. Afvalwarmte gebruik in huishoudens
17. Installatie micro-WK systeem
18. Verhoog de bandenspanning
19. Doe je huisdieren weg
20. Koop een zuiniger auto
21. Gebruik een toilet zonder waterspoeling

Er is een downloadabel versie van het spel gemaakt, die door de gebruiker zelf geïnstalleerd kan worden op de computer. De specificaties van de website en downloadabel versie zijn als volgt:

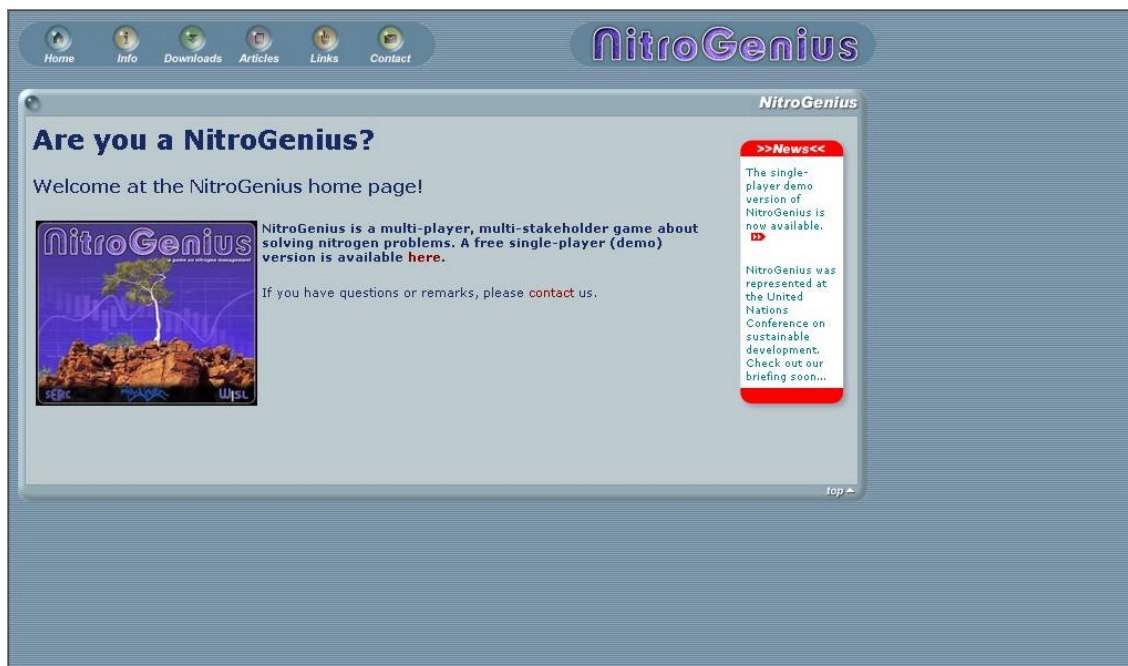
- Een eentalige Engelstalige website

- waarop NitroGenius te verkrijgen is,
- met daarop ook achtergrond documentatie (artikelen),
- en doorverwijzingen naar andere relevante sites (link-pagina);
- Een downloadabel demo versie van NitroGenius (single-user);
- Download en installatie-instructies (incl. Systeem/installatie eisen);

De downloadabel demo versie van NitroGenius is uitsluitend ontwikkeld voor Windows platforms, te weten Engelstalige en Nederlandstalige versies van Windows 98 en Windows 2000. Voor andere platforms (bijv. andere talen of andere Windows versies) is het aannemelijk dat NitroGenius wel werkt, echter dit wordt niet gegarandeerd. Overige installatie-eisen, zoals mogelijke interferenties met Microsoft Office of de eis dat installatie door een user met administrator privileges gedaan moet worden, zijn vooraf uitgebreid getest.

Er is niet voorzien in een bestelservice op CD-ROM of andere media, kortom NitroGenius wordt alleen als downloadabel verspreid om daarmee de distributie efficiënt en overzichtelijk te houden. De website is volledig in de engelse taal opgesteld. Er zijn een groot aantal achtergronddocumenten en een handleiding voor het spel opgesteld en via de website downloadabel.

De website (www.nitrogenius.com) wordt door W!SL/SERC gehost. Beheer, onderhoud en support zijn niet geregeld. Indien andere nieuwe projecten daartoe aanleiding geven, zullen beheer, onderhoud en support van de website en de versies van NitroGenius en NDSS daar geregeld moeten worden.



Figuur 1 Screenshot van de hoofdpagina van de website www.nitrogenius.com

De website is sinds juni 2002 operationeel en druk bezocht. Er is veel vraag naar informatie, vooral voor educatieve doeleinden. Vanuit Amerika (Virginia en North Carolina), Engeland en de provincie Noord Brabant is interesse getoond voor de ontwikkeling van het spel voor die gebieden. Hier is nog geen concrete opdracht uit voort gekomen. Er zijn lovende kritieken gepubliceerd op het web (Grids Magazine) en in Science (zie hoofdstuk 6).

3. NIEUWE OPTIES VOOR DE VERMINDERING VAN STIKSTOFEMISSIES NAAR HET MILIEU

Er werd een deskstudie uitgevoerd voor drie opties voor vermindering van stikstofemissies naar het milieu:

- Reductie van stikstofemissies van schepen
- De reductie van NO_x emissies bij CO₂ opslag in de bodem (voormalige gasvelden)
- Mogelijkheden om de stikstof in brandstof te verminderen

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de desk studies beschreven.

3.1 Scheepvaart NO_x emissies: evaluatie reductiepotentieel en kosten

3.1.1 Vorming van NO_x in (scheeps)dieselmotoren

NO_x wordt in verbrandingsmotoren gevormd, met name bij hoge temperaturen. Bij dieselmotoren wordt de brandstof, in tegenstelling tot benzine en gasmotoren, in de motor geïnjecteerd in de vorm van kleine vloeistof druppeltjes. Om de kleine druppeltjes goed te kunnen verbranden moet er veel lucht aan de motor worden toegevoegd. Omdat slechts een gedeelte van de zuurstof in de lucht gebruikt wordt voor de verbranding van de diesel, reageert een deel van de overmaat zuurstof met de stikstof uit de lucht tot stikstofoxide (NO_x). De vorming van NO_x neemt sterk toe bij stijgende verbrandingstemperaturen.

3.1.2 NO_x emissie door de scheepvaart in Nederland

Binnenvaart

De totale NO_x uitstoot door de binnenvaart in Nederland wordt voor 2001 geschat op 36.8 miljoen kg (AVV/CBS, 2002). Ter vergelijking: de totale Nederlandse NO_x uitstoot bedroeg in 1999, ongeveer 408 miljoen kg (CBS, 2001).

Zeevaart

Voor Nederland zijn gegevens bekend voor de emissies van de zeescheepvaart binnengaats: 22 miljoen kg (CBS, 2001; Brink, 2000). In 1998 stootte de zeescheepvaart op het Nederlandse Continentaal Plat 121 miljoen kg NO_x uit. Ter vergelijking: de mondiale NO_x emissie door de scheepvaart voor 1990 wordt geschat op 10 –11 miljard kg per jaar (Davies et al., 2000).

3.1.3 Scheepsdieselmotortypes en brandstofsoort

In de scheepvaart worden verschillende type dieselmotoren gebruikt die op verschillende brandstoffen lopen. De binnenvaart vaart vrijwel volledig op gasolie (diesel). De zeescheepvaart gebruikt naast gasolie, afhankelijk van motorvermogen en motortype ook zware stookolie (bunkerfuel) of een mengvorm van gasolie en zware stookolie (blended fuel). Het gebruikte brandstoftype in de zeescheepvaart is vooral afhankelijk van het motortype. Motoren in de zeevaart worden ingedeeld in langzaam en middelsnel lopende motoren. ‘Snellopers’ worden, in tegenstelling tot de binnenvaart, op zee nauwelijks gebruikt. De middelsnel lopende motoren, met motortoerentallen tussen 400 en 1000 rpm, zijn doorgaans viertakt motoren. De brandstof van middelsnel lopende motoren is vooral afhankelijk van het motorvermogen. Lichte middelsnel lopende motoren draaien op gasolie, de zwaardere motoren van dit type lopen, met toenemend motorvermogen, op ‘blended fuel’, of zware stookolie. Langzaamlopers zijn tweetakt (diesel!)motoren met een toerental van ca. 50-400 rpm. In deze grote, zware, dure, maar ook zuinige motoren wordt doorgaans zware stookolie (bunkerfuel) gestookt. Het aandeel in de zeevloot van deze motoren ligt boven de 50%. Vanwege de grote vermogens en toepassing in grotere schepen, dragen langzaamlopende dieselmotoren vermoedelijk 80-90% bij aan het totale brandstofverbruik, en de hieraan gekoppelde emissies. (Dijkstra en Dings, 1996). De NO_x

uitstoot van langzaamlopende scheepsdiesels ligt ruim 30 % boven de emissies van de middelsnel lopende motoren (Tabel 5). Deze gegevens betreffen de huidige praktijksituatie.

