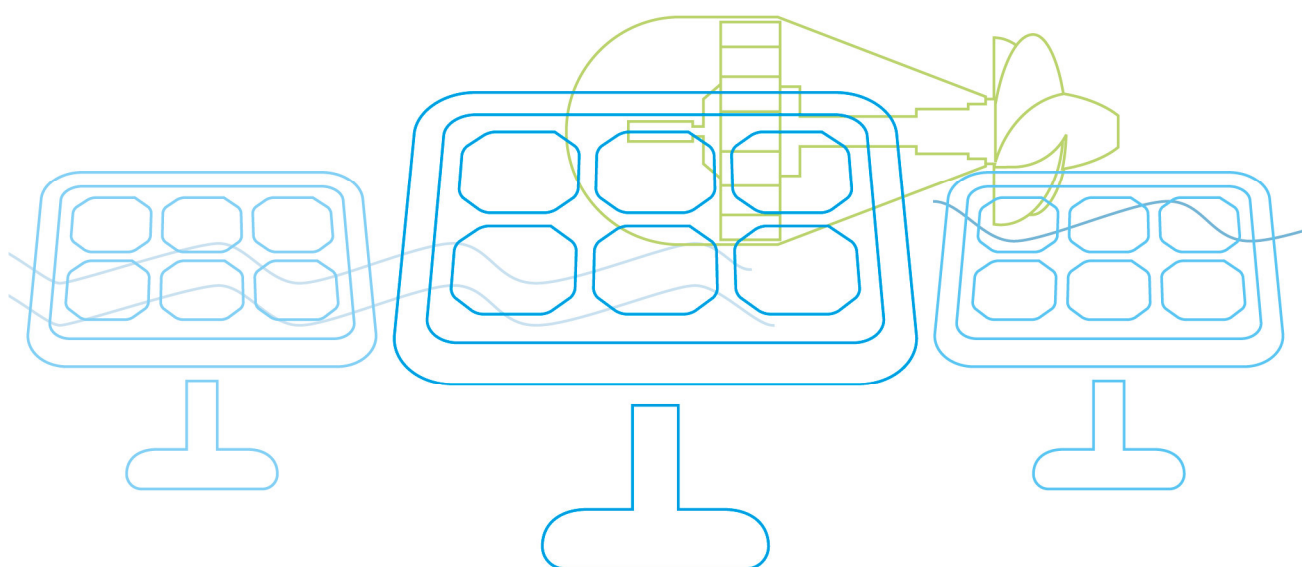




BioLNG Antrieb für schwere Skipisten-Präpariergeräte



VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Neue Energien 2020“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A stylized, handwritten signature in black ink, consisting of several fluid, connected strokes.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink that reads 'Theresia Vogel' in a cursive script.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds



Salzburg AG **infinite**
Energie, Antriebs & Umwelttechnologie GmbH

SCHWINGENSCHLÖGEL
TANKWAGEN UND SILDFAHRZEUGE



„BioLNG Antrieb für schwere Skipisten-Präpariergeräte“

FFG Projektnummer 825435

Ing. J. Schmidhuber

Salzburg AG für Energie, Verkehr und Telekommunikation

Prof. Dr. E. Pucher, Dipl.-Ing. A. Schilk, Mag. V. Vana

TU Wien, Institut für Fahrzeugantriebe und Automobiltechnik

Dipl.-Ing. J. Magg

Kässbohrer Geländefahrzeug AG

Dipl.-Ing. K. Schwingenschlögell,

Schwingenschlögell Ges.m.b.H.

Ing. H. Mayer,

Schmittenhöhebahnen AG,

W. Müller

Infinite Energie-, Antriebs- und Umwelttechnologie GmbH

Salzburg, 2013

Dieses Projekt wurde aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms „NEUE ENERGIEN 2020“ durchgeführt

BioLNG Antrieb für schwere Skipisten-Präpariergeräte

Das Projekt „BioLNG Pistenraupe“ adressierte die nachhaltige Reduktion der hohen CO₂-, NO_x- und Partikel-Emissionen von schweren Pistenraupen in sensiblen alpinen Gebieten. Dazu wurde eine Umrüstmethode für schwere Skipisten-Präpariergeräte auf klimaneutralen BioLNG-Antrieb erarbeitet und im hochalpinen Raum validiert. Eine zugehörige Versorgungs- und Betankungsinfrastruktur wurde ebenfalls entwickelt und in Zell am See installiert.

Schwere Pistenpräpariergeräte gehören zu den Off-Road Maschinen, die als Nutzfahrzeuge abseits der Straße eingesetzt werden. Da diese nicht den anspruchsvollen Emissionsgrenzwerten von Straßenfahrzeugen unterliegen, sind ihre Emissionsanteile beachtlich. Darüber hinaus werden durch den hohen Leistungsbedarf dieser Geräte enorme Energiemengen verbraucht, die durchschnittliche Kraftstoffverbräuche weit überschreiten. Erstmals beispielhaft durchgeführte Real-world Abgasmessungen kleinerer Off-road Fahrzeuge haben die hohen Reduktionspotentiale von Methan-Antriebskonzepten hinsichtlich CO₂-, NO_x- und Partikel-Schadstoffemissionen im hochalpinen Gelände gezeigt.

Aus diesen Beweggründen wurde ein Antriebstrang mit BioLNG Technologie für schwere Pistengeräte erarbeitet und im realen Einsatz im hochalpinen Gelände validiert. Dazu wurden die Fahrzeuganforderungen ermittelt und eine nachhaltige Umrüstmethode entwickelt. Aus einem im Rahmen des Projekts definierten Lastenheft wurde ein geeignetes Antriebstrang- und Energiespeicherkonzept erstellt. Die Energieversorgung auch abseits bestehender Infrastrukturen wurde durch den Antragsteller, der bereits für seine Biogas Aktivitäten mit dem österreichischen Staatspreis für Verkehr ausgezeichnet wurde, mittels eines stationären und eines mobilen BioLNG Tankstellensystems gewährleistet. Durch erstmals durchgeführte Real-world On-board Abgasmassensmessungen, konnten aus den Ergebnissen wertvolle Erkenntnisse zur BioLNG Motoroptimierung für die Umrüstung und Erprobung weiterer schwerer Skipisten-Präpariergeräte im Off-Road Betrieb abgeleitet werden.

Durch die Erkenntnisse über Reduktionspotentiale und Klimarelevanz wurden Emissionsfaktoren ermittelt und eine Bewertung der Vorteile für die nationale sowie lokale Emissionssituation vorgenommen. Abschließend wurde dies im Rahmen einer Tagung direkt in den Alpen präsentiert.

Inhalt

1	Einleitung.....	1
1.1	Aufgabenstellung	1
1.2	Schwerpunkte des Projektes	1
1.3	Einordnung in das Programm	2
1.4	Verwendete Methoden.....	3
1.5	Aufbau der Arbeit.....	3
2	Inhaltliche Darstellung	5
2.1	Projektkoordination	5
2.2	Anforderungsprofil, Einsatzdefinition und Leistungsbedarf.....	5
2.3	Antriebsstrangentwicklung für BioLNG Pistenraupen Experimentalfahrzeug.....	8
2.4	BioLNG Tankanlage und Infrastruktur	13
2.5	Mobiler BioLNG Energieversorgungscontainer.....	14
2.6	Validierung der Entwicklungsergebnisse durch On-board Emissionsmessungen und Optimierung des BioLNG Antriebs.....	17
2.7	Umrüstung weiterer Pistenraupen und Felderprobung	19
3	Ergebnisse und Schlussfolgerungen.....	21
3.1	Schadstoffemissionen.....	21
3.1.1	CO ₂ -Emissionen	22
3.1.2	NO _x -Emissionen	22
3.2	Gesamtenergiebilanz	23
3.3	Wirtschaftliche Kosten-Nutzen Rechnung	24
3.4	Präsentation der Ergebnisse.....	27
4	Ausblick und Empfehlungen	28
5	Literaturverzeichnis	31
6	Anhang	32
6.1	Abbildungsverzeichnis	32
6.2	Tabellenverzeichnis	32

1 Einleitung

Einen der wichtigsten österreichischen Wirtschaftszweige stellen der Wintertourismus und die alpinen Sportarten dar. Um den Konsumenten optimale Pistenbedingungen bieten zu können, werden unter an-deren schwere Pistengeräte benötigt. Ein einziges dieser Fahrzeuge verbraucht jedoch pro Jahr gleich viel Kraftstoff wie etwa 30 Pkw mit einer jährlichen Fahrleistung von jeweils 15.000km. Das Gerät emittiert darüber hinaus über 500 kg NOx, das entspricht dem Schadstoffausstoß von mehreren hundert Euro 4 Pkw. In diesem Bereich könnte somit durch den Einsatz innovativer Antriebe und sauberer Energieträger eine starke Reduktion der Emissionen mit vergleichsweise niedrigem Mitteleinsatz erreicht werden. Da es für diese Off-road Maschinen keine derart strengen Abgasgrenzwerte wie für Straßenfahrzeuge gibt und teilweise ältere Technologie eingesetzt wird, liegen deren individuelle Emissionen auf sehr hohem Niveau. Ein durchschnittliches österreichisches Pistenfahrzeug verbraucht pro Jahr 13.000l Dieselkraftstoff. Als Vergleich dazu beläuft sich (laut Statistik Austria) der jährliche Heizölverbrauch eines durchschnittlichen österreichischen Haushaltes auf 1.600l. Der Reduktionsbedarf der hohen Schadstoffemissionen von Pistengeräten war daher die Hauptmotivation des gegenständlichen Projektes.

1.1 Aufgabenstellung

Im Rahmen des Projektes sollte eine nachhaltige Umrüstmethode für dieselbetriebene Pistenraupen hin zum Zündstrahl-Methanantrieb entwickelt werden. Weiters wurde eine mechanische Lösung des LNG Systems, unter Einsatz eines elektronischen LNG Managements, beabsichtigt. Unter Berücksichtigung der extremen Einsatzbedingungen sollten erste Rückschlüsse auf die Abstimmung und Entwicklung des BioLNG Antriebs für Pistenraupen erarbeitet werden. Ein weiterer Fokus lag auf der Konzeptionierung eines Energieversorgungscontainers um BioLNG Off-Road Maschinen auch in nicht an das Gasnetz angeschlossene Gebiete betreiben zu können. An einem Testfahrzeug sollten im Gelände On-board Emissionsmessungen durchgeführt und die Messergebnisse validiert werden. Hieraus sollten Erkenntnisse hinsichtlich Leistungsvermögen, realen Schadstoffausstoß sowie Fahrerakzeptanz als Basis für den Einsatz des Energieträgers BioLNG in Pistengeräten gewonnen werden und eine Studie zum Emissionsverhalten erstellt werden. Im Anschluss wurde geplant weitere derartige Off-Road Geräte mit der neuentwickelten BioLNG Technologie auszustatten.

1.2 Schwerpunkte des Projektes

Im Rahmen des gegenständlichen Forschungsvorhabens wurde die Entwicklung einer nachhaltigen Antriebslösung hinsichtlich Ökologie und Ökonomie durch Umrüstung dieselbetriebener Pistenraupen auf Zündstrahl-Methanantrieb adressiert.

Um auch in hochalpinem Gelände ohne Netzanschluss den Betrieb von BioLNG Off-Road Maschinen gewährleisten zu können, wurde ein Energieversorgungskonzept mittels eines mobilen BioLNG Containers erarbeitet.

Zur Gewinnung von Erkenntnissen bezüglich Leistungsvermögen, realen Schadstoffausstoß und BioLNG Motoroptimierung wurden erstmals Real-world On-board Abgasmassenmessungen für schwere Pistengeräte durchgeführt. Auf Basis des neuerworbenen Wissenstandes konnte wiederum die Umrüstung und Erprobung weiterer schwerer Skipisten-Präpariergeräte im Off-Road Betrieb ermöglicht werden.

Durch eine umfassende Felderprobung über einen längeren Zeitraum konnte die Fahrerakzeptanz für den Einsatz des Energieträgers BioLNG in diesen Off-road Fahrzeugkonzepten erhoben werden.

In einer abschließenden Präsentation und Diskussion bei einem internationalen Workshop samt Fahrzeugpräsentation konnten die Forschungsergebnisse und Erfahrungsberichte auch weiteren potentiellen Anwendern der nachhaltigen Technologie zugänglich gemacht werden.

1.3 Einordnung in das Programm

Energiestrategisch betrachtet, kann durch den Einsatz von BioLNG für Pistengeräte in hochalpinen Wintersportregionen eine Reduktion von CO₂-Emissionen und lokalen Schadstoffemissionen erzielt werden, die einerseits der umliegenden Fauna und Flora, andererseits aber auch den Anwohnern und Sportlern unmittelbar zugutekommt und somit nachhaltig ökologische Vorteile bietet. Durch den im Vergleich zu Diesel wesentlich geringeren Preis von LNG ist der Betrieb mit Erdgas auf mittelfristige Sicht ökonomisch ebenfalls günstiger. Biomethan kann zudem aus dem in Österreich vorhandenen Grünlandüberschuss im Land hergestellt werden und somit einen wichtigen Beitrag zur angestrebten Energieautonomie Österreichs leisten.

Die systembezogenen Ziele des Programmes betreffend senkt die teilweise Substitution von Diesel durch den umweltfreundlichen Kraftstoff LNG nachhaltig den Verbrauch fossiler Energieträger. Des Weiteren wird die Optionenvielfalt sowohl hinsichtlich Technologie als auch Energieträger erweitert. Durch den niedrigen Kohlenstoffgehalt von Methan kann eine verbesserte Effizienz der Treibhausgasreduktion erzielt werden.

Vom technologiestrategischen Aspekt konnte im Rahmen des Projektes die Kooperation zwischen Wissenschaft und Wirtschaft ausgebaut und gestärkt werden. Durch die geringeren Kraftstoffkosten einerseits und den höheren Energiegehalt von flüssigem Biogas andererseits können die Betreiber der Skigebiete zudem ihre Wettbewerbsfähigkeit verbessern. Der vermehrte Einsatz von BioLNG als Kraftstoff lässt zudem eine Steigerung der inländischen Wertschöpfung im Energiesystem erwarten. Der internationale Abschlussworkshop unter Einbindung von Experten und Anwendern förderte die Qualifikation im Energie- und Klimaschutzbereich.

1.4 Verwendete Methoden

Zur Erhebung typischer Einsatzprofile wurden zu Beginn des Projektes einzelne Strecken mittel GPS-Tracking und On-board Messtechnik im hochalpinen Raum aufgenommen und analysiert. Im Anschluss konnte der Leistungsbedarf der Pistenraupe auf den Teststrecken mittels Matlab Simulink Rechenmodelle berechnet werden. Aus der Analyse der Belastungsprofile und einer zuvor entwickelten nachhaltigen Umrüstmethode für Dieselmotoren typischer Pistenraupen auf Methan-Zündstrahlbetrieb wurde ein geeigneter Antriebstrang konzeptioniert und konstruiert. Basierend auf den hier gewonnenen Erkenntnissen wurde ein Prototypensystem erstellt und in das Experimentalfahrzeug integriert und anschließend erprobt.

Parallel dazu wurde ein Energieversorgungskonzept für BioLNG Off-Road Maschinen im Gelände ohne Netzanschluss erstellt und ein mobiler BioLNG Energieversorgungscontainer aufgebaut.

Im Real-world Testbetrieb wurden das Experimentalfahrzeug und die Betankungsinfrastruktur als Gesamtsystem erprobt.

Zur Validierung der Entwicklungsergebnisse wurden Real-world On-board Abgasmessung für die Komponenten CO₂, CO, NO₂, NO, und HC mit einem ultrakompakten On-board Messsystem direkt am Fahrzeug im Betrieb durchgeführt und die Daten analytisch ausgewertet.

Aus den Resultaten der Real-world Untersuchungen konnten Erkenntnisse zur Optimierung des Antriebstrangs in diesem Off-road Fahrzeugkonzept abgeleitet werden und für den Aufbau und die Systemintegration des Prototypensystems auf weitere Experimentalfahrzeuge umgelegt werden.

Zur Ermittlung der Real-world Emissionsfaktoren und Bewertung der Klimarelevanz wurden die Real-world Messdaten statistisch ausgewertet und eine Analyse der Emissionen zur Ermittlung realer Emissionsfaktoren und der Bewertung der Klimarelevanz aus dem Off-Road Bereich durchgeführt.

1.5 Aufbau der Arbeit

Zu Beginn des Projektes wurde ein Anforderungsprofil definiert und der Leistungsbedarf erhoben. Anschließend wurde ein Antriebstrang für dieselbetriebene Pistenraupen zur Umrüstung auf BioLNG entwickelt und in ein Experimentalfahrzeug integriert. Eine geeignete Tankanlage und Infrastruktur zur Betankung des BioLNG Off-Road Gerätes wurde aufgebaut und am Einsatzort installiert. Um den Kraftstoff vor Ort zur Verfügung stellen zu können, wurde ein mobiler BioLNG Energieversorgungscontainer konzeptioniert, aufgebaut und in die Infrastruktur direkt an der Skipiste integriert. Mittels eines innovativen portablen On-Board Messgeräts wurden Real world Emissionsmessungen im alpinen Gelände durchgeführt und

so die Entwicklungsergebnisse validiert. Aus den hieraus gewonnenen Messresultaten mit dem Pistenraupenprototyp wurde der Gesamtantriebsstrang des Experimentalfahrzeugs mittels neuer Experimental- und Simulationstools für niedrigsten Kraftstoffverbrauch unter verschiedenen Betriebszuständen ausgelegt und hinsichtlich verbesserter Energieeffizienz optimiert. Die entwickelte Umrüstmethode wurde auf weitere Pistenraupen angewandt und eine Felderprobung vorgenommen. Die aus den Real world Messungen gewonnenen Erkenntnisse über Reduktionspotentiale und Klimarelevanz wurden in Emissionsfaktoren übernommen, um eine Abschätzung der möglichen Vorteile für die nationale sowie lokale Emissionssituation treffen zu können.

2 Inhaltliche Darstellung

2.1 Projektkoordination

In der Anfangsphase des Projektes wurde von der Projektleitung ein Konsortialvertrag ausgearbeitet, der von allen Konsortialmitgliedern unterfertigt und mit dem unterzeichneten Fördervertrag Ende November 2010 an die FFG übersandt wurde. Weiters wurde ein Kick-off Meeting organisiert, das bei der Firma Schwingenschlögel, ebenfalls Partner im Projekt BioLNG Pistenraupe, am 01.03.2011 stattfand. Im Februar 2011 sowie Dezember 2011 wurden jeweils Zwischenberichte erstellt. Am 07.12.2011 wurde ein weiteres Konsortialmeeting im Hause der Salzburg AG abgehalten.

Aufgrund sich ändernder wirtschaftlicher Rahmenbedingungen entschied sich der Partner Werfenweg aktiv GmbH Anfang 2012 aus dem Projektkonsortium auszuschcheiden. Durch die Bemühungen des Projektkoordinators konnte daraufhin die Schmittenhöhebahnen AG als neues Konsortialmitglied gewonnen werden, um im Folgenden die Aufgaben des ausgestreten Partners zu übernehmen. Nach aufwendigen Vertragsänderungen konnte die Schmittenhöhebahnen AG zeitgerecht in das Konsortium integriert werden und somit zum erfolgreichen Abschluss der Forschungsarbeiten beitragen.

Im Dezember 2012 wurde eine Abschlusstagung zur Präsentation der Ergebnisse organisiert und am 13.12.2012 in Dorfgastein unter Teilnahme zahlreicher Experten und Anwender erfolgreich abgehalten.

2.2 Anforderungsprofil, Einsatzdefinition und Leistungsbedarf

Um ein passendes Anforderungsprofil für ein Off-Road Pistenfahrzeug bestimmen zu können, wurden verschiedene Einsatzstrecken, die für Real-World Abgasmessungen des „PistenBully 600“ in Frage kamen, festgelegt. Diese Strecken, vorwiegend Bergstrecken und Langlaufloipen, stellen einen üblichen Einsatzort dar, um das Anforderungsprofil einer Pistenraupe in den Bergen möglichst realitätsnah definieren zu können. Mit Hilfe von Berechnungsmodellen wurden die betreffenden Einsatzstrecken mit dreidimensionalem Geotracking abgebildet.

Streckenführung – GPS Tracking

Um die gemessenen Schadstoffkonzentrationen in eine streckenbezogene Massenemission umzurechnen, ist es notwendig die Geschwindigkeit des Pistenfahrzeugs zu erfassen. Dies erfolgte mit einem GPS-Tracker, der in dem Fahrzeug mitgeführt wurde. Folgende Parameter wurden sekundlich aufgezeichnet:

- Messzeit
- koordinierte Weltzeit
- Datum
- Höhe
- Längengrad
- Breitengrad
- Geschwindigkeit
- zurückgelegte Strecke

Für die Untersuchungen wurden zwei verschiedene Strecken ausgewählt. Beide Strecken, wurden als Abschnitte regulärer Pisten während des laufenden Schibetriebs unter gleichen Voraussetzungen befahren und stellten ein realistisches Arbeitsszenario dar.

Die Unterteilung in Steigung beziehungsweise Gefälle repräsentiert unter anderem den unterschiedlichen Leistungs- und somit auch den Energiebedarf. Diese bietet den Vorteil, dass die verschiedenen Betriebsarten wie zum Beispiel Volllast und Teillast getrennt betrachtet werden können. Die Länge, Durchschnittsgeschwindigkeit, Steigung und Messdauer der jeweiligen Fahrten können Tabelle 1 entnommen werden.

Piste 1 ist mit einer durchschnittlichen Steigung beziehungsweise einem durchschnittlichen Gefälle von 20 % gegenüber der durchschnittlichen Steigung beziehungsweise dem durchschnittlichen Gefälle von 19 % die etwas steilere Strecke. Diese Piste liegt an der von Zell am See abgewandten Bergseite und führt von der Bergstation der „Schmittenhöhebahn“ entlang der „Kappelenbahn“ talwärts.

Die zweite Versuchsstrecke verläuft von der Bergstation der „trassXpress“-Gondelbahn den Bergrücken entlang Richtung Schüttdorf bis zur Talstation der „Breiteckbahn“. Auch hier wurden wie schon auf der ersten Piste Messungen bergauf und bergab einerseits im Diesel als auch andererseits im Dual-Fuel Betrieb durchgeführt. Der Geschwindigkeitsverlauf der Dieselfahrt auf Piste 2 ist in Abbildung 2 dargestellt.

Piste	Kraftstoffart	Fahrtrichtung	Weg [km]	Durchschnitts- geschwindigkeit [km/h]	Messdauer [s]
Piste 1	Diesel	bergauf	0,76	11	198
Piste 1	Diesel	bergab	0,66	12	181
Piste 1	Dual- Fuel	bergauf	0,67	11	211
Piste 1	Dual- Fuel	bergab	0,64	15	176
Piste 2	Diesel	bergauf	1,00	11	312
Piste 2	Diesel	bergab	1,00	13	280
Piste 2	Dual- Fuel – I	bergauf	1,00	11	314
Piste 2	Dual- Fuel – I	bergab	1,00	13	262
Piste 2	Dual- Fuel – II	bergauf	1,14	11	357
Piste 2	Dual- Fuel – II	bergab	1,22	14	311

Tabelle 1 - Übersicht der Streckendaten

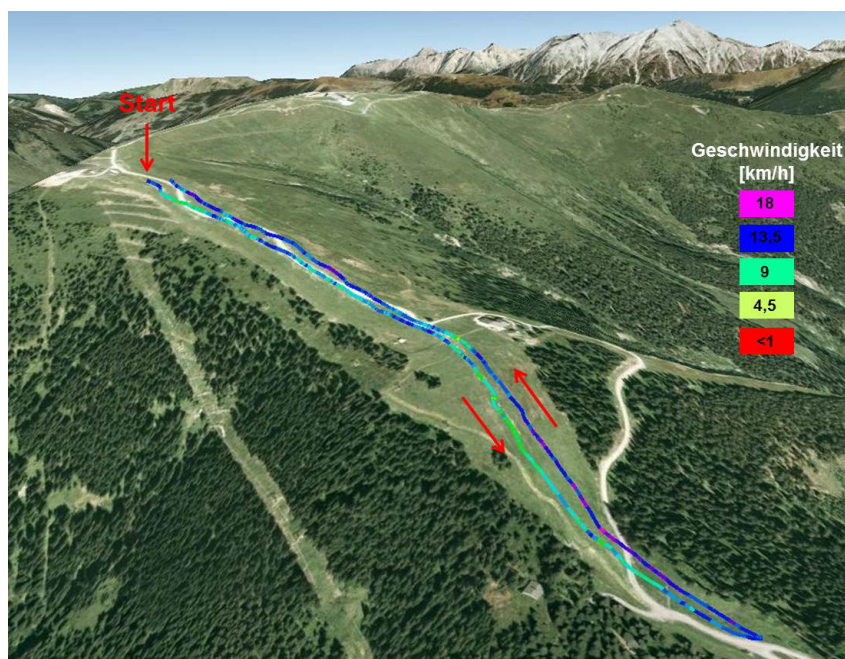


Abbildung 1 - Strecken- und Geschwindigkeitsverlauf der Piste 2 im Dieselpetrieb

Wie in Abbildung 3 zu sehen, variiert der CO₂-Ausstoß stark mit dem Gelände. Im steilsten Stück des Geländes (im unteren Drittel der Strecke) treten in Fahrtrichtung talwärts geringe CO₂-Emissionswerte auf, wohingegen bergauf hohe Abgasemissionen verzeichnet werden.

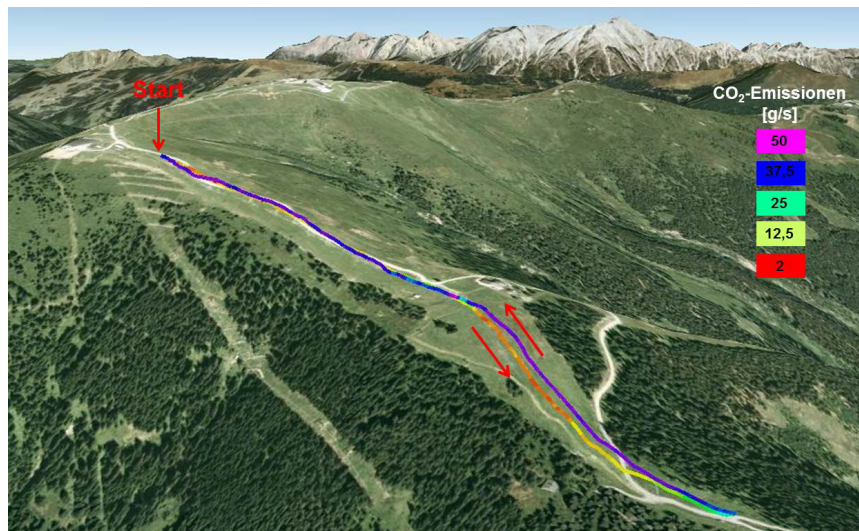


Abbildung 2 - Streckenverlauf und CO₂-Emissionen der Fahrt "BioLNG Dual-Fuel I"

2.3 Antriebstrangentwicklung für BioLNG Pistenraupen Experimentalfahrzeug

Als Versuchsfahrzeug wurde ein Pistenpräparierfahrzeug der Firma Kässbohrer des Typs PistenBully 600 TwinPower eingesetzt. Die Fahrzeuge der Serie Pistenbully 600 sind die größten und leistungsstärksten in der Modelpalette der Firma Kässbohrer. Sie zeichnen sich durch einen niedrigen Schwerpunkt, einen geringen Flächendruck, eine sehr hohe Wendigkeit, besonders gute Steigfähigkeit und eine sehr hohe Schubkraft aus. Derartige Fahrzeuge sind für den Off-Road Einsatz konzipiert und werden vorwiegend in extrem schwierigem Gelände oder, aufgrund ihres geringen Bodendrucks, bei sensiblen Untergründen eingesetzt. Eine Hauptaufgabe dieser Modelle stellt die Präparierung großer Pistenflächen dar. Durch optionales Zubehör können sie jedoch auch diverse andere Aufgaben erfüllen, wie zum Beispiel den Personen- oder den Lastentransport in unwegsamem Gelände. Das Versuchsfahrzeug ist mit einem Räumschild und einer „AlpinFlexFräse“ ausgestattet, welche über einen Hydraulikmotor angetrieben werden.

Das verwendete Präparierfahrzeug besitzt einen Dual-Fuel Antrieb, es wird also mit einem Diesel/Gas-Gemisch betrieben. Auf Basis eines Mercedes-Benz OM 460 LA Dieselmotors wurde dieser mit einem Umrüstsatz der Firma Hardstaff auf einen Zündstrahlmotor umgebaut. Der Einbau und weitere Anpassungen des Systems wurden durch den Projektpartner Infinite vorgenommen. Eine eigene, zusätzliche Motorsteuerung für Dual-Fuel Systeme (Gas-ECU) verwendet die originalen Motordaten und berechnet mit deren Hilfe die größt-

mögliche Substitutionsrate, reduziert dementsprechend den Dieselanteil und ersetzt diesen durch Erdgas.



Abbildung 3 - PistenBully 600 BioLNG TwinPower während einer Messung

Die Substitutionsrate ist lastabhängig und wird durch allfällig auftretendes Klopfen begrenzt. Ein Klopfen wird durch zwei Klopfsensoren detektiert, woraufhin die Steuereinheit die Substitutionsrate reduziert. Im Leerlauf ist der Betrieb des Motors ausschließlich mit Dieseldieselkraftstoff möglich. Es besteht auch generell die Möglichkeit das Fahrzeug mit Dieseldieselkraftstoff zu betreiben. Ein eigens vorgesehenes Ventil, das vom Fahrer betätigt werden muss, sperrt die Erdgaszufuhr ab und die Gas-ECU betreibt den PistenBully im Diesel-Modus. Die Zuführung des Erdgases erfolgt über ein zusätzliches Gasrail und ein Gassteuerventil, das den Kraftstoff mit ungefähr 4 bar in das Einlasssaugrohr einbläst.

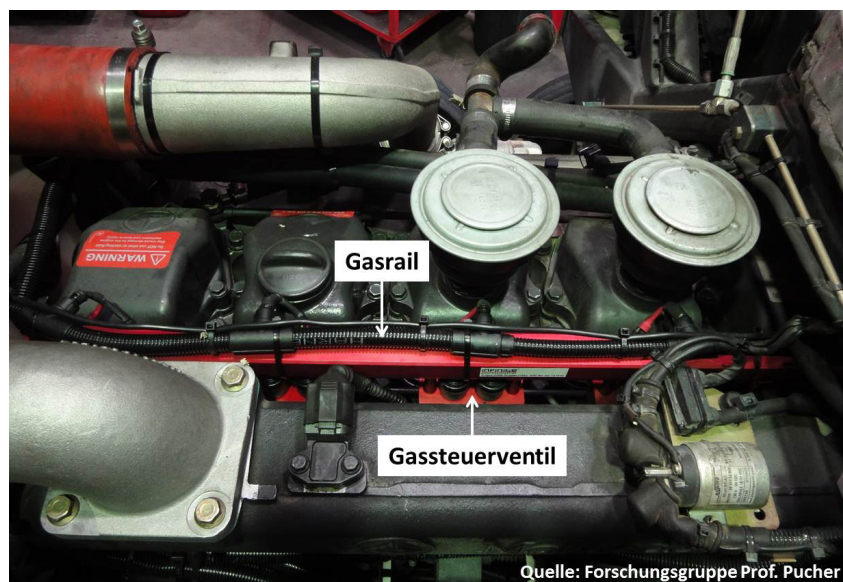


Abbildung 4 - Motorblock mit zusätzlicher Gasrail und Gassteuerventil

Das Erdgas wird komprimiert und gasförmig gespeichert. Dazu wurden drei zusätzliche Erdgastanks auf der Ladefläche des Präparierfahrzeugs verbaut. Insgesamt beträgt das Fas-

sungsvermögen der Erdgastanks ungefähr 100 kg Erdgas. Der Diesel-Tank fasst 220 Liter. Die Betankung des Versuchsfahrzeugs wurde in einer eigens in der Talstation der Gondelbahn errichteten Tankstelle durchgeführt. Dieseldieselkraftstoff und Erdgas können gleichzeitig betankt werden. Der Gasdruck beträgt dabei im Mittel 140 bar.



Abbildung 5 - Installierte Gastanks des Versuchsfahrzeugs

Für die Adaptierung des Präpariergeräts auf den LNG Betrieb wurden dazu als Basis im Detail die Anforderungen an ein solches Fahrzeugkonzept ermittelt sowie ein geeigneter Antriebsstrang und eine nachhaltige Umrüstmethode für dieselbetriebene Pistenraupen auf Zündstrahl-Methanantrieb entwickelt.

Aufbau des Grundfahrzeuges

Nach Ermittlung des Anforderungsprofils wurde als erster Schritt der technischen Umsetzung des Projektes ein Pistenbully BP 600 für die parallele Nutzung von Erdgas und Diesel ausgerüstet. Hierfür wurde ein technisches Basissystem der Firma Hardstaff für die Nutzung in einer Pistenraupe adaptiert.

Weiters wurde das, bis zu diesem Zeitpunkt in Form von CNG Tanks, aufgebaute Tankhaltungssystem als Wechselrahmensystem gestaltet, um die in der Folge geplante Umstellung auf ein LNG Tanksystem zu ermöglichen. Aufgrund der Infrastruktur und um Fehlerquellen für die erste motorseitige Optimierung zu minimieren, wurde zuerst mit leichter zu handhabenden CNG Tanks gearbeitet. Im vorliegenden Fall wurden drei Carbon Leichttanks eingesetzt.

Im speziellen wurde das Wechselrahmensystem mit dem CNG Tankhaltungssystem über CAD Konstruktion erfasst und so konzipiert, dass den erforderlichen und zu erwartenden Verzögerungswerten und den hochalpinen Bedingungen Rechnung getragen wurde.

Auf Basis von CAD Daten wurde der Aufbau erstellt. Motorseitig mussten spezielle Komponentenhalter, unter Bedachtnahme des Einsatzgebietes, konstruiert und umgesetzt sowie mit Druckminderer mit Ansteuerung, Regulationsventil, Coolant Control Valve und Absperrvorrichtung ausgestattet werden. Um dies und den Kabelbaum zu verbauen und an die originale

fahrzeugeigene Steuereinheit anbinden zu können, mussten diverse originale Motorsatellenteile verlegt werden.

Als besondere Herausforderung stellten sich der Einbau und die Anbindung von Klopfensoren als Teil des Motorüberwachungssystems sowie die Positionierung der Gaseinblasdüsen dar.

Anschließend wurde die Verkabelung zur Überwachung ins Armaturenbrett Führerhaus der Maschine gelegt und mit dem Steuergerät verbunden. Danach erfolgte ein Erstbetrieb unter Werkstattbedingungen und eine Grundabstimmung.

Umstellung auf LNG

Anschließend wurde die Umstellung der Maschine auf LNG Betrieb vorgenommen. Der zuvor beschriebene Wechselrahmen wurde entfernt und durch einen Aufbau ersetzt, der es erlaubte, einen LNG – Flüssigerdgastank auf dem Fahrzeug zu montieren. Um dies zu ermöglichen mussten Leitungen entfernt und neue Leitungen zum Front Kit gelegt werden.

Wie sich hier zeigte, musste die Steuereinheit des Biogas – Dual Fuel Systems am Motor durch ein neues System mit überarbeiteter Software ausgetauscht werden, um den gestiegenen Anforderungen in der Steuerung des Erdgasflusses zu den sequentiellen Einblasdüsen und der Steuerung der Sensorik Daten in der Kommunikation mit der Diesel Steuereinheit zu gewährleisten und zu optimieren. Diese Steuereinheit musste seitens des System Lieferanten Hardstaff zugekauft werden. Danach erfolgten im Sommer und am Gletscher.

Da das System von Beginn an als Austauschsystem geplant war, musste für die Umstellung auf BioLNG nur ein neuer Aufbau konzipiert werden. Es war nicht erforderlich, einen kompletten Systemabbau und Wiederaufbau durchzuführen, der sowohl zeit- als auch materialintensiver in der Umsetzung gewesen wäre als es in der vorliegenden Variante. Da es sich aber um einen neuen Aufsatz handelte, wurde der neue Aufbau per CAD Software gezeichnet und bemaßt. Dadurch konnten sowohl Design als auch der Aufwand an Material festgestellt werden, sowie der Arbeits- und Medieneinsatz eingeschätzt werden. Die folgende Abbildung zeigt die Konstruktion, in der die Positionierung am Fahrzeug als auch der Abdeckung des Tanks sowie den LNG Flüssig-Biogastank an sich dargestellt ist.

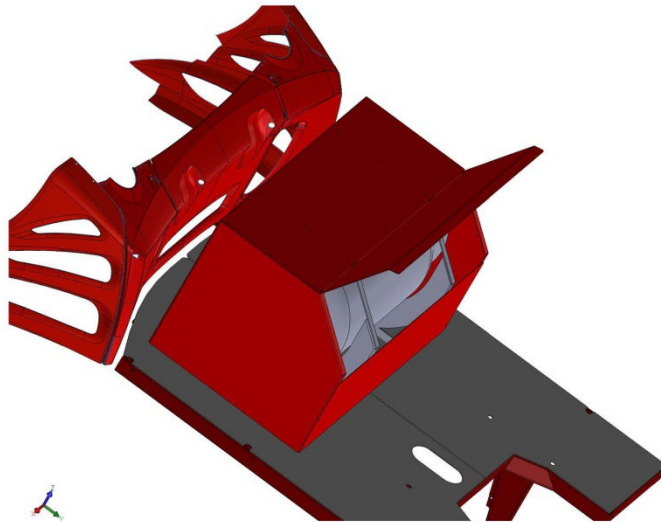


Abbildung 6 - „Huckepack“ BioLNG Aufsatz mit Bereich hinter der Fahrerkabine

Nach der Designentwicklung wurde die Umstellung am Realsystem vorgenommen. Der erste Schritt diesbezüglich war die Entfernung des Wechselrahmensystems als „Gesamtpaket“ und die Montage einer neuen Grundplattform am Fahrzeug. Diese enthielt auch bereits fertige Montageklammern für den LNG Tank, in die der Tank eingepasst und befestigt wurde.



Darauf wurden die Rahmenteile für den Schutzbehälter des Tanks, wie bereits aus der Zeichnung ersichtlich, befestigt. Diese sind zu Tanktausch als auch Wartungszwecke abnehmbar. Innen ist der montierte Tank zu erkennen. In der Folge wurden die Tankanschlusssteile und Leitungen nach vorne in den Motorraum verlegt.

Aus Sicherheitsgründen musste zudem eine Gasüberdruckablass „Nase“ installiert werden, Dies ist damit begründet, dass bei längeren Standzeiten Biogas in die Umgebung entlassen werden muss, da trotz aller thermischer Isolierung über die der Tank verfügt schon bei minimalen Erwärmungen eine Verdampfung des flüssigen Biogases (-163°C) erfolgt und den Druck im Tank erhöht. Übersteigt dieser Druck ein Maximum, so muss aus Sicherheitsgründen der Überdruck entlassen werden. Im Realeinsatz ist dies nur selten zu erwarten, da die

Fahrzeuge im Dauereinsatz sind und eine Stehzeit z.B: über Nacht noch nicht für ein Auslösen sorgt.

Erprobung der Fahrzeuge

Der Erstrealtest wurde im Sommer in einer Schottergrube durchgeführt.

Durch die flache Geländesituation (und damit auch zusammenhängenden fehlenden Druckunterschiede) und die hohen Außentemperaturen konnte in diesem Testrun die Grundabstimmung durchgeführt werden. Dies war als Basis für weitere Optimierungen von großer Bedeutung, da für weitere Hochalpentests von guter technischer Basisfunktionalität ausgegangen werden konnte. Die Tests im Realeinsatzgebiet wurden im Winter fortgesetzt und Optimierungen für die hochalpine Nutzung durchgeführt.

2.4 BioLNG Tankanlage und Infrastruktur

Damit BioLNG als Energieträger auch für Off-road Anwendungen genutzt werden kann, muss eine Versorgung auch abseits bestehender Infrastrukturen gegeben sein. Im Projekt wurde dies über mobile Tankstellensysteme ohne Netzanschluss gewährleistet.

Da der große Vorteil von LNG gegenüber gasförmigem Erdgas die Leitungsunabhängigkeit ist, wird das LNG nicht in Rohren geleitet, sondern auf See in großen LNG Tankern, auf der Schiene als auch auf der Straße in speziellen LNG Tanks transportiert.

Das verflüssigte Erdgas kann entweder in flüssigem, oder in gasförmigem Zustand an den Endverbraucher übergeben werden. In Abbildung 13 ist die Funktionsweise einer Tankstelle dargestellt, die das Flüssigerdgas nicht verdampft, bevor es an den Kunden abgegeben wird, sondern dies in flüssigem Zustand an ihn übergibt.

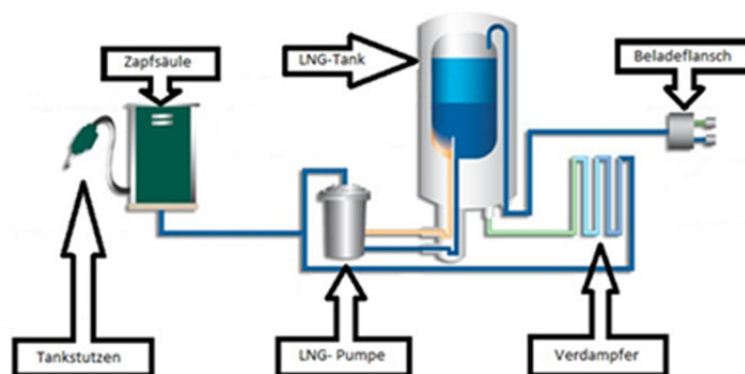


Abbildung 7 - Funktionsweise BioLNG Tankstelle¹

¹ modifiziert nach: NexGen-Presentation; Chart;

Eine Tankstelle, wie sie hier dargestellt ist, wird an der linken Seite über einen LNG Transporter (z.B. CryoGo) aufgefüllt, wobei das flüssige Erdgas am Scheitel des LNG Tanks in diesen gegeben wird, um den Druck im Tank, zu senken. Dies erfolgt, wie schon beim Transport des LNG dargestellt, indem das einfließende flüssige unterkühlte Erdgas, das im Tank schon teilweise verdampfte LNG kondensieren lässt und der Druck im Tank dann aufgrund der Volumenabnahme zurückgeht. Wenn der Druck im Tank bei langer Lagerung zu stark ansteigt, wird aufgedampftes Erdgas aus dem Tank durch einen "Kondensator" geleitet und anschließend wieder zurück in den Tank gepumpt. Auf diese Weise werden Gasverluste durch Abblasen vermieden.² Der Lagertank des LNG besteht in der Innenwand aus kaltzähem Chrom-Nickel-Stahl und an der Außenwand aus korrosionsgeschütztem Baustahl. Isoliert ist ein derartiger Tank durch evakuiertes, nicht brennbares Isolierpulver, das eine besonders verlustfreie Lagerung ermöglicht. Wenn LNG am Tankstutzen entnommen wird, erfolgt die Förderung des Flüssigerdgases mit Hilfe einer LNG Tiefkaltpumpe.

Konzept LNG Erzeugung und Betankungsinfrastruktur

Von der Salzburg AG und Hamworthy wurde ein Konzept für eine Verflüssigungsanlage in Österreich ausgearbeitet. Die Planung dieser Anlage ist soweit fortgeschritten, dass Angebotspreise und Wirtschaftlichkeitsberechnungen für eine Verflüssigungsanlage vorliegen. Für die Errichtung einer solchen Anlage wurden drei Standorte geprüft.

Im Berichtszeitraum wurde der Betrieb von mobilen Gasbetankungsanlagen an mehreren Standorten durchgeführt. An den Standorten wurden PB 600 TwinPower Fahrzeuge betankt.

2.5 Mobiler BioLNG Energieversorgungscontainer

Zur Versorgung der Pistenraupe in ihrem Einsatzgebiet auf Pisten wurde im Rahmen des Projekts ein mobiler BioLNG Container entwickelt, da im alpinen Gelände keine Tankinfrastruktur von vornherein zur Verfügung steht.

Im ersten Schritt wurde eine mobile Versorgung mit LNG auf der Straße aufgebaut. Dazu wurde ein sogenannter Wechselcontainer konzipiert, der als mobile Tankstelle fungierte und von dem aus das Pistengerät direkt betankt werden konnte. In einem weiteren Schritt wurden die hier gewonnenen Erkenntnisse auf eine Versorgungsinfrastruktur mit LNG im off-Road Bereich oder im hochalpinen Gelände umgelegt.

Die Evaluierung der Anforderungen an den Behälter beim Transport von LNG (tiefgekühltes verflüssigtes Gas) ergab folgende zu beachtende Randbedingungen. Bei tiefgekühlten Gasen muss eine sehr hochwertige Isolierung die Erwärmung des Produktes verhindern. Die durch die tiefe Temperatur erfolgte Schrumpfung der Materialien muss konstruktiv berücksichtigt werden. Es wurde ein Behälter (doppelwandiger Behälter mit Superisolierung und

²Vgl.: NexGen-Presentation; Chart; Seite 7

Vakuumisolierung) mit 17.000 Liter Inhalt konstruiert, der auf einem BDF Wechselrahmen aufgebaut wurde. Die Größe des Behälters ergab sich aufgrund von Berechnungen, denen die tägliche Bedarfsmenge an BioLNG, die durchschnittlich zu erreichende Abdampftrate und weitere Parameter zu Grunde lagen. Besonderes Augenmerk lag auf der Lagerung beziehungsweise Verbindung der beiden Behälter.

Auf Basis der Evaluierung der notwendigen Funktionen der „mobilen Tankanlage“ wurde ein optimales Flussschema entwickelt. Die notwendigen Armaturen, Ventile und die Pumpe wurden in einem Armaturenschrank am Heck des Behälters platziert. Dieser Bereich musste aufgrund des LNG in ex-geschützter Bauart ausgeführt werden. Eine Besonderheit ist hier die Pumpe, die in einem eigenen Kühlbehälter sitzt. Dieser Behälter wird ständig mit kaltem Produkt des Transportbehälters gespült um die Pumpe auf konstant tiefer Temperatur zu halten. Damit ist die Anforderung einer schnellen Betankung der Pistengeräte erfüllt. Bei dieser Ausführung muss die Pumpe vor einer Betankung nicht zuerst abgekühlt werden. Ebenso wurde die Möglichkeit eines nachträglichen Einbaus einer Messstrecke zur eichfähigen Abgabe berücksichtigt. Ein flexibler Abgabeschlauch kann seitlich am Behälter gelagert werden. Dieser wird mit einer Abreißkupplung ausgestattet, um Unfälle beim Wegfahren eines Pistengerätes mit angekuppeltem Schlauch zu vermeiden.

Für den off-Road Bereich kristallisierte sich ein Transport mittels Pistengerät und Transportschlitten als am effizientesten heraus.

In Abbildung 16 ist das Schaltschema des Cryobehälters dargestellt. Das Zentrum der verschiedenen Zu- und Ableitungen stellt im Bereich links oben der Tank selbst dar. Wie man auch sehen kann, ist der Tank grundsätzlich aus zwei Schichten aufgebaut, wobei zwischen diesen beiden ein Vakuum herrscht, das der erforderlichen Isolation des Tanks dient. Das Druckventil S2 dient dem Druckabbau, falls sich zwischen den beiden Tankwänden aufgrund eines Defekts ein solcher bilden würde.³ Das zu Ventil S2 gehörige Abblasrohr zeigt, wie auch in dieser Darstellung zu sehen ist, schräg nach oben, so dass keine Person von dem unter Umständen ausströmenden Gas gefährdet werden kann. Bei den Ventilen V32 und V33 handelt es sich um Ventile zur Probenentnahme in gasförmigem und flüssigem Zustand. Die beiden Ventile S1, befinden sich gut sichtbar im Armaturenfeld der Bedienstation, wobei die entsprechende Abblaseöffnung neben dem Bedienfeld angebracht ist, so dass wiederum keine Gefährdung des Bedienpersonals möglich ist. Da das Sicherheitsventil S1 für die Druckregulierung im Tank unerlässlich ist, wird es, wie hier dargestellt, in doppelter Ausführung parallel verbaut, um beim möglichen Defekt eines Ventils die Sicherheit des Systems weiter gewährleisten zu können. Mit Hilfe der Armatur M1 kann der Tankdruck überwacht werden, wozu sich jedoch das Ventil V50 in geöffneter Stellung befinden muss. Mit Hilfe des Differenzdruckmessers wird der Füllstand des Tanks in Prozent des tatsächlichen gesamten Tankvolumens angezeigt, wozu jedoch neben dem bereits angesprochenen Ventil V50 auch das Ventil V 51 geöffnet sein muss. Das Ventil V52, das sich in der Darstellung zwischen

³ Vgl.: Bedienungsanleitung CryoGo; Schwingenschlögell GmbH; Seite 5

den beiden anderen Ventilen befindet, muss dagegen während des Betriebes nie geöffnet werden, sondern ist lediglich zum Test des Füllstandanzeigers (DP) zu betätigen. Das Ventil V11 stellt den so genannten Vakuumkontrollsystemanschluss dar, über den der Zustand des Vakuums im Zwischenraum des Tanks gemessen und kontrolliert werden kann. Die Betätigung dieses Ventils ist jedoch ausschließlich dafür ausgebildetem Personal erlaubt.⁴

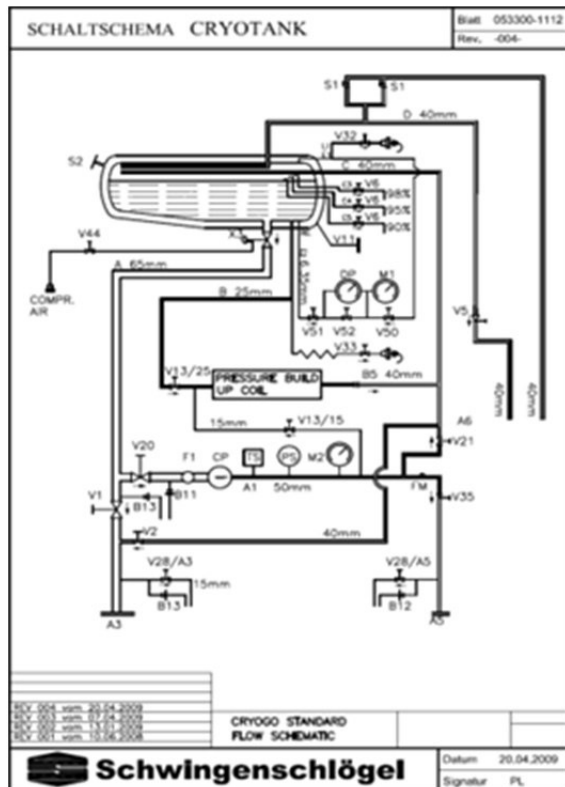


Abbildung 8 - Schaltschema des BioLNG Cryobehälters (links) und Armaturenschrank des Wechselcontainers (rechts)

Befüllung des Cryo-Tanks

Die Befüllung des Cryobehälters erfolgt gravimetrisch. Dies bedeutet, dass das Fahrzeug während und nach dem Befüllen gewogen wird und sobald die zulässige Füllmasse des entsprechenden Gases erreicht ist, der Füllvorgang automatisch abgebrochen wird.⁵ Zur Sicherheit wurden gegen Überfüllung des Tanks die so genannten Peilventile V6, die bei einem Füllstand von 90%, 95% und 98% angebracht sind, installiert, um ein potentielles Überfüllen des Tanks rechtzeitig zu signalisieren. "Da die Peilrohreinstellung nicht die fahrzeugbedingten zulässigen Füllmassen der vorgesehenen tiefgekühlten, flüssigen Gase berücksichtigt", ist ein volumetrisches Befüllen des Tanks mittels der Peilventile V6 nicht gestattet.

⁴ Vgl.: Bedienungsanleitung CryoGo; Schwingenschlögel GmbH; Seite 7

⁵ N.N.: Bedienungsanleitung-CryoGo; Schwingenschlögel GmbH; Seite 9

tet".⁶ Nach dem Befüllen des Cryobehälters sind der Reihe nach die Ventile V1, dann V2 und schließlich X3 zu schließen.

Transport- und Standzeiten des Cryotanks

Während längerer Standzeiten erhöht sich der Druck im Tank, der im Manometer M1 auftritt, aufgrund von Wärmeaufnahme des LNG trotz der Isolierung. Durch das in Abbildung 16 dargestellte Ventil V49, das optional im System erhältlich ist, können über den Regulator S10 kleinere Mengen LNG ziemlich geräuscharm abgegeben werden, was jedoch wiederum mit Gasverlusten verbunden ist, wie auch die Option Druck über das Ventil V5 abzulassen.

Während der Fahrt dagegen nimmt der Druck im CryoGo-Tank ab, was daran liegt, dass dabei LNG im Tank aufschwappt und somit eine größere Oberfläche im Tank einnimmt. Aufgrund dieser größeren Oberfläche des LNG wird die Gasphase besser abgekühlt und kondensiert und dadurch teilweise wieder zu Flüssigerdgas, was eine Verringerung des Tankdrucks zur Folge hat. Grundsätzlich beim Transport von LNG mit diesem System ist, dass während der Fahrt alle Ventile, außer das V50, welches wie erwähnt für die Darstellung des Tankdrucks offen sein muss, geschlossen sind.⁷

Nach der Fertigstellung des Containers wurde ein Wechselrahmen konzipiert, der zum einen den kombinierten Einsatz auf Schiene und Straße und zum anderen auch die Verwendung herkömmlicher LKW Fahrgestelle ermöglicht. Damit soll ein flexibler Transport des Containers ermöglicht werden. Das Wechselrahmensystem wurde daher auf der Basis eines genormten BDF-Rahmens ausgeführt.

Als nächstes wurden ausführliche Tests mit flüssigem Stickstoff durchgeführt. Dabei wurden Beladungs- und Entladungsvorgänge simuliert. Der Wechselcontainer wurde aus einem Sattelaufleger heraus mit Stickstoff beladen und dieser über den flexiblen Betankungsschlauch mit der am Wechselaufbau befindlichen Pumpe wieder abgegeben.

2.6 Validierung der Entwicklungsergebnisse durch On-board Emissionsmessungen und Optimierung des BioLNG Antriebs

Vorbereitend auf die Validierungsmessungen im hochalpinen Gelände wurden im August 2011 Abgasuntersuchungen am Werksgelände der Firma Kässbohrer Geländefahrzeuge AG in Laupheim vorgenommen. Bei dieser Messkampagne kamen für die Lastsimulation des Antriebsstrangs zwei mobile elektrische Belastungsmaschinen zum Einsatz. Die Vorteile dieses Messaufbaus waren die schnelle Installation und vor allem die mobile Nutzungsfähigkeit, womit im Freien gemessen werden konnte. Da damit auch kurzzeitig extreme Lastpunkte,

⁶ N.N.: Bedienungsanleitung-CryoGo; Schwingenschlößel GmbH; Seite 9

⁷ N.N.: Bedienungsanleitung-CryoGo; Schwingenschlößel GmbH; Seite 11

wie zum Beispiel der Betriebspunkt bei Nennleistung, gefahren werden konnten, war während der Messungen auch für eine entsprechend Kühlung des Triebstrangs zu sorgen.

Für die stationären Abgasmessungen des PistenBullys mit einem ultrakompakten Onboard Abgasmessgerät wurde ein neues Konzept zur Messmethodik für detaillierte Brennverfahren- und Antriebsstranganalyse des Dual-Fuel Pistengeräts entwickelt. Damit konnten quantitative Abgasmessungen direkt am Fahrzeug ausgeführt werden. Zum Einsatz kam ein selbst entwickeltes On-Board Messsystem. Das OBM-Messgerät wurde bei dieser Messkampagne außerhalb des Fahrzeugs auf einem Abstellwagen platziert, wodurch dessen Einsatz bestens überwacht werden konnte. Der Aufbau des Messsystems am Fahrzeug und die durchgeführten Messungen bildeten den Schwerpunkt dieser Messkampagne. Des Weiteren wurden mehrere Messmethoden, für die Untersuchung des Kraftstoffverbrauchs und der Substitutionsrate mit unterschiedlichen Messsystemen verglichen und validiert. Im Postprocessing wurden alle Messdaten ausgewertet und entsprechend diskutiert. Schlussendlich soll mit den On-board Abgasmessungen das Potenzial dieser neuen Antriebstechnologie für den Einsatz einer Pistenraupe demonstriert werden. Somit galt es den Kraftstoffverbrauch und die Massenemissionen von CO₂, CO, HC und NO_x zunächst zu erfassen und danach zu analysieren. Dabei half es Vergleiche zum dieselmotorischen Betrieb zu ziehen, um daraus folgend die Stärken und Schwächen der Zündstrahltechnologie herauszuarbeiten.

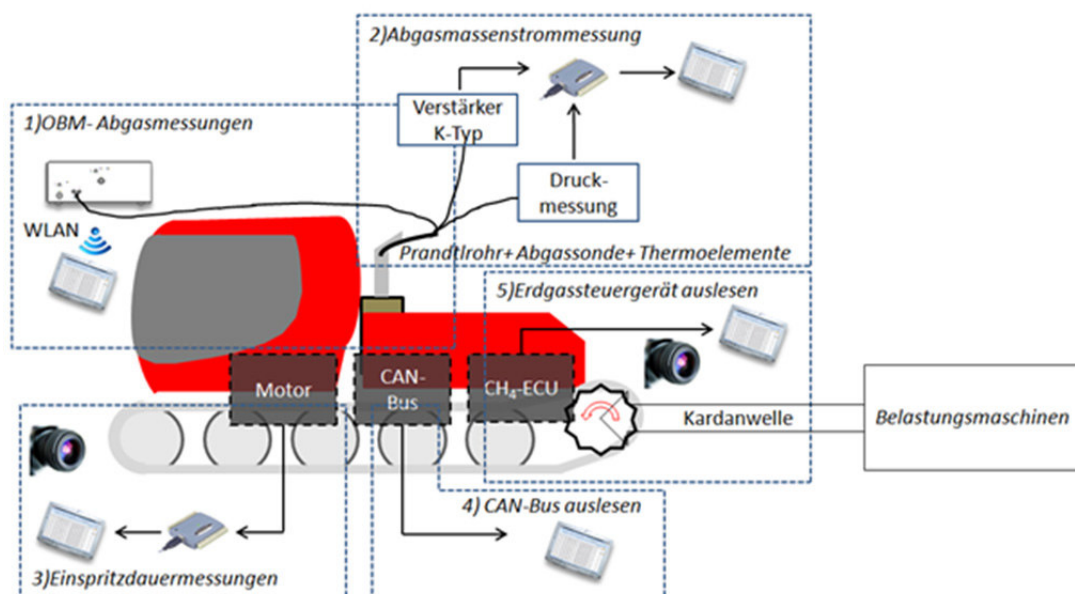


Abbildung 9 – Messaufbau OBM Abgasmessungen für den BioLNG PistenBully 600 TwinPower

Nach der Erstabstimmung der Maschine um ein grundlegendes Fahren zu ermöglichen, wurden Abstimmungen im hochalpinen Bereich – am Kaunertal Gletscher vorgenommen. Im Feldbetrieb wurde vor allem ein Manko im Leichtlastbetrieb festgestellt, das sich durch Ruckeln des Fahrzeuges darstellte. Hier wurden diverse Anpassungen am Kennfeld der Steuereinheit (ECU) vorgenommen. Zudem musste eine Optimierung der Abstimmung zwischen Gasanteil und Dieselanteil in Zusammenspiel mit verbauten Klopfensoren gefunden werden, um den Anteil an Erdgas / Biogas so hoch wie möglich zu halten.

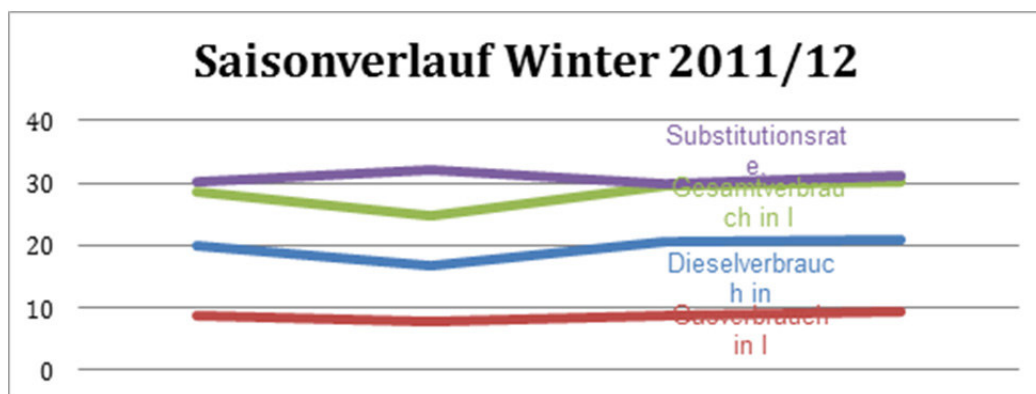
Zuletzt konnte eine zufriedenstellende Konfiguration gefunden werden, die zwar noch weiteres Optimierungspotential hat, aber eine Übergabe der Maschine in eine Testnutzung im Realbetrieb erlaubt.

2.7 Umrüstung weiterer Pistenraupen und Felderprobung

Nach der Optimierung des BioLNG Antriebs wurde eine zweite Maschine für die Nutzung mit Erdgas / Biogas ebenfalls mit einem Tankwechselsystem ausgestattet. Hier konnte bereits auf Erfahrungen der Ausrüstung der ersten Maschine ein Jahr zuvor zurückgegriffen werden.

Die Erfahrungen mit Kennfeld und Klopfsensorenabstimmung aus den Kaunertaltests der ersten Maschine wurden schon vor dem Ersteinsatz des zweiten Gerätes in die Softwareabstimmung miteingebracht.

Eine der Maschinen wurde für die täglichen Präparierarbeiten in einem vielfrequenzierten Skigebiet eingesetzt. Aufgrund anfänglicher Schwierigkeiten durch zu feuchtes Gas, wurde bei der Biogastankstelle ein neuer Gastrockner eingebaut, die Tankanlage entleert und wieder neu befüllt. Nach dem Einbau des Gasentfeuchters war ein weitgehend störungsfreier Betrieb gewährleistet. Während der ganzen Zeit wurden immer wieder geringfügige Anpassungen der Einstellungen durchgeführt. Durch eine Erhöhung des Multiplikationsfaktors Dual Fuel von 1,1 auf 1,2 konnte die Leistung im Dual Fuel Betrieb noch etwas gesteigert werden.



Aus dem Realeinsatz ergaben sich folgende Erfahrungswerte für das Fahrzeug.

Der Dieserverbrauch pro Betriebsstunde betrug 30 Liter. Das Pistengerät fuhr 1.100 Betriebsstunden pro Jahr, womit sich ein jährlicher Dieserverbrauch von 33.000 Liter ergibt.

31 % des Dieserverbrauches konnten durchschnittlich durch Biogas ersetzt werden. Dadurch ist eine Verbrauchsreduktion von 10.230 l Diesel pro Jahr und Gerät realisierbar.

CO₂ Einsparung im Realeinsatz:

Dieseleinsparung pro Jahr in l	CO ₂ - Einsparung pro Jahr in t
10.230	27,5

Aus den Einsatzerfahrungen kann festgehalten werden, dass die derzeit noch vorhandenen kleineren Probleme, beziehungsweise Mängelpunkte vertretbar sind. Bei Weiterentwicklung der BioLNG Dual Fuel Technologie kann davon ausgegangen werden, dass diese Schwierigkeiten behoben werden.

Die geringfügige Leistungsreduktion gegenüber den konventionell dieselbetriebenen Pistengeräten sowie der etwas erhöhten Wartungs- und Instandhaltungsaufwand und die höheren Anschaffungskosten sind durch Förderungen und die Treibstoffersparnis im Laufe der Betriebszeit amortisierbar.

Die BioLNG Twin Power Fahrzeuge waren in den letzten zwei Jahren bereits in Hinterglemm, Kitzbühel, Zell am See und auf der Tauplitz im Einsatz. Eines der Fahrzeuge wurde kürzlich aber auch bereits nach Collorodo, USA überstellt.

3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Messung dargestellt, Real-world Emissionsfaktoren ermittelt und eine Bewertung der Klimarelevanz vorgenommen. Die Daten stammen aus der Messung mit dem OBM. Im Anschluss an die Erfassung der Daten wurden diese aufbereitet und in einem Rechenmodell verarbeitet. Die Auflösung der Messungen beträgt 1 Hz. Die Daten wurden, aufgrund der übersichtlicheren Darstellