

ALLGEMEINE ASPEKTE

Der Kommunalverband Lille (CUDL) ist eine öffentlich-rechtliche Anstalt zur interkommunalen Zusammenarbeit, die aus 87 Kommunen in der Region Nord-Pas-de-Calais besteht. In diesem Ballungsraum ist der Kommunalverband insbesondere zuständig für Dienstleistungen und Infrastruktur im Bereich Städtebau, Erschließungs- und Entsorgungsanlagen, Parkraumbewirtschaftung, Verkehrspolitik und ÖPNV. Sie hat etwas mehr als eine Million Einwohner und eine besondere polyzentrische Struktur, die um vier große Städte kreist: Lille, Roubaix und Tourcoing und Villeneuve d'Ascq.



KONTEXT DER VERKEHRSPOLITIK

Die besondere Stadtstruktur führt zu einem enormen Anstieg der Mobilität in der Metropole Lille. Mehr als vier Millionen Wege werden täglich zurückgelegt, darunter 90% im Verwaltungsbezirk (arrondissement) selbst. Die künftige Verkehrspolitik der Metropole wird sich an den Zielen des vor kurzem überarbeiteten Stadtentwicklungsplans orientieren, der folgende Punkte hervorhebt: das Recht auf Mobilität für alle sowie die freie Wahl der Verkehrsmittel im Rahmen der Kosten, die von der Körperschaft zu tragen sind; die Notwendigkeit eines Verkehrsflußmanagements auf der Grundlage kohärenter Stadtplanung; die Suche nach einem globalen Ansatz, der alle Verkehrsarten umfaßt und dabei die Besonderheiten jeder einzelnen berücksichtigt.

Die Förderung des ÖPNVs geht mit folgenden Strategien einher:

- Ausbau der bestehenden Hauptverkehrsachsen (Schiene-, U-Bahn- und Strassenbahnnetz),
- Stadtentwicklung in vorzugsweise von diesen Hauptverkehrsachsen erschlossenen Gebieten.

Darüber hinaus wurde im Gesetz zur Luftreinhaltung und rationellen Energieverwendung vom 30. Dezember 1996 die Aufstellung eines städtischen Verkehrsentwicklungsplans für Ballungsräume mit mehr als 100.000 Einwohnern zwingend vorgeschrieben und damit dem Kommunalverband eine neue Zuständigkeit übertragen.

Der Stadtentwicklungsplan legt die grundlegenden Ziele für die Stadtentwicklung der Metropole fest und dabei einen Schwerpunkt auf die Optimierung der bestehenden Verkehrsnetze.

Mit dem Verkehrsentwicklungsplan – dessen Aufstellung am 14. März 1997 vom Rat des Kommunalverbandes beschlossen worden war – hat sich der Kommunalverband insbesondere dem Ziel verschrieben, den Einsatz schadstoffarmer Energieträger für den motorisierten Individualverkehr sowie den ÖPNV und Gütertransport zu fördern.

ERFAHRUNGEN IN LILLE

Der Kommunalverband ist für das städtische ÖPNV-Netz und auch für mehrere Kläranlagen zuständig. In einigen dieser Anlagen wird bei der Klärschlammaufbereitung methanhaltiges Gas gewonnen.

Ende 1990 hat der Kommunalverband ein europaweit einzigartiges Projekt initiiert, um eine neue Methode zur Gewinnung von umweltfreundlichem Treibstoff zu fördern, auf die Umweltprobleme der Städte zu reagieren und eine heimische erneuerbare Energiequelle zu nutzen. Im Rahmen dieses Pilotprojektes wurden mehrere städtische Busse mit Biogas betrieben, das in einer der Kläranlagen in Marquette, am Stadtrand von Lille, gewonnen wird.

Der Gedanke, mit Biogas betriebene Busse in den Fuhrpark zu integrieren, entstand auf Vorschlag der Organisation SOLAGRO hin, die sich auf diese Technologie spezialisiert hat. Während der Pilotphase war die SOLAGRO für die Projektüberwachung unter technischen, wirtschaftlichen, energetischen und ökologischen Gesichtspunkten sowie für die Biogasgewinnung in Marquette verantwortlich.

Das Projekt wurde mit finanzieller Unterstützung der Europäischen Union (GD XVII – Programm Joule-Thermie), des Regionalrats Nord-Pas-de-Calais und der französischen nationalen Enregeagentur ADEME durchgeführt.

Zunächst hatte es folgende Ziele:

- Bau einer Pilotanlage zur Biogasgewinnung in der Kläranlage von Marquette,
- Umrüstung eines herkömmlichen Diesel-Busses zu einem mit Biogas betriebenen Bus, wobei dieses Pilotprojekt die kommerzielle Nutzung eines Fuhrparks von biogasbetriebenen Bussen zum Ziel hat.

Bis 1990 wurden 80% der täglich produzierten 15.000 m³ Roh-Biogas (entsprechend 6.000 Litern Brennstoff pro Tag) genutzt, um die Aufbereitungsanlage im geschlossenen Kreislauf mit Strom und Wärme zu versorgen. Der Überschuss wurde abgefackelt. Um diese Vergeudung von 3000 m³ Gas künftig zu vermeiden, hat sich der Kommunalverband für dessen Aufbereitung durch Reinigung zu täglich 1.200 m³ Biogastreibstoff entschieden.

Die Anlage für die Biogasreinigung wurde von der Firma Flotech geplant, im April 1995 geliefert und im Juni 1995 in Betrieb genommen, wobei an der Produktionsanlage auch eine Zapfsäule installiert wurde. Die Reinigungsanlage wurde unter dem Gesichtspunkt maximalen Umweltschutzes konzipiert: Die Gasreinigungsmethode erfordert außer Wasser kein anderes Reagenz.

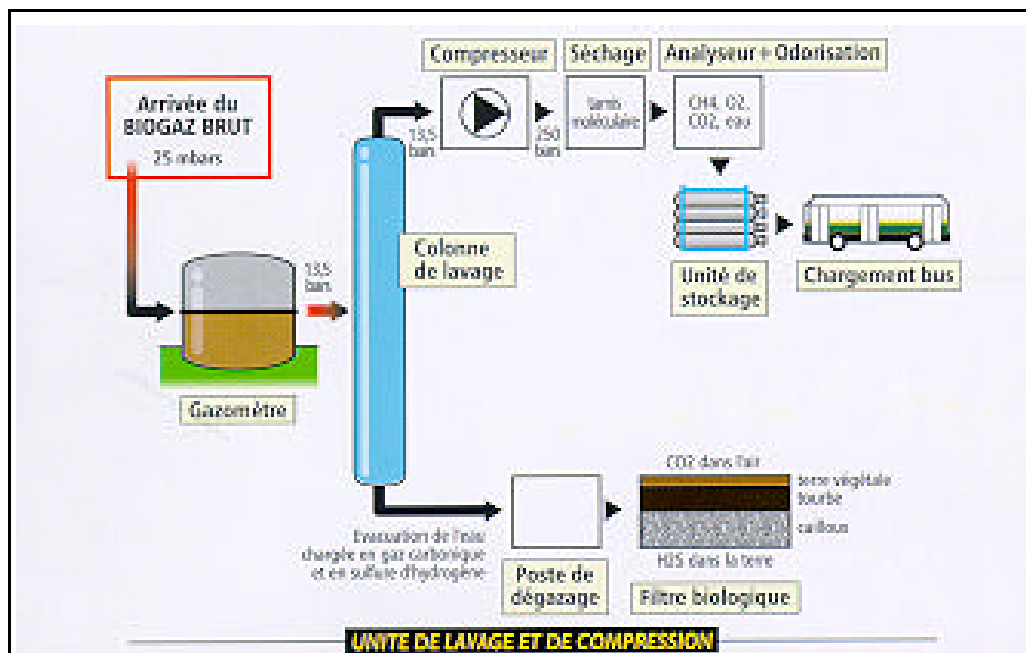
Die Gasreinigung erfolgt über ein Absorptionsverfahren. Dabei wird komprimiertes Biogas in eine Füllkörperkolonne eingeleitet und mit dem Lösungsmittel Wasser im Gegenstrom gereinigt. Das gereinigte Gas wird am oberen Ende und das schadstoffhaltige Wasser am unteren Ende der Säule entnommen. Das Wasser wird zum Ausgasen in einen Behälter geleitet und kann anschließend wieder in die Kolonne eingeleitet werden.

Die Anlage in Marquette funktioniert folgendermaßen:

- Die bei der Abwasserreinigung anfallenden Klärschlämme gelangen in die Faultürme, in denen sich das Methangas bildet. Dabei werden die leicht abbaubaren organischen Bestandteile in Biogas umgewandelt, das im wesentlichen aus Methan und Kohlendioxid besteht.
- Das Roh-Biogas tritt mit einem Druck von 25 bar aus den Faultürmen aus und wird über einen zwischengeschalteten Gasometer mit einem Druck von 13,5 bar in die 11 m hohe Reinigungskolonnen eingeleitet.
- Schließlich wird es auf 250 bar komprimiert, getrocknet und in einer entsprechenden Einheit gespeichert.

Die Kapazität der Reinigungseinheit beträgt 100 m³ Biogas pro Stunde, woraus 50 bis 55 m³ Biogastreibstoff gewonnen werden können. Die Speichereinheit besteht aus drei Tanks mit je 600 l Inhalt. Die Methanverluste sind aufgrund der Entgasung des Reinigungswassers unwesentlich.

Mit der Biogasreinigungsanlage in Marquette wurde also bewiesen, daß ein hochwertiger Biogastreibstoff (durchschnittlicher Methangehalt >97%, keine Verunreinigungen) in der geplanten Menge produziert werden kann. Dieser Methangastreibstoff ist dem Erdgas von Gaz de France vergleichbar, mit dem der Bus während der ersten Projektphase (von März 1994 bis Dezember 1996) betrieben wurde.



Aufbau der Biogasreinigungsanlage in Marquette

Derzeit sind zwei Fahrzeuge in Betrieb, das erste seit März 1994. Bei diesem Renault PR-100-2-Bus wurde der Dieselmotor so umgerüstet, daß er auch mit Biogas betrieben werden kann. Dafür mußten neben Brennstoffzufuhr und Zündung auch die Karosserie verändert werden, um die Gasbehälter auf dem Fahrzeugdach zu integrieren und die Sicherheitsbestimmungen zu erfüllen. Daher mußten auch Gasausstrahlventile eingebaut, die Gasbehälter verstärkt und vom Fahrgastraum getrennt werden. Zunächst konnte der Bus sowohl mit Erdgas als auch mit Biogas betrieben werden. In einer zweiten Phase erfolgte eine weitere Umrüstung, so daß er ausschließlich mit Biogas betrieben werden konnte (ab Januar 1997). Dieses Fahrzeug erhielt die Zulassung für die Buslinie 42 des städtischen Verkehrsnetzes des Kommunalverbands von Villeneuve d'Ascq nach Roubaix und ist bislang insgesamt etwa 100.000 km gefahren.

Der zweite mit Biogas betriebene Bus ist ebenfalls von Renault (Nutzfahrzeug-Modell Agora) im September 1997 geliefert worden. Bislang ist der Betrieb sehr zufriedenstellend, sowohl aus Sicht des Betreibers als auch der Fahrgäste.

Die einzige Schwierigkeit bestand darin, die Zulassung für solche Busfahrzeuge zu erhalten. Ein weiteres Problem ist die geringe Anzahl an Fahrzeugen, die auf dem Markt verfügbar sind.

EVALUATION

Evaluation der Biogasgewinnung

Das in Marquette gewonnene Gas hat einen Brennwert von über 10,7 kWh/Nm³. Der Methangehalt beträgt etwa 97,5%, die CO₂-Konzentration 1,6%.

Das Biogas enthält folgende weitere Bestandteile: Schwefelwasserstoff durchschnittlich 2 ppm (unter dem vorgeschriebenen Grenzwert von 5 ppm), Wasserdampf 3 ppm (sehr niedrig) und Sauerstoff 0,2% (ebenfalls unter dem Grenzwert von 0,5%).

Die Reinigungsanlage hat einen Verbrauch von 53 kWh Strom pro Betriebsstunde. Dieses Verfahren produziert 3,1 mal mehr Endenergie als es an nicht erneubarer Primärenergie verbraucht. Der Wirkungsgrad des Biogases läßt sich außerdem noch mit einer Verbesserung der Gasaufbereitung erhöhen.

Die Umweltbilanz zeigt eine deutliche Verringerung der Emissionen im Vergleich zur früheren Praxis, das überschüssige Biogas abzufackeln. Dennoch gibt es geringfügige Methanemissionen im Reinigungsverfahren sowie im Biofilter für die Rückstände der Biogasreinigung. Im Vergleich zur Gewinnung anderer Treibstoffe bleiben diese Schadstoffemissionen jedoch geringfügig.

| Roh-Biogas von Marquette: Zusammensetzung | |
|--|-------------------------------------|
| Methan | 55 - 65% |
| CO ₂ | 35 - 45% |
| H ₂ S | 0,3 - 0,5% |
| Stickstoff | 0,5 - 2% |
| Wasserstoff | 1 - 3% |
| Sauerstoff | < 0,7% |
| CO | < 1% |
| Sulfide | Thiole |
| Ammoniak | geringe, geruchverursachende Mengen |

| Gereinigtes Biogas: Zusammensetzung | |
|--|------------------------|
| Methan | 93 – 98% |
| CO ₂ | < 3% |
| H ₂ S | < 5 ppm |
| H ₂ O | < 55 mg/m ³ |
| O ₂ | < 0,5% |

Betriebsergebnisse des Biogas-Busses

Der erste Bus ist genauso leistungsstark wie der konventionelle, mit Diesel betriebene Bus. Die Fahrer haben sogar eine bessere Beschleunigung und Handhabung festgestellt. Problematisch ist allerdings infolge des Gewichts der Gasbehälter eine leichte Neigung des Fahrzeugs in Kurvenlage. Dieses Problem wurde jedoch bereits bei dem Agora-Modell behoben.

Die Fahrgäste haben überhaupt keinen Unterschied bei der Leistung der Busse festgestellt, wohl aber eine Minderung der Lärm- und Geruchsemissionen. Der Treibstoffverbrauch liegt über dem eines vergleichbaren konventionellen Diesel-Busses; er stellt jedoch die gute Energiebilanz des Biogas-Busses nicht in Frage. Der Mehrverbrauch hängt im wesentlichen mit dem Mehrgewicht aufgrund der Gasbehälter und mit der geringeren Leistung des biogasbetriebenen Motors zusammen. Der auf Dieseltreibstoff umgerechnete Durchschnittsverbrauch liegt bei 55 Litern auf 100 km gegenüber 41 Litern bei einem herkömmlichen Diesel-Bus. Dies entspricht einem Mehrverbrauch von 34%, der sich jedoch noch durch eine Gewichtsverringern der Gasbehälter reduzieren lassen wird.

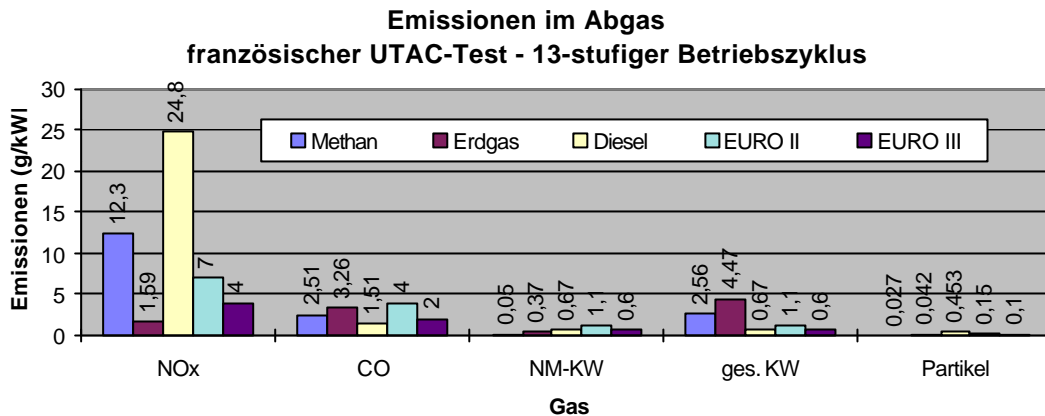
| Daten des biogasbetriebenen Pilot-Busses: Renault-Nutzfahrzeug, Modell PR-100-2 | |
|---|---|
| Inbetriebnahme | März 1994 |
| Verwendeter Treibstoff | Zur Zeit Biogas aus der Kläranlage in Marquette. Bis Juli 1996: Erdgas, geliefert von Gaz de France (GDF). Von Juli – Dezember 1996: zu 50% Biogas aus Marquette und zu 50% Erdgas von Gaz de France (GDF). |
| Gasqualität | Gute Qualität, liegt zwischen Kategorie L und Kategorie H des von Gaz de France gelieferten Gases. |
| Gasbehälter | 6 Aluminium-Behälter mit jeweils 127 Litern |
| Zusätzliches Gewicht | 1.500 kg |
| Reichweite | 220 km |
| Sicherheitsmerkmale | Der Biogastreibstoff ist ungiftig, inert, schwer entzündlich und leichter als Luft. Der Gebrauch wird vom Büro Veritas kontrolliert und vom Industrieministerium genehmigt. |
| Verbrauch | 55 Liter/100 km |
| Gefahrene Kilometer | 58.000 km |
| Anzahl beförderter Fahrgäste | >130 000 |
| Fahreigenschaften | Verbesserte Beschleunigung und Wendigkeit. |
| Schadstoffemissionen: - CO und HC - NO _x | Die EURO II und EURO III-Normen werden erfüllt. Aufgrund eines Problems bei der Motorregelung über den Normen liegend. |
| Lärmemissionen | Verringerung um 60% |

Die quantitative Analyse der Schadstoffemissionen der Biogas-Busse entsprechend den französischen UTAC-Testnormen liegt noch nicht vor. Mit diesen Tests kann ein Leistungsvergleich des Einsatzes von Biogas und anderen Treibstoffen erfolgen.

Im Vergleich zum Dieselmotortreibstoff wurde festgestellt, daß der Biogas-Bus weniger Partikel und Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe ausstößt. Die Werte für diese beiden Emissionsarten erfüllen im übrigen die EURO II und EURO III-Normen. Die NO_x-Emissionen liegen allerdings noch zu hoch, was mit einem Problem der Motorregelung zusammenhängt, das jedoch bald behoben sein dürfte. Die CO-Emissionen liegen über denjenigen eines Diesel-Busses. Sie erfüllen aber dennoch die EURO II-Norm und nähern sich den Werten der EURO III-Norm. Die Emissionen von unverbranntem Methan weisen relativ hohe Werte auf.

Die Verwendung von Gas als Treibstoff führt zu einer deutlichen Verringerung der Schadstoffemissionen wie z.B. Ozon, Kohlenwasserstoffe, Stäube und in etwas geringerem Masse NO_x. Durch den anfänglichen Einsatz von Erdgas (von März 1994 bis Dezember 1996) sind die Staubemissionen um 90%, die der Kohlenwasserstoffe um 50% und die der NO_x um 93% im Vergleich zum Dieselmotortreibstoff verringert worden. Nur die CO-Emissionen sind identisch geblieben. Die Lärmemissionen sind um 50% reduziert worden (Lärminderung um 3,5 dBA) und die sichtbaren Ruß- und Geruchsbelästigungen verschwunden.

Einige Werte sind durch den Einsatz des in Marquette gewonnenen Biogases noch weiter verbessert worden. Die Staubemissionen sind um 94% verringert worden (6mal geringer als die EURO III-Werte) und diejenigen der Kohlenwasserstoffe um 92% (12mal geringer als die EURO III-Werte). Demgegenüber konnten die NO_x-Emissionen nicht erheblich reduziert werden, sie nähern sich aber dennoch den Werten der EURO II-Norm. Die zusätzliche Produktion an CO₂ ließ sich nicht beziffern.



NM-KW = Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe / ges. KW = Kohlenwasserstoffe gesamt

UTAC: Union Technique de l'Automobile, du Motorcycle et du Cycle (Technischer Verband für Automobile, Motorräder und Fahrräder)

Wirtschaftliche Daten

Die veranschlagten Kosten belaufen sich auf 0,91 Mio. Euro. Im Rahmen eines Pilotprojekts entstehen insbesondere aufgrund der weiten Entfernung zwischen dem Ort der Biogasgewinnung und seinem Einsatzort zusätzliche Betriebskosten. Diese Zusatzkosten sind jedoch gerechtfertigt, weil die Nutzung von Biogas als Treibstoff für Fahrzeuge interessant ist.

Da es sich um einen besonders innovativen Ansatz handelte, profitierte der Kommunalverband für die sogenannte "Aktion Treibstoff Methan" von der finanziellen Unterstützung seitens der Europäischen Union, des Regionalfonds für rationelle Energieverwendung und der ADEME.

Gleichzeitig sah der Projektplan die Umrüstung der von der Gesellschaft TRANSPOLE betriebenen Busse und die Errichtung der Biogasaufbereitungsanlage vor (Kostenübernahme durch den Wasserversorger *Société des Eaux de la Métropole Nord - SEMeN*).

Die finanzielle Unterstützung durch die verschiedenen Partner schlüsselte sich wie folgt auf:

- > Europäische Union 152.000
- > Regionalfonds für rationelle Energieverwendung 229.000
- > ADEME 76.000
- > Kommunalverband 457.000

Die auf der Grundlage eines Pilotbetriebs durchgeführten Wirtschaftlichkeitsanalysen sind sehr ermutigend.

Die Investitionen am Standort der Biogasgewinnung belaufen sich auf 717.000 ohne Steuern und teilen sich wie folgt auf:

- > 412.000 für Lagerung und Anschluß,
- > 107.000 für Roh- und Tiefbauarbeiten,
- > 198.000 für Gutachten und Folgekosten, die mit dem Pilotcharakter des Projekts verbunden sind.

Die Gesamtsumme läßt sich wie folgt aufschlüsseln:

- > 500.000 für die Gewinnung von Gas, das dem Erdgas mit hohem Heizwert entspricht (Gas der Kategorie H von GDF),
- > 198.000 für die Gewinnung von Methan-Treibstoff.

Die Betriebskosten beliefen sich auf insgesamt 33.000 über einen Zeitraum von 10 Betriebsmonaten (entspricht 48 pro Stunde).

Trotz der Mehrkosten, die durch die Personal- und Wartungskosten der kleindimensionierten Pilot-Reinigungseinheit entstanden, sind die derzeitigen Kosten für die Gewinnung von

Biogas als Treibstoff den hohen Preisen für Kraftstoffe an den Zapfsäulen vergleichbar (wobei die Ergebnisse jedoch noch zu bestätigen sind). Berücksichtigt man, daß im Rahmen des Pilotprojektes nur ein Bus umgerüstet wurde und die Anlage zur Biogasgewinnung nicht voll ausgelastet ist, fällt die wirtschaftliche Analyse des Projektes zweifellos nicht zugunsten des Biogas-Busses aus.

Die Mehrkosten des Biogas-Busses im Vergleich zu einem konventionellen Diesel-Bus (ausschließlich für die Umrüstung des Fahrzeugs) waren eingangs auf 88.400 geschätzt worden, beliefen sich letztendlich aber nur auf 35.000 . Auch der Preis für die Biogasgewinnung ist infolge der optimierten Anlagen zurückgegangen. Der Preis pro m³ Biogas, das in dieser Anlage gewonnen wird, beläuft sich auf 0,76 ohne Steuern.

Schließlich beliefen sich die Kosten für Studien, Konzeption und Begleitung des Pilotprojekts auf 137.000 .

In der jetzigen Phase ist der Erfolg des Pilotprojekts im wesentlichen auf folgende Faktoren zurückzuführen:

- > die Zusammenarbeit der verschiedenen Partner: der Städte, Regionalbehörden, lokalen und regionalen Verbände, die dieselben stadtökologischen Ziele haben,
- > die technische Unterstützung durch den Hersteller, Renault Nutzfahrzeuge, und den Gasversorger, Gaz de France,
- > die Unterstützung durch den Nahverkehrszweckverband Lille,
- > der integrale Ansatz zum Betrieb einer Kläranlage und Nutzung der entstehenden Produkte.

AUSBLICK

Bei der Biogasaufbereitungsanlage rechnet man mit einer Verbesserung der technischen und wirtschaftlichen Bilanz. Über kurz oder lang scheint ein Preisniveau erreichbar, das demjenigen der Treibstoffe aus Erdöl vergleichbar ist, sofern allerdings der Treibstoff Biogas steuerfrei ist.

Für die Fahrzeuge haben verschiedene Fahrzeugbauer eine baldige Serienfertigung der Busse angekündigt. Bis Ende 1999 waren 8 Busse dieses Typs für den Stadtverkehr in Lille geplant. Geht man von einer Tankfüllung pro Tag und einer Reichweite von 150 km pro Tag und dem ganzjährigen Betrieb mit Biogas aus, dann würde das zu einer jährlichen Einsparung von 382.000 Litern Diesel führen. Bis zum Jahr 2002 hat der Nahverkehrszweckverband Lille die Anschaffung von etwa 100 mit Biogas betriebenen Bussen geplant.

Überdies müßte sich in Zukunft der Verbrauch der biogasbetriebenen Fahrzeuge deutlich verringern. Die Gründe dafür sind:

- der verbesserte Wirkungsgrad im Zuge der weiteren Entwicklung der GNV-Technologie,
- das reduzierte Gewicht der mitgeführten Behälter (Einsatz von Verbundwerkstoffen).

Letztlich dürften diese Optimierungsmaßnahmen diese positive energetische und ökologische, aber auch ökonomische Auswirkungen nach sich ziehen.



Der erste Biogas-Bus an der Kläranlage in Marquette

WEITERFRÜHRENDE INFORMATIONEN

Lille Métropole - Communauté Urbaine

Jean-Pierre DENYS / Direction Générale des Services Opérationnels
Mission Interservices de Responsabilités Environnementales
1, rue du Ballon - BP N° 749
F-59034 LILLE CEDEX
Tel.: +33 3 20 21 37 84
Fax: +33 3 20 21 29 49
E-Mail: jpdenis@cul-lille.fr

SOLAGRO

Christian COUTURIER
219, Av. de Muret
F-31300 TOULOUSE
Tel.: +33 5 61 59 56 16
Fax: +33 5 61 59 98 41
E-Mail: solagro@compuserve.com

Région Nord-Pas-de-Calais

Conseil Régional
Direction Environnement Energie Déchets
M. FRIMAT - Directeur
BP 2035
F-LILLE CEDEX
Tel.: +33 3 20 60 65 32

Die vorliegende Fallstudie wurde von Energie-Cités in Zusammenarbeit mit der Stadt Lille, der region Nord-Pas-de-Calais und der Firma Solagro sowie dank finanzieller Unterstützung durch die französische Energie- und Umweltagentur ADEME ausgearbeitet. Stand der Ausführungen: Juni 1999