3.1.4 Emissienormen NO_x in de binnenvaart

Vóór 1 januari 2002 bestonden er voor de binnenvaart helemaal geen emissienormen! Emissies van schepen zijn daarom relatief hoog. De nieuwe normstelling m.i.v. 2001 geldt vooralsnog alleen voor nieuwe schepen, terwijl schepen vaak tientallen jaren in bedrijf zijn (zie Tabel 3). Daarom zal het geruime tijd duren voordat de nieuwe regelgeving tot een substantiële reductie van scheepsemissies zal leiden. Hieronder volgt een overzicht van de emissienormen welke door de Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCR) als fase 1 zijn vastgesteld en welke per 1 januari 2002 in het Regelement van Onderzoek voor Schepen op de Rijn (ROSR) zijn opgenomen (Tabel 1). Daarnaast zijn weergegeven de grenswaarden welke zijn voorgesteld als fase 2 door de CRR met een voorgestelde invoeringsdatum van 1 januari 2008. Overigens dient opgemerkt te worden dat de huidige en toekomstige NO_x normen voor de binnenvaart aanzienlijk milder zijn dan de Euro normen voor het wegverkeer (Tabel 2).

Tabel 1 CCR NO_x emissie normen voor scheeps(diesel)motoren in gr/kWh. N is het nominale toerental en Pn het nominale vermogen in kW. (Bron: <http://www.cbrb.nl>)

Pn (nominale vermogen)	NO _x [g/kWh] Fase 1 (sinds 2002)	NO _x [g/kWh] Fase 2 (voorstel: miv 2008)
18 ≤ Pn < 37	-	8,0
37 ≤ Pn < 75	9,2	7,0
75 ≤ Pn < 130	9,2	6,0
Pn ≥ 130	- N ≥ 2800 min ⁻¹ = 9,2 - 500 ≤ n < 2800 min ⁻¹ = 45xn(-0,2)	-
130 ≤ Pn < 560	-	6,0
Pn ≥ 560	-	- N ≥ 3150 min ⁻¹ = 6,0 - 343 ≤ n ≤ 3150 min ⁻¹ = 45xn (-0,2)=3 - n < 343 min ⁻¹ = 11,0

© CBRB/ KvD

Deze eisen gelden zowel voor hoofd (aandrijf)motoren alsook voor hulpmotoren.

Tabel 2 EU NO_x emissie normen voor zware diesel voertuigen op de weg, ter vergelijking met de scheepsemissienormen (<http://www.dieselnet.com/standards/eu/hd.html>)

Norm	Datum & Categorie	NO _x (g/kWh)
Euro I	1992, <85 kW	8
	1992, >85 kW	8
Euro II	1996.1	7
	1998.1	7
Euro III	1999.10, <i>EEVs only</i>	2
	2000.1	5
Euro IV	2005.1	3.5
Euro V	2008.1	2

3.1.5 NO_x reductie technieken (DeNO_x)

3.1.5.1 Katalytische DeNO_x technieken

Op dit moment zijn er drie katalytische DeNO_x technieken beschikbaar en commercieel bewezen: (1) selectieve katalytische reductie (SCR) waarbij reductanten als ammonia, of ureum worden toegevoegd; (2) selectieve niet-katalytische reductie (SNCR) waarbij ook ammonia of ureum wordt toegevoegd; (3) selectieve katalytische reductie waarbij als reductant koolwaterstoffen worden gebruikt zoals bijvoorbeeld methanol en ethanol (<http://www.kocat.com>) of propaan en LPG (Brink, van den, 2002). De eerstgenoemde technologie wordt verreweg het meest toegepast. Met katalytische DeNO_x technieken kan in de praktijk tot meer dan 95% van de NO_x worden afgevangen (Koorneef, 2002).

3.1.5.2 Motortechnische aanpassingen

Motortechnische aanpassingen kunnen slechts in een beperkte NO_x reductie voorzien. Hierbij bestaat tevens een tegengesteld belang in ontwerpcriteria ten aanzien van brandstofverbruik enerzijds en NO_x reductie anderzijds. Door een effectieve verbrandingsprocedure met hoge procestemperaturen wordt de ter beschikking staande brandstof optimaal gebruikt. Een gunstig verbruik is het positieve resultaat waarbij tevens de roetuitstoot wordt beperkt. Hogere temperaturen leiden echter gelijktijdig tot een versterkte vorming van stikstofdioxide. Motortechnische maatregelen voor het reduceren van de stikstofdioxide leiden dan ook altijd tot een hoger verbruik (fuel penalty), daar de verbrandingstemperatuur moet worden verlaagd. Verlaging van de verbrandingstemperatuur kan ondermeer worden gerealiseerd door de volgende motortechnische aanpassingen: verlating van het inspuitbegin, geringere inspuit spreiding, interne uitlaatgasrecirculatie door gewijzigde kleptiming, lagere temperatuur van inlaatlucht, externe uitlaatgasrecirculatie met koeling van de teruggevoerde uitlaatgassen (<http://www.man-trucks.nl>).

Bevochtiging van de inlaatlucht

Door bevochtiging van de inlaatlucht kan de motortemperatuur, en daarmee de NO_x vorming, worden beperkt. Deze Humid Air Motor (HAM) techniek kan op verschillende manieren worden uitgevoerd (www.acidrain.org). Bijvoorbeeld door inzet van de door Alpha Power Systems ontwikkelde SwirlFlash technologie, waarbij kleine hete waterdruppeltjes voor of na de turbolader van de dieselmotor worden geïnjecteerd. De technologie is in het bijzonder geschikt voor de grotere dieselmotoren zoals voor scheepsvoortstuwning. Net als de eerder genoemde NO_x reductie technieken resulteert bevochtiging van de inlaatlucht vermoedelijk in een extra brandstofverbruik, en hieraan gekoppelde extra CO₂ uitstoot, in de orde van een procent. Stecher (2002) vermeldt voor een testtoepassing van de SwirlFlash technologie bij een gasmotor een afname van het asrendement met 0,9 %, bij een NO_x reductie van 55%.

3.1.6 Reductiepotentieel en kosteneffectiviteit NO_x emissies scheepvaart

Omdat selectieve katalytische reductie (SCR) met ureum als reductant momenteel het meest wordt toegepast, beperkt de kostenevaluatie in deze studie zich tot deze optie. Daarbij komt dat de fabrikanten van de bovengenoemde alternatieve opties doorgaans aangeven dat de kosteneffectiviteit vergelijkbaar is met SCR deNO_x met ureum.

Op basis van de in het onderstaande toegelichte aannames, kan voor de Nederlandse binnenvaartvloot berekend worden dat SCR toepassing resulteert in een prijs van ongeveer 1,22 € voor elke vermeden kg NO_x. Voor de gehele binnenvaartvloot komt dit overeen met een maximaal emissiereductie potentieel van ca. 33 miljoen kg bij jaarlijkse kosten van ongeveer 40,5 miljoen €. Deze kosten vallen in de range van 0,3 – 4,5 € per kg NO_x zoals geprojecteerd op basis van de RLB projecten bij bedrijven in de periode 1996 – 2001 (Buring, 2002).

In theorie is de ‘binnengaatse’ NO_x emissie van de zeescheepvaart (22 miljoen kg/jaar, CBS 2001, Brink, 2000) ook te reduceren. Echter, omdat de schepen een veelheid aan vlagstaten beslaan en internationale regelgeving nog nauwelijks bestaat zal dit in de praktijk niet

eenvoudig zijn. Dit kan alleen in internationaal verband worden geregeld. Daarbij komt dat scheepsemissies (van CO₂) niet aan verschillende landen worden toegerekend in IPCC kader (Intergovernmental Panel on Climate Change). Omdat een substantieel deel van de binnengaatsse emissies van zeeschepen in Nederland verband houdt met elektriciteitsopwekking aan de kade (stroomdraaien), zou het verplicht invoeren van ‘walstroom’ hier een interessante, en mogelijk kosteneffectieve, mogelijkheid bieden voor NO_x reductie.

3.1.6.1 Uitgangspunten berekening kosteneffectiviteit

Uit tabel 3 blijkt duidelijk dat de gemiddelde leeftijd van schepen enkele decennia is. De lange gebruiksduur van schepen onderstreept het belang van retrofit van bestaande schepen met nageschakelde emissiereductie technologie voor NO_x (en/of roet) emissies.

Tabel 3 *Aantal schepen per bouwjaarklasse van de actieve Nederlandse binnenvaartvloot*

© AVV/CBS 2002

Aantal schepen per Bouwjaarklasse	
voor 1990	17
1900 - 1910	102
1910 - 1920	109
1920 - 1930	447
1930 - 1940	237
1940 - 1950	162
1950 - 1960	931
1960 - 1970	1304
1970 - 1980	584
1980 - 1990	487
1990 - 1995	186
1995 - 2000	177
2000	86
2001	22

Correspondentie met Siemens, binnen Europa een van de grote spelers die turn-key DeNO_x installaties voor scheepsdieselmotoren levert, leert dat de kosten voor deze installaties uiteenlopen van ca. 60-70 € per kW geïnstalleerd motorvermogen voor motoren met een vermogen beneden de 400 kW, tot aan 30-40 € per kW geïnstalleerd motorvermogen voor zware motoren. Op basis van het gemiddelde motorvermogen van Nederlandse binnenvaartschepen (zie Tabel 4) is in deze studie uitgegaan van een gemiddelde installatiekostprijs van 50 € per kW. Verder is een ureumoplossing verondersteld van 10 l per MW motorvermogen per uur, bij een literprijs van 0,15 €. Tenslotte is uitgegaan van 6000 draaiuren per jaar (i.e. 68 % van de tijd varen), en een katalysator levensduur van 24000 uur, overeenkomend met een gemiddelde vervanging na 4 jaar. In de berekening zijn geen rentekosten meegenomen. De negatieve milieuconsequenties van ureumproductie zijn beperkt ten opzichte van de NO_x reductie die er mee kan worden gerealiseerd. Een LCA studie naar ‘REDUKTANtm’ - een van de commerciële ammonia/ureum oplossingen voor DeNO_x - laat zien dat afhankelijk van de toepassing en uitvoering de uitgestoten NO_x tijdens de productie van REDUKTANtm ongeveer 0.3-1.9% bedraagt van de vermeden NO_x emissie door toepassing in DeNO_x installaties (Norsk Hydro, 2002).

De in het bovenstaande berekende kosteneffectiviteit van ongeveer 1,22 € voor elke vermeden kg NO_x valt in de range van 0,3 – 4,5 € per kg NO_x zoals geprojecteerd op basis van de RLB projecten bij bedrijven in de periode 1996 – 2001 (Buring, 2002). Krishnan (2001) vermeldt dat

met de leidende SCR systemen in de markt bij dieselmotoren een NO_x reductie van meer dan 90 % worden gerealiseerd tegen kosten van minder dan 0,75 € per vermeden kg NO_x. Vermoedelijk betreft deze referentie zware dieselmotoren (>> 1000 kW), waarvoor de kosteneffectiviteit toeneemt.

Tabel 4 *Motorvermogenklasse opbouw van de actieve Nederlandse binnenvaartvloot*

© AVV/CBS 2002

Motorvermogenklasse binnenvaartvloot	
10 – 100 kW	113
100 – 200 kW	463
200 – 300 kW	614
300 – 400 kW	510
400 – 500 kW	448
500 – 600 kW	448
600 – 700 kW	230
700 – 750 kW	135
750 – 800 kW	67
800 – 900 kW	186
900 – 1000 kW	87
1000 – 1500 kW	250
1500 – 2000 kW	48
2000 kW en meer	37

Tabel 5 *Vergelijking van de belangrijkste NO_x emissiefactoren voor zeeschepen in g/kWh (steady state, motorbelastingen van 70 – 100%). Ter vergelijking is tevens een indicatieve waarde voor de emissie van een grote elektriciteitscentrale gegeven (Whall et al., 2002)*

Mean values	IVL ^a slow speed	Lloyds ^a slow speed	IVL ^b med. speed	Lloyds ^b med. speed	HGV, Euro III Standard	Large Combustion Plant ^c
NO _x (g/kWh)	17.4	18.7	13.6	13.7	5.0	2.6

^a Based on 8 (IVL) and 11 (Lloyds) measurements for NO_x.

^b Based on 25 (IVL) and 28 (Lloyds) measurements for NO_x.

^c Based upon a coal fired power station fitted with FGD.

3.2 NO_x reductiepotentieel door inzet N-arme brandstof

3.2.1 Vorming NO_x

Bij bijna alle industriële processen wordt NO_x gevormd als een bijproduct bij verbranding van fossiele brandstoffen, synthetische brandstoffen of biomassa. NO_x vorming ontstaat zowel bij brandstofinzet in procesfornuizen, ovens e.d. als ook in verbrandingsmotoren (Braswell et al., 2001). Er bestaan drie hoofdroutes waardoor NO_x in verbrandingsprocessen kan ontstaan:

- *Thermische NO_x*, waarbij de NO_x ontstaat doordat bij hoge temperatuur moleculaire stikstof (N₂) en zuurstof (O₂) uit de toegevoegde verbrandingslucht dissociëren en met elkaar reageren tot NO_x.

- *Brandstof NO_x* wordt gevormd wanneer stikstof die chemisch gebonden zit in bepaalde brandstoffen oxideert.

- *Prompt NO_x* vorming betreft het mechanisme waarbij brandstofgebonden stikstof reageert met koolwaterstofradicalen onder brandstofrijke condities. De bijdrage van prompt NO_x aan de totale NO_x uitstoot van een proces is doorgaans beperkt.

In het onderstaande worden de eerste twee mechanismen nader toegelicht.

3.2.2 Thermische NO_x

De mate van thermische NO_x vorming hangt af van verbrandingskarakteristieken, zoals de zuurstof en stikstof concentraties in de vlamzone, de temperatuur en de verblijftijd. Hierbij is de maximale temperatuur de belangrijkste parameter die bepaalt hoeveel thermische NO_x gevormd wordt (Braswell et al., 2001). Boven ongeveer 1500 °C worden substantiële hoeveelheden thermische NO_x gevormd. Thermische NO_x neemt exponentieel toe (ongeveer tot de vierde macht) met de absolute temperatuur (Acton en Taplin, 2002). Procestechnische maatregelen ter vermindering van thermische NO_x uitstoot zijn dan ook doorgaans gericht op verlaging van de temperatuur.

3.2.3 Brandstof NO_x

Het is reeds lang bekend dat stikstof, die gebonden is in organische stoffen in vaste en vloeibare brandstoffen, bijdraagt aan de totale hoeveelheid NO_x die tijdens het verbrandingsproces ontstaat. Brandstof NO_x wordt grofweg lineair met de temperatuur gevormd (Acton en Taplin, 2002). De bijdrage van brandstof NO_x vorming is voornamelijk van belang bij traditionele brandstoffen zoals steenkool, en zware aardoliefracties (stookolie, residual fuel) waarvan de stikstofgehalten uiteenlopen van ongeveer 0.3 tot 2%. Tabel 6 geeft een overzicht van het stikstofgehalte in verschillende brandstoffen. Lichte raffinagefracties van aardolie, zoals benzines en diesel, bevatten zo weinig stikstof dat de bijdrage van brandstof NO_x zeer beperkt is. Dit geldt in nog sterkere mate voor gasvormige brandstoffen zoals aardgas en LPG. Naast het stikstofgehalte in de brandstof hangt de vorming van brandstof NO_x sterk af van het zuurstofgehalte: zowel brandstof NO_x als thermische NO_x nemen grofweg kwadratisch toe met de temperatuur (Acton en Taplin, 2002). Het totale verbruik van steenkool in Nederland bedroeg in 1999 ongeveer 12 miljard kg, waarvan ongeveer 7,5 miljard kg voor elektriciteitscentrales en 3,2 miljard kg voor Cokesfabrieken (CBS, 2001). Het is overigens opmerkelijk dat het door steenkool opgewekte energieverbruik in Nederland in de periode 1995 – 1999 geleidelijk is gestegen met ongeveer een factor 3 tot ongeveer 400 PJ (CBS, 2001). De binnenlandse levering van (zware) stookolie (≥ 15 cSt) is zeer beperkt en daalde van 97 miljoen kg in 1997 tot 84 miljoen kg in 1999 (CBS, 2001). Deze hoeveelheid valt in het niet bij stookolie afzet voor de zeescheepvaart. Het wereldwijd maritiem verbruik van zware stookolie (bunkerfuels) bedraagt 120 miljard kg, waarvan 8-12 miljard kg wordt overgeslagen (en afgezet) in Rotterdam (De Keyzer, 2000). Verreweg het grootste deel van deze hoeveelheid brandstof wordt buiten Nederlands grondgebied verstoekt.

Tabel 6 *Stikstofgehalte in diverse typen kolen en olie*

Brandstof	Type	N % (gewicht)	(referentie)
Steenkool	Bitumeuze kool	1,58	NIST 1992
	Gas Coal	1,44	IRMM 2001
	Coking Coal	1,78	IRMM 2001
	Steam Coal	1,64	IRMM 2001
Oliën	Paraffin	0.02	MBH, 1994
	Residual	0.33	MBH, 1994
	Kerosine	0.34 (?)*	MBH, 1994
	No. 2 Diesel	0.14	MBH, 1994
	crude oil A	0,0067	MBH, 1994
	crude oil B	0,075	MBH, 1994
	crude oil C	0,164	MBH, 1994

*) Ofschoon de MBH, *Reference Materials Catalog 1994/1995* hier voor kerosine een stikstofgehalte van 0,34% geeft, valt kerosine (kookpunt van 150 - 300 C) onder de lichte oliën waarvan bekend is dat het stikstofgehalte veel lager is dan de enkele tienden van procenten die karakteristiek zijn voor de zware oliefracties (Klooster, 2002). Het is daarom niet aannemelijk dat fuel NO_x een belangrijke rol speelt bij vliegtuig emissies.

3.2.4 Reductiepotentieel Brandstof NO_x

Het voorspellen van de hoeveelheid gevormde brandstof NO_x in thermische processen is zeer gecompliceerd, omdat de NO_x vorming wordt beïnvloed door zeer veel factoren (Acton en Taplin, 2002). Desalniettemin zijn er diverse empirische modellen geformuleerd die een indicatie geven van de NO_x emissie van verschillende verbrandingsprocessen, waarbij ook rekening wordt gehouden met vorming van brandstof NO_x (o.a. IFRF, 1987; O'Connor, 1996). Het is echter lastig dergelijke formules te gebruiken als algemene vuistregels ter kwantificering van brandstof NO_x emissies, gegeven de vele specifieke procesfactoren die de NO_x vorming beïnvloeden. De in het voorgaande beschreven kwadratische relatie tussen zuurstof en (brandstof) NO_x vorming, laat zien dat de technische uitvoering van het conversie proces in belangrijke mate de uiteindelijke NO_x uitstoot bepaald. Inzet van technisch geavanceerde verbrandingsconcepten zoals 'staged combustion', waarbij de brandstof wordt verbrand in vlamschillen met verschillende temperatuur en zuurstofgehalten, kan leiden tot een aanzienlijke vermindering van de NO_x vorming. Daarnaast bestaan er natuurlijk diverse (end of pipe) DeNO_x concepten, om de reeds gevormde NO_x te reduceren (SCR etc., zie ook hoofdstuk scheepsemissies).

Voorzichtig samenvattend zou als werkhypothese kunnen worden verondersteld dat de bijdrage van brandstof NO_x op de totale NO_x emissie uiteenloopt van verwaarloosbaar voor gasvormige brandstoffen en lichte aardoliefracties, via enkele procenten voor zware aardoliefracties, tot mogelijk 10 a 20% voor steenkool. Het grootste brandstof NO_x reductiepotentieel lijkt dus te liggen bij vervanging van (poeder)koolcentrales voor elektriciteitsopwekking door energieopwekking uit andere brandstoffen (aardgas) en/of processen (duurzame energie).

Evaluatie van het Nederlandse brandstof-NO_x emissiereductiepotentieel is arbitrair omdat het deels afhankelijk is van de randvoorwaarden die worden aangenomen. Zoals in paragraaf 3.2.3 staat beschreven is de Nederlandse brandstof NO_x vorming voornamelijk toe te schrijven aan de inzet van ongeveer 12 miljard kg kolen (situatie 1999, CBS, 2001). Het kolengebruik van de elektriciteitscentrales bedraagt hiervan ongeveer 7,5 miljard kg, resulterend in een NO_x emissie van ongeveer 16 miljoen kg NO_x. Aannemende dat ongeveer 15% van de totale NO_x emissie bij kolen uit brandstof-NO_x bestaat, bedraagt de uitgestoten hoeveelheid NO_x die te wijten is aan stikstof in de kolen ongeveer 2,4 miljoen kg. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de werkelijke situatie gecompliceerder is, omdat een onbekend - maar vermoedelijk beperkt - deel

van de Nederlandse kolencentrales is voorzien van DeNO_x installaties (Ten Brink, 2002). Als dezelfde aannames worden toegepast voor kolengebruik anders dan voor elektriciteitsopwekking (ca. 4,5 miljard kg) geldt hiervoor een additioneel brandstof-NO_x emissiereductiepotentieel van ca. 1.4 miljoen kg NO_x.

3.3 Effecten van CO₂ sequestratie op NO_x uitstoot energieopwekking-processen

3.3.1 Inleiding

Veel aandacht voor duurzame energie is gekoppeld aan de emissie van CO₂ en andere broeikasgassen en de hieraan gekoppelde mondiale klimaatsveranderingen. Daarnaast wordt er steeds meer aandacht besteed aan de 'klimaatneutrale' of 'klimaatextensieve' inzet van fossiele energiedragers. Het gaat hierbij om het afvangen en vastleggen van CO₂ die bij energieopwekking uit fossiele brandstoffen vrijkomt. Dit proces wordt CO₂ sequestratie genoemd. De inzet van elektriciteit en waterstof geproduceerd uit fossiele brandstoffen met gelijktijdige CO₂ afvangst en vastlegging zal, naar verwachting, in de toekomst een belangrijke bijdrage moeten leveren aan de CO₂-emissiereductie. End-of -pipe technieken voor afvangst van CO₂ zijn beschikbaar, maar vooralsnog te duur en hebben een hoog energieverbruik, waardoor het primaire energieverbruik stijgt met 16 tot 30%. De kosten per ton vermeden CO₂ worden thans geschat op 40 tot 70 euro (Davidson et al, 2001; IEA/OECD, 2000). Door gerichte technologieontwikkeling en keten optimalisaties kunnen deze kosten aanzienlijk worden verlaagd. De technieken voor afvangst van CO₂ zijn beschikbaar, maar hebben hoge investeringskosten. Daarnaast is het energieverbruik zeer hoog, waardoor de productie van klimaatneutrale energiedragers uit fossiele brandstoffen tot extra inzet van fossiele brandstoffen zal leiden. Door de afvangst van CO₂ stijgt het primaire energieverbruik, bij bijvoorbeeld de productie van "klimaatneutrale" elektriciteit, met 16 tot 40%. Mede hierdoor bedragen de kosten per ton afgevangen CO₂ alleen al 40 tot 50 €. Afvangst is dus verreweg de duurste stap in de keten.

Verder is het belangrijk om te realiseren dat de kosten van CO₂ afvangst zullen dalen naarmate de schaalgrootte toeneemt en verdere technische verbeteringen zullen worden doorgevoerd. Ter vergelijking: de kosten voor ontzwaveling van rookgassen zijn met 75% gedaald sinds de eerste introductie van dit proces op grote schaal rond 1970.

Een belangrijk deel van deze kostenverlaging kan gerealiseerd worden door de ontwikkeling van nieuwe CO₂ afvangst technologieën met een laag energieverbruik en vergaande integratie van deze front-end afvangstechnologie in het conversieproces. Hierdoor zullen ook de overige emissies (NO_x, SO₂, VOS en fijn stof) voor een groot deel worden teruggedrongen. Tenslotte kunnen de kosten nog verder worden verlaagd door de afgevangen CO₂ zo in te zetten dat het een toegevoegde waarde krijgt. Er is weinig bekend over de invloed die de verschillende vormen van CO₂ sequestratie hebben op de emissies van NO_x.

3.3.2 CO₂ afvangst technieken

Het is belangrijk te realiseren dat de CO₂ concentratie in rookgassen laag is: uiteenlopend van circa 4% voor aardgasgestookte centrales tot 9-14% voor de diverse vormen van kolenstook. Om energie en opslagcapaciteit te besparen wordt CO₂ sequestratie nooit direct op 'gewone' rookgassen toegepast. De CO₂ wordt selectief afgescheiden van het rookgas, of de procesvoering bij energieopwekking wordt zodanig aangepast dat een zeer CO₂ rijk rookgas wordt gevormd. De drie belangrijkste CO₂ sequestratie technieken zijn:

- 1) Post-combustion
- 2) Pre combustion
- 3) Oxy Fuel Route

Ad 1) Post-combustion

Bij deze techniek wordt de CO₂ afgevangen en geconcentreerd uit de CO₂ arme rookgasstroom door middel van: adsorptie (amine oplosmiddel), cryogene technieken, of membraanscheiding. Hoewel CO₂ sequestratie momenteel nog maar op beperkte schaal plaats vindt is adsorptie met amine oplossingen de meest toegepaste techniek. Meestal wordt gebruik gemaakt van MEA: MonoEthanolAmine HO-CH₂-CH₂-NH₂. Voor CO₂ verwijdering met amine scrubbing, worden NO_x en SO_x er uit gewassen omdat deze componenten een zeer schadelijke invloed hebben op de kwaliteit van het amine oplosmiddel. Deze techniek leidt dus direct tot NO_x reductie!

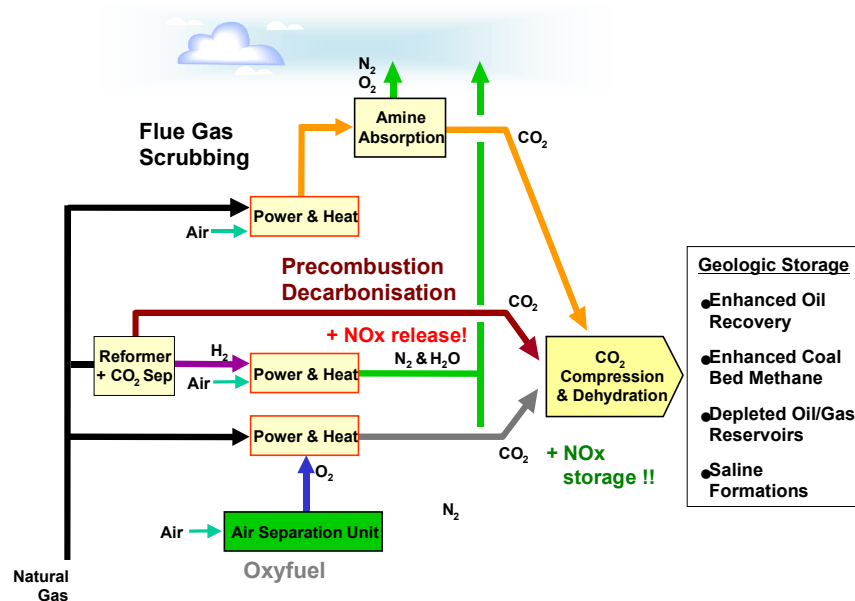
Ad 2) Pre-combustion

Bij deze techniek wordt de brandstof eerst vergast (al dan niet met stoom) zodat syngas ontstaat: een mengsel van CO (koolmonoxide) en Waterstof. De CO wordt vervolgens in een katalytische shift reactor omgezet in CO₂ en nog meer waterstof. De CO₂ kan vervolgens relatief eenvoudig worden afgescheiden en de waterstof kan worden ingezet voor energieopwekking in bv een gasturbine. De (thermische) NO_x die bij verbranding van de waterstof in de gasturbine ontstaat wordt dus niet afgevangen met dit CO₂ sequestratieproces.

Ad 3) Oxy Fuel Route

Bij dit proces wordt de brandstof met zuivere zuurstof verbrand. Doordat er geen stikstof bij de verbranding komt (het hoofdbestanddeel van lucht!) ontstaat er een rookgas met een zeer hoog CO₂ gehalte dat geen nadere CO₂ concentratie behoeft alvorens opgeslagen te worden. Omdat er geen stikstofgas bij de verbranding aanwezig is zal dus ook nauwelijks NO_x ontstaan tijdens het verbrandingsproces!

In figuur 1 zijn de verschillende CO₂ sequestratie routes en de effecten op de NO_x reductie schematisch weergegeven.



Figuur 2 *Verskillende CO₂ sequestratie routes en het effect op de NO_x uitstoot*

Energie-efficiënte van de verschillende CO₂ afvangst technieken:

Op dit moment zijn ons beperkte kwantitatieve gegevens bekend over de energie-efficiënte van de drie verschillende CO₂ afvangst technieken. Duidelijk is dat de 'Oxy Fuel Route' verreweg het minst energie-efficiënt is, vanwege de grote energievraag van het zuurstof productieproces. Waarschijnlijk is de 'pre-combustion' energetisch het aantrekkelijkst vanwege de katalytische technologie. Echter, bij deze laatste techniek wordt de (thermische) NO_x pas na het CO₂ sequestratieproces gevormd in de (waterstofgestookte) gasturbine en dus niet afgevangen.

3.3.3 Kosten NO_x reductie door CO₂ sequestratie.

Uitgangspunten:

CBS 2002:

E-sector NL:	NO _x uitstoot 1999:	41 miljoen kg
	CO ₂ uitstoot 1999:	45 miljard kg

Afhankelijk van de gekozen techniek en de brandstof (gas/kolen) bedragen de kosten ter vermindering van CO₂ emissies, dus zeg maar de totale CO₂ sequestratiekosten, ongeveer 55 Euro per ton, range: 40 - 70 Euro per ton (Davidson et al, 2001; IEA/OECD, 2000). Deze kosten betreffen de meest waarschijnlijk geachte optie, namelijk de 'post-combustion route' met een amine-oplossing als CO₂ sleepmiddel. Hierbij wordt het rookgas ontdaan van NO_x (en SO₂!), en vooral bij kolengestookte installaties vermoedelijk ook van roet, alvorens de CO₂ eruit wordt gehaald. Omdat voor deze techniek de NO_x dus sowieso wordt verwijderd rijst de vraag welk deel van de kosten op het conto van NO_x verwijdering komt.

Hierbij kunnen verschillende benaderingen worden gekozen:

I) Alle kosten worden toegerekend aan de CO₂ sequestratie. De NO_x verwijdering kost dus niets extra.

II) Alle CO₂ sequestratiekosten worden aan de NO_x verwijdering toegeschreven. Het totale reductiepotentieel NO_x voor alle gas- en kolengestookte centrales bedraagt 41 miljoen kg. Dit is dus een neveneffect voor de sequestratie van 45 miljard kg CO₂. Bij de bovengenoemde prijs van ca. 55 Euro per ton CO₂ kost dit 2,475 miljard Euro per jaar. Als CO₂ sequestratie alleen als 'dure DeNO_x techniek' wordt gezien, en alle kosten aan de NO_x reductie worden toegerekend, komt dit neer op een prijs van 60,4 Euro per kg NO_x. Deze kosten liggen ruim een orde van grootte hoger dan de range van 0,3 – 4,5 € per kg NO_x zoals geprojecteerd op basis van de RLB projecten bij bedrijven in de periode 1996 – 2001 (Buring, 2002).

III) De kosten worden, zoals onder optie II toegeschreven aan de DeNO_x, maar aan de vermeden CO₂ emissies wordt een credit verbonden die van de DeNO_x kosten kunnen worden afgetrokken. In deze optie hangt de uiteindelijke kosteneffectiviteit van de DeNO_x dus sterk af van de prijs die aan de verwijderde CO₂ wordt verbonden. Uitgaande van een marktprijs van 50 Euro per ton vermeden CO₂ resulteert dit in een kosteneffectiviteit van de DeNO_x van 5,5 Euro per kg (bij de eerder aangenomen CO₂ sequestratie kostprijs van 55 Euro per ton).

4. SPELEN VAN NITROGENIUS IN DE PRAKTIJK

NitroGenius is in de loop der tijd op verschillende plaatsen gespeeld:

22-25 Oktober 2001 Potomac, VS

1 februari 2002 RIVM, Bilthoven

1/2 maart ECN intern, Petten

6 maart VROM intern, Den Haag

18 maart VROM directie KVI, BWL, projectgroep Verzuring, Den Haag

9 oktober met daadwerkelijke doelgroepen, Utrecht

30 oktober 13^{de} VIAS Symposium, Wageningen

25/26 november BodemBreed, Lunteren

De spelervaringen opgedaan in Potomac werden gepubliceerd in een Arena artikel (Erisman et al., 2002) en in het internationale tijdschrift Ambio (Erisman et al., 2002). Het doel van deze spelen was het presenteren van het eindresultaat en het meer inhoud geven aan de 2^e stikstofconferentie. Aangezien het spel een van de speerpunten van de conferentie was kan gesproken worden van een succes. Dit werd bevestigd door een uitgebreid artikel in het Amerikaanse Grist Magazine waarin zeer positief over het spel werd geschreven (zie <http://www.serc.nl/play2learn/products/nitrogenius/frameset.htm>). Ook de spelen te VROM en RIVM waren erop gericht om de potentie van NitroGenius aan te tonen. Vanuit deze sessies werden suggesties voor verbetering gegeven die zijn verwerkt, voorzover redelijkerwijs uit te voeren (zie hoofdstuk 2).

De spelsessie te VROM waarbij de projectgroep verzuring en de directies KVI en BWL speelden had een meer serieus karakter en er werd ook een analyse gemaakt door VROM (Kaj Sanders) van de resultaten. Hierbij werden de spelstrategie en de gevolgen van de volgorde van maatregelen op de einduitkomst geanalyseerd. Op 9 oktober werd een bijeenkomst georganiseerd met vier stakeholders om NitroGenius aan een praktijktoets te onderwerpen. Het doel van deze dag was om te bezien of de spelvorm als decision support system een bijdrage kan leveren aan de ontwikkeling van een integraal kosteneffectief beleid voor de stikstofproblematiek. Het betrof een hele dag, waarbij in de ochtend de nadruk gelegd werd op de achtergronden bij het spel en de kennismaking met de (on)mogelijkheden. Aan het einde van de ochtend, tijdens de lunch werd het spel van de ochtend geëvalueerd en besproken. Na de lunch volgde de uiteindelijke sessie waarbij de deelnemers onderhandelden over de inzet van maatregelen om de stikstofproblematiek in Nederland op te lossen tegen zo laag mogelijke kosten en zo min mogelijke sociale gevolgen, met zo veel mogelijk realisatie van de doelstellingen van de doelgroepen die eenieder vertegenwoordigde. Hiertoe hebben de deelnemers eerst hun eigen doelstellingen geformuleerd. Vervolgens werd het spel gestart onder begeleiding van een facilitator. De dag werd voorbereid en geëvalueerd door de spelmakers en vertegenwoordigers van het RIVM. Een uitgebreid verslag van de dag is te vinden in bijlage A. Hier zal worden volstaan met de conclusies van de speldag.

Het doel van deze dag was de toepassing van het spel in de praktijk te toetsen. De deelnemers waren eenduidig in het oordeel dat het spel heeft bijgedragen aan de inzicht in de (complexe) stikstofproblematiek. Verder heeft het een functie in de start en voeding van de discussie over oplossingen. Hierbij draagt het bij aan de communicatie en de draagvlak voor maatregelen. In de huidige vorm is het echter niet toepasbaar voor de besluitvorming. Door een modelfout bestond er twijfel over de wetenschappelijke correctheid (inmiddels is de fout opgelost).

De belangrijkste conclusies die uit deze spelsessie getrokken kunnen worden betreffen:

- Het spel werkt katalyserend voor de discussie en verhoogt het inzicht

- Het spel draagt bij aan de communicatie en kan een positieve invloed uitoefenen bij het creëren van draagvlak, ook voor minder populaire maatregelen

De belangrijkste aanbevelingen betreffen:

- Zorg dat het spel goed werkt en dat het wetenschappelijk goed onderbouwd en gevalideerd is (inmiddels gebeurt)
- Zorg voor meer maatregelen, waardoor de flexibiliteit wordt vergroot
- Zorg dat het spel up-to-date blijft
- Laat het systeem ook de kosteneffectiviteit aangeven van de gemaakte keuzen
- Zorg dat voor een spelsessie altijd een uitgebreid geteste versie wordt ingezet. Liever een versie met minder maatregelen maar wel correcte resultaten dan meer maatregelen maar geen correcte resultaten

Gebruik het spel om oplossingsrichtingen te bepalen, laat deze daarna specifiek doorrekenen door het RIVM op (kosten)effectiviteit.

5. AANBEVELING VOOR VERVOLG

De praktijktoetsen van NitroGenius hebben aangetoond dat de kracht van de toepassing ligt bij:

- unieke dataset en modelsysteem om snel N-stromen te modelleren op plot-schaal binnen Nederland
- vergroten begrip complexiteit stikstofproblematiek
- toepassing voor educatieve doeleinden
- stimuleren en faciliteren van discussies over beleid en oplossingsrichtingen.

Het spel wordt minder goed geacht als basis voor besluitvorming, de opties zouden dan beter en nauwkeuriger doorgerekend moeten worden. Het NDSS zou hier wel een rol in kunnen spelen, maar dat is tot op heden nog niet getoetst.

Vanuit dit perspectief kan gedacht worden aan de volgende aanbevelingen voor vervolg activiteiten:

Organisatie van spelsessies met stakeholders op verschillende niveaus en met verschillende achtergronden. Dit draagt vooral bij aan het vergroten van het inzicht in de stikstofproblematiek en mogelijk aan het vergroten van het draagvlak voor beleid. Gedacht kan worden aan de volgende sessies:

- Management niveau binnen VROM
- Tussen VROM en LNV
- Meerdere ministeries, op verschillend niveau
- Tussen VROM en NGO's, belangenverenigingen, industrieën, etc.
- Wetenschapsjournalisten
- Wetenschappers vanuit verschillende disciplines.

Verbetering van het spel om meer toepasbaar te maken voor beleidsondersteunend instrument. Het gaat hierbij voornamelijk om de aanbevelingen die voortkomen uit de spelsessie op 9 oktober met de 4 stakeholders. De belangrijkste verbeteringen zijn dan:

- Geen ronde wissel, overzicht van alle maatregelen die de speler ter beschikking staan
- Goede informatie over het effect en de kosten van de maatregelen: doorrekenen van maatregel bij de selectie en terugdraaien berekening bij de-selectie
- Mogelijkheid tot online invoeren van maatregelen
- Regelmatig onderhoud systeem.
- Zorg voor het voorkomen van afwenteling op het buitenland, bijvoorbeeld door het invoeren van een vijfde 'virtuele' speler, die de consequenties van (mogelijke) afwenteling aangeeft
- Verbeter de parameterisatie van de 'geluksindicator'.

Uitbreiden van het spel richting meerdere stoffen en milieuproblemen. Het is relatief eenvoudig om het spel uit te breiden met opties voor fosfor en geur, aangezien het dezelfde bronnen en effecten relaties betreft. Het is in principe mogelijke de kringlopen van andere stoffen (C, S) en verontreinigingen (metalen, PAK, PCB, etc.) mee te nemen, ook al betekend dit een forse uitbreiding van de modellering en de toetsing van de modellen. Naarmate de schaal van de problemen groter wordt (grootschalige luchtverontreiniging, klimaatverandering, biodiversiteit), neemt ook de invloedssfeer vanuit Nederland af en de complexiteit van de modellen toe. Daarnaast neemt ook het aantal stakeholders en belangen toe.

Internationale context. Het instrument is ook geschikt te maken om internationale onderhandelingen te faciliteren en de positie van Nederland beter duidelijk te maken en te verbeteren. Hiervoor is een aparte ontwikkeling nodig en moet goed bepaald worden of de focus juist is. De rol van spelen in het algemeen kan een nuttige rol vervullen bij het faciliteren van overleggen die complexe situaties met verschillende uiteenlopende belangen adresseren.

Tot slot is het zinvol om een uitbreiding te geven aan de spel analyser. Nu wordt handmatig het spel geëvalueerd, hier is een hoop winst te behalen. Het zou ook nuttig zijn om meer inzicht in de statistieken te hebben en in de situatie die ontstaan is na het nemen van maatregelen. Dit vergt een boekhouding in het spel en een statistische analyse achteraf.

6. GEREALISEERDE KENNISOVERDRACHT

Cowling, E., Galloway, J., Furiness, C., Erisman, J.W. (2002) Optimizing nitrogen management in food and energy production and environmental protection. Report from the Second International Nitrogen Conference: <http://esa.org/n2001> .

Erisman, J.W., Hensen, A., de Vries, W., Kros, H., van de Wal, T., de Winter, W., Wien, J.E., van Elswijk, M. en Maat, M. (2002) The nitrogen decision support system: NitroGenius. ECN-C--02-012. ECN, Petten.

Erisman, J.W., A. Hensen, W. de Vries, J. Kros, T. van de Wal, W. de Winter, J. E. Wien, M. van Elswijk, M. Maat en K Sanders, 2002. NitroGenius: spelen om te leren en te regeren. Game over, new game?. Arena 4, juni 2002: 54-57.

Erisman, J.W., A. Hensen, W. de Vries, J. Kros, T. van de Wal, W. de Winter, J. E. Wien, M. van Elswijk, M. Maat and K. Sanders, 2002. NitroGenius: A nitrogen decision support system. A game to develop the optimal policy to solve the Dutch nitrogen pollution problem. Ambio 31 (2): 190-196.

Erisman, J.W., A. Hensen, W. de Vries, J. Kros, T. van de Wal, W. de Winter, J. E. Wien, M. van Elswijk and M. Maat, 2002. The nitrogen decision support system: NitroGenius. ECN rapport ECN-C--02-012, 56pp.

Erisman, J.W., A. Hensen, W. de Vries, J. Kros, T. van de Wal, W. de Winter, J. E. Wien, M. van Elswijk, M. Maat en K Sanders, 2002. NitroGenius: spelen om te leren en te regeren. Game over, new game?. VIAS Symposium, 30 oktober 2002 (zie ook de proceedings).

Ness, E. (2002) Dutch Treat: The Netherlands tackles nitrogen pollution with a game GRIST Magazine, May 2002: <http://www.serc.nl/play2learn/products/nitrogenius/frameset.htm>

Sanders, K, J.W. Erisman, C.J. Sliggers en S.M. Smeulders, 2002. Reactief stikstof speelt dubbelrol. Arena 1, Feb 2002: 10-16.

Science, 2002. Stemming the Nitrogen Glut. Science, 30 August (p1451).

www.nitrogenius.com

REFERENTIES

- Acton D. and H. Taplin (2002): *NOx compliance*. Presentatie op de Steam Efficiency Workshop II, 3 april, 2002. (www.ase.org/steamingahead/pdf/NOxworkshop.pdf).
- AVV/CBS (2002): "Nederland en de scheepvaart op de binnenwateren 2001". Gezamenlijke uitgave van de Adviesdienst Verkeer en Vervoer (AVV) min V&W en het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), ISSN 1566-1164.
- Braswell G., Y. Matros, G. Bunimovich (2001): *NO_x in Non-Utility Industries - Part I Air emission origins, best control solutions and monitoring methodology for nitrogen oxides*. Environmental Protection Magazine. Article 1017 (www.environmental-center.com/articles/article1017/article1017.htm).
- Brink, R.M.M. van den (2000): *Verkeer en vervoer in de Milieubalans 2000*, RIVM Bilthoven, rapport 251701 044.
- Brink, R.W. van den; S. Booneveld, J.R. Pels, F.A. de Bruijn, M.M.C. Gent, A.W. Smit (2002): *Combined catalytic removal of NO_x and N₂O in a single reactor from the tail gas of a nitric acid plant, final report*. ECN rapport C--02-009 (March 2002)
- Buring W. (2002): *Rol van stand der Techniek bij uitvoering van het milieubeleid*. Lezing op 4/11/2002 tijdens Infomil symposium over beperking luchtmissies, Ede.
- CBS (2001). Statistisch Jaarboek 2001. Centraal Bureau voor de Statistiek. ISSN 0924-2686.
- Davies, M.E., G. Plant, C. Cosslett, O. Harrop, J.W. Petts (2000): *Study on the economic, legal, environmental and practical implications of a European Union System to reduce ship emissions of SO₂ and Nox*. Final Report for European Commission Contract B4-3040/98/000839/MAR/B1. Appendix 5. Marine Fuels & Ship Emission Controls.
- Dijkstra, W.J. en J.M.W. Dings (1996): *ZEMIS, emissiemodel voor de zeescheepvaart*, CE Centrum voor Energiebesparing en schone Technologie.
- Erisman, J.W., A. Hensen, W. de Vries, J. Kros, T. van de Wal, W. de Winter, J.E. Wien, M. van Elswijk, M. Maat en K Sanders (2002): *NitroGenius: spelen om te leren en te regeren. Game over, new game?*. Arena 4, juni 2002: 54-57.
- Erisman, J.W., A. Hensen, W. de Vries, J. Kros, T. van de Wal, W. de Winter, J.E. Wien, M. van Elswijk, M. Maat and K. Sanders (2002): *NitroGenius: A nitrogen decision support system. A game to develop the optimal policy to solve the Dutch nitrogen pollution problem*. Ambio 31 (2): 190-196.
- Fluent Incorporated (2001): Diverse n NOx info:
<http://sp81.msi.umn.edu:999/fluent/fluent6.0/help/html/ug/node581.htm>.
<http://sp81.msi.umn.edu:999/fluent/fluent6.0/help/html/ug/node523.htm>.
<http://sp81.msi.umn.edu:999/fluent/fluent6.0/help/html/ug/node583.htm>.
<http://sp81.msi.umn.edu:999/fluent/fluent6.0/help/html/ug/node584.htm>.

IFRF, International Flame Research Foundation (1987): *NOx emission in the process industry: Execution and analysis of site measurements and NOx emissions from process heaters and boilers*. Prepared by the staff of the IFRF.

IRMM, Institute for Reference Materials and Measurements (2001): *BCR-Certified Reference Materials*, 2001. <http://www.irmm.jrc.be/mrm.html>:

Krishnan, R. (2001): Diesel & Gas Turbine Worldwide, July-August 2001, 62-63.

Koornneef, M. (2002): Siemens Nederland. Persoonlijke communicatie 2002.

MBH (1994): *Reference Materials Catalog 1994/1995* MBH Analytical LTD, Hertfordshire, U.K.

Nist Standard Reference Catalog 1992-1993. Nist Special Publication 60, U.S. Department of Commerce. pp1- 162.

O'Connor, D. (1996): *Technical issues in fuel selection related to NOx compliance*. EPRI fuel seminar 1996 (www.fuels.bv.com).

Stichting de Noordzee (2002): Brochure Luchtvervuiling zeeschepen, '*Te land, ter zee en dan maar in de lucht: vergeten luchtvervuiling van zeeschepen*' (zie ook ww.noordzee.nl).

Whall C., D. Cooper (IVL), K. Archer, L. Twigger, N. Thurston, D. Ockwell, A. McIntyre, A. Ritchie (2002): '*Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community*', Report for the European Commission DG ENV.C1 by Entec UK Limited.

<http://www.man-trucks.nl>

<http://www.kocat.com>

<http://www.cbrb.nl>

<http://www.dieselnet.com/standards/eu/hd.html>

www.acidrain.org

BIJLAGE A VERSLAG NITROGENIUS SPELSESSIE TE GRAND HOTEL KAREL V, UTRECHT 9 OKTOBER 2002

Aanwezig:

Spelers: Jan Fransen, Natuur & Milieu (JF)
Siemjan Schenk, WLTO (SJ)
Yvon Horsten, VROM (YH)
Wim Zijlstra, VNO-NCW (WZ)

Ondersteuning:

Stan Smeulders, VROM (ST)
Kaj Sanders, VROM (KS)
Aaldrik Bakema, RIVM/NMP (AB)
Jan Willem Erisman, ECN (JE)
Arjen Hensen, ECN (AH)
Wim de Winter, W!SL (WW)
Matthijs Maat, SERC (MM)
Jan Erik Wien, W!SL (JW)
Hans Kros, Alterra (HK)

A.1 Inleiding en programma

Het doel van deze dag was om te bezien of de spelvorm als decision support system een bijdrage kan leveren aan de ontwikkeling van een integraal kosten-effectief beleid voor de stikstofproblematiek. Speciaal voor dit soort toepassingen werd het 'stikstof'-spel NitroGenius ontwikkeld. Het doel van dit beleidsondersteunend instrument is een set van maatregelen te evalueren, waarmee het mogelijk is de Nederlandse stikstofproblematiek op te lossen tegen zo weinig mogelijke sociale en economische gevolgen. Het instrument kan op twee manieren worden gebruikt: als een spel waar vier spelers tegelijk spelen en als een individueel te gebruiken beleidsondersteunend instrument.

Het programma was zag er als volgt uit:

10.00 uur Welkom, koffie en kennismaking

10.15 uur De integrale aspecten van de stikstofproblematiek en achtergronden

11.00 uur Kennismaking met het spel. Oefening!

12.30 uur Lunch

13.30 uur Verkenning van oplossingen van de stikstofproblematiek

15.30 uur Evaluatie

Van tevoren heeft het NitroGenius ontwikkelteam nog druk gesleuteld om de meest recente database, voorzien van een aantal nieuwe maatregelen, op het aldaar opgestelde netwerk te installeren. Hetgeen niet geheel lukte.

A.2 Ochtend programma: oefenen

Na een kennismakingsronde gaf JE een kort overzicht van de stikstofproblematiek en een toelichting bij het spel NitroGenius. Belangrijkste doelstellingen van het spel zijn:

- Behulpzaam bij beleidsondersteuning;
- Verkrijgen/vergroten van inzicht in de stikstofproblematiek;

- Het initiëren van participatie, onderhandeling en communicatie;
- Behulpzaam bij besluitvorming;
- Creëren van draagvlak.

Enkele globale karakteristieken van het spel zijn:

- De stikstofproblematiek is oplosbaar en dat heeft niet erg veel te kosten (tegen inlevering van 0.5% economische groei). De NO_x-problematiek blijkt erg lastig op te lossen.
- Belangrijke drijfveer is spelen als een team, maar ook persoonlijke initiatieven spelen een rol.
- Strategie: eerst geld verdienen, dan maatregelen nemen.

Het resterende deel van de ochtend hebben de deelnemers onder begeleiding vaardigheden opgedaan met NitroGenius. De spelers kregen het spel snel onder de knie en waren al snel benieuwd naar de effecten van het scala van maatregelen die het spel rijk was. Daarentegen kwamen er al vrij snel kritische opmerkingen naar boven (met name van SJ). Zoals, twijfel of er de juiste mechanismen aan bepaalde maatregelen zijn gekoppeld; jammer dat een bepaalde maatregel er niet in zit en helpt het spel nu wel echt bij de discussie of kunnen we net zo goed zonder (of volstaat het NDSS, de DSS (beslissingsondersteunend systeem)-versie van NitroGenius).

Specifieke opmerkingen:

SJ: in de praktijk ontstaat er met name discussie over onzekere aspecten. Zoals: wat is nu de emissiereductie ten gevolge van het verwezenlijken van emissiearme stallen. Het spel daarentegen is zeer expliciet over het effect van emissiearme stallen nl. een reductie van x%. De onzekerheid in de waarde x wordt niet meegenomen.

WZ is benieuwd of verkeer erin zit en hoe het zit met de stuurbaarheid. Verkeer zit erin en in het spel blijkt dit, net als in de praktijk, moeilijk te sturen. WZ merkt verder op dat de maatregel 'Reorganisatie' niets kost, maar wel wat oplevert. Kortom een maatregel die je eigenlijk altijd zal moeten uitvoeren.

Verder is tijdens de oefenronde gesproken over het nut van 'rolwisseling' en tijdslimiet. Afsproken werd: wel 'rolwisseling', geen tijdslimiet per spelronde.

Helaas kwam tijdens de oefenronde ook een zeer vervelende fout aan het licht. Zonder dat er maar enige aanleiding toe was steeg begon in ronde 13 de ammoniakemissie desastreus te stijgen. Tijdens de lunch is met name door AH en WW te vergeefs gezocht naar de fout die in het systeem geslopen is. Door enkele noodaanpassingen in de database hoopte men de ontstane inconsistentie te verhelpen, maar dat mocht helaas niet baten. (Risico van (overhaastige) aanpassingen van de database en niet voldoende ruimte voor het uitgebreid testen).

A.3 Middagprogramma: spelen

Onderleiding van JE als facilitator werden door de spelers de voor hen beoogde (start) rollen ingenomen: Yvon Horsten: overheid; Jan Fransen: consument, Siemjan Schenk: landbouw en Wim Zijlstra: industrie

Er werd gespeeld over 16 ronden, waarbij om de 4 ronden van rol wordt gewisseld. Aan het einde van het spel heeft iedere speler dus alle 4 rollen gespeeld.

Voordat met het spel wordt begonnen, wordt de spelers gevraagd wat ze naast de door het spel opgelegde doelen willen nastreven. De spelers gaven het volgende aan:

YH (overheid):	Goede volksgezondheid
	Vermindering van de milieubelasting
SJ (landbouw):	Continuïteit
	Inkomen

WZ (industrie):	Continuïteit Inkomen
JF (consument):	Speelt kritische consument Hoge biodiversiteit Aantrekkelijke natuur met recreatiemogelijkheden (= minder reden om in het buitenland met vakantie te gaan) Volksgezondheid

Start van het spel: 13:30 uur

Ronde 1:

Tijdens deze ronde volgt nog enige uitleg over de maatregelen en werden er enkele verhelderende vragen gesteld. Er was nauwelijks sprake van discussie en er is geen gebruik gemaakt van de *tomaat*.

Ronde 2 (13:40)

Geen overleg over te nemen maatregelen, wel vragen over de inhoud van maatregelen:

- SJ en WZ: uitgesproken voorstanders van terugdringen van milieudruk door het maken van afspraken in plaats van regulatie via heffingen.
 - SJ: landbouw moet nadruk leggen op management maatregelen. Deze zijn veel kosten effectiever dan technische maatregelen.
 - JW: Stelt de vraag of milieukosten meegenomen moeten worden in de belasting.
 - SJ: Vindt strafheffingen op overschrijding van MINAS-normen wel terecht, maar wijst regulatie via prijsmechanisme af.
 - SJ: Stelt dat, onder verwijzing naar de evaluatie mestbeleid (onderzoek Berg Ambacht), dat er geen relatie is tussen stikstofinput en belasting van het oppervlaktewater.
 - JF: Zijn de criteria in het spel wel voldoende streng om biodiversiteit te garanderen
- Er ontstaat verder een geanimeerde discussie met name tussen JF en SJ. Maar die staat los van het spel. De maatregelen waren immers al genomen.
Er wordt geen tomaat gegooid.

Ronde 3 (13:57)

Geen overleg, geen tomaat. Spelers zijn eensgezind en de resultaten zijn goed. Landbouw en industrie maken winst en de milieudruk neemt af.

Ronde 4 (14:02)

Er vindt nu daadwerkelijk overleg plaats. De overheid (YH) vraagt industrie wat te doen aan de NO_x emissies. Overheid zoek ism consument (JF) naar stimulerende maatregelen (subsidies voor milieumaatregel en onderzoek naar emissiebeperkende maatregelen).

Ronde 5 (14:08)

Wisseling van rollen:

- YH: Industrie
- SJ: Overheid
- WZ: Consument
- JF: Landbouw

Iedereen houdt vast aan de oorspronkelijk gestelde eigen doelen.

Er ontstaat enige discussie over de effectiviteit van landbouwmaatregelen (reductie intensieve veehouderij, mestvergisting en relatie dierlijke mest - kunstmest).

Er ontstaat ook enige frustratie over wat je in de nieuw toegewezen rol aan effectieve maatregelen kunt uitvoeren. YH kan als industrie alleen maar wat aan NO_x doen door het introduceren van verkeersvliegtuigen met lage NO_x emissies.

Tomaat: WZ: schakelt de maatregel 'lage NO_x emitterende verkeersvliegtuigen' uit.

Ronde 6 (14:20)

Deelnemers spreken verbazing uit over hoge stikstofdepositie en hoge nitraat concentraties in het noorden.

Er ontstaat discussie over autoverkeerregulatie via kilometerheffing versus brandstofheffing. Betreft een analoge discussie als reeds eerder is gevoerd over kunstmestregulatie (zie ronde 2). Hierover geen consensus. Met is het wel eens met het principe 'de vervuiler betaalt'. SJ maakt echter een uitzondering voor kunstmest.

Maatregel 'verhoging wegenbelasting' wordt wel genomen, maar herroepen via de *tomaat*.

Ronde 7 (14:41)

Snelle ronde (de tijd dringt). Verbazing over hoge ammoniakemissie (=bij laatste update erin gesloten fout, zie eerder opmerking)

Ronde 8 (14:46)

Maatregel 'lage NO_x emitterende verkeersvliegtuigen' wordt weer via de *tomaat* uitgeschakeld.

Ronde 9 (14:50)

Wisseling van rollen:

- YH: Consument
- SJ: Industrie
- WZ: Landbouw, is bereid tot het nemen van milieumaatregelen
- JF: Overheid

Ronde met veel uitleg en weinig discussie. Maatregel 'verhoging wegenbelasting' wordt wederom herroepen via de *tomaat*.

Ronde 10 (14:57)

Ammoniakemissie explodeert als gevolg van programmeerfout in het systeem. Dit heeft tot gevolg dat deze spelronde niet meer reëel kan worden beoordeeld.

Ronde 11 (15:03)

Industrie wilde vliegen binnen Nederland beperken, maar activeerde juist de maatregel vliegen in Nederland stimuleren.

Industrie wordt geholpen door consument: Vliegen binnen Nederland getroffen door de *tomaat*

Ronde 12 (15:05)

Discussie over varkensflats

Budget landbouw wordt 0. Landouw kan vervolgens geen maatregelen meer nemen.

Ronde 13 (15:10)

Wisseling van rollen:

- YH: Landbouw
- SJ: Consument
- WZ: Overheid
- JF: Industrie

Maatregel 'mestverwerking' wordt door *tomaat* getroffen.

Ronde 14 (15:12)

'Handelen in mestquota' wordt door *tomaat* getroffen (SJ). Volgens SJ stimuleert dit het kunstmestgebruik, waarmee het paard achter de wagen wordt gespannen.

Ronde 15 (15:15)

Over de maatregel ‘Gebruik van kippenmest als brandstof’ wordt gediscussieerd en overleefd de *tomaat*

Ronde 16 (15:16)

De maatregel ‘Aantrekken van werknemers door industrie’ wordt getroffen door de *tomaat*.

Einde spel (15:18)

Omdat aan de uitslag van deze spelsessie geen waarde kan worden toegedicht, zal het NitroGenius team het spel met de tijdens deze sessie genomen maatregelen (staan in log-file) nog een keer doorrekenen. Uiteraard nadat de fout in NitroGenius is hersteld.

A.4 Evaluatie

De algemene indruk van de spelers was als volgt:

YH:

- Spel vergroot het inzicht en is leerzaam;
- Er valt te weinig te manipuleren;
- Het spel moet nog interactiever. Het zou goed zijn als voordat je als team besluit een serie van maatregelen door te voeren zou exact moet weten wat het effect daarvan is. Nu wordt er nog te veel gediscussieerd over de klassieke tegengestelde belangen tussen de sectoren.

JF:

- Heeft nog meer inzicht gekregen in de complexe materie van de stikstofproblematiek, vooral diverse afwentelingsaspecten gaven nieuwe inzichten;
- Aantal maatregelen is te beperkt, daardoor staat het nog te ver van de praktijk. Hij noemt met name maatregelen op het gebied van biologische landbouw;
- Het spel geeft niet direct inzichten in de te verwachten effecten van maatregelen. Daardoor is het te weinig sturend bij de discussie over de te nemen maatregelen (zie opm. van YH).

SJ:

- Het spel is goed voor het krijgen van een breed beeld van de stikstofproblematiek, en is behulpzaam bij het voeren van overleg tussen de sectoren;
- Heeft twijfels over de getoonde effecten van maatregelen (los van de fout rondom de ammoniakemissie);
- Prima instrument om de discussie te ondersteunen, echter niet betrouwbaar genoeg voor beleidsevaluatie.

WZ:

- Vindt het positief dat in het spel de maatregelen direct gekoppeld zijn met zowel de milieueffecten als de kosten en baten;
- Leerzaam en kan een katalyserende werking hebben voor de politieke discussie
- Heeft de indruk dat de maatregelen en effecten er in grote lijnen er wel goed inzitten, maar stelt wel vraagtekens bij een aantal specifieke maatregelen;
- Te weinig maatregelen, met name maatregelen die een positief effect hebben. Daarnaast bevat het spel ook een aantal irrelevante maatregelen;
- Rolwisseling is stimulerend. Het inleven in de andere rollen wordt wel als lastig ervaren.

AB:

- Gedurende de eerste 7 ronden wordt er intensief en aandachtig gespeeld, daarna neemt de betrokkenheid duidelijk af.
- Confrontatie met andermans rol is soms frustrerend omdat je als probleemveroorzaker eigenlijk niet zoveel kan doen. Terwijl de wil wel aanwezig is.

Verdere discussie:

SJ:

- Stelt voor om meer maatregelen in te voeren en de lastige/pijlijke maatregelen te bewaren voor de latere ronden.

YH:

- Rolwisseling zorgt dat je de rode draad van het uit te voeren beleid kwijt raakt. Het nadeel van het achterwege laten van rolwisseling is wel dat het inzicht vergrotende effect geringer is;
- Validatie en betrouwbaarheid zijn belangrijk, zeker als je het spel wilt inzetten voor het overleg met stake-holders. YH ziet hiervoor wel mogelijkheden.

SJ:

- Wil graag per keuze inzicht hebben in de kosteneffectiviteit;
- Spel is prima als communicatiemiddel, maar niet geschikt voor besluitvorming. Verbindt er geen harde conclusies aan;

JF:

- Mist de aanwezigheid van tussendoelen. Dit kan stimulerend werken;
- Niet alle ammoniakmaatregelen zijn te regionaliseren;
- Voelt zich als consument gefrustreerd, omdat je niet zoveel kan doen;
- Voelt zich in een spagaat omdat de consument niet gelijk is aan de milieubeweging;
- Stelt voor om er ook negatieve maatregelen in te stoppen;
- Validatie en betrouwbaarheid zijn belangrijk

WZ:

- Maatregelen specifiek maken, uitbreiden en inzicht de kosten wanneer een maatregel slecht gedeeltelijk (regionaal of per landbouwsector) wordt ingevoerd;
- Ziet de volgende drie stadia op weg naar de besluitvorming:
 1. zet het spel in voor het verkennen van maatregelen en maak hieruit een selectie
 2. Reken de geselecteerde maatregelen door met de gestandaardiseerde MNP-modellen
 3. Bediscussieer de resultaten met de doelgroepen
- Voor een dergelijke inzet is validatie van essentieel belang;

SA:

- Je zou je beter op het spel kunnen voorbereiden door eerst in één rol het spel helemaal uit te spelen.

A.5 Conclusies en aanbevelingen

De belangrijkste conclusies die uit deze spelsessie getrokken kunnen worden betreffen:

- Het spel werkt katalyserend voor de discussie en verhoogt het inzicht
- Het spel draagt bij aan de communicatie en kan een positieve invloed uitoefenen bij het creëren van draagvlak, ook voor minder populaire maatregelen

De belangrijkste aanbevelingen betreffen:

- Zorg dat het spel goed werkt en dat het wetenschappelijk goed onderbouwd en gevalideerd is
- Zorg voor meer maatregelen, waardoor de flexibiliteit wordt vergroot
- Zorg dat het spel up-to-date blijft
- Laat het systeem ook de kosteneffectiviteit aan van de gemaakte keuzen aangeeft
- Zorg dat voor een spelsessie altijd een uitgebreid geteste versie wordt ingezet. Liever een versie met minder maatregelen maar wel correcte resultaten dan meer maatregelen maar geen correcte resultaten

Afgesproken is dat er gewerkt gaat worden aan een publicatie in tijdschrift Arena met daarin de resultaten van deze spelsessie. WZ toont enige reserve. Het stuk zal eerste ter beoordeling rondgestuurd worden en afhankelijk van de reacties zal een definitief besluit worden genomen over de wijze waarop het gepubliceerd zal worden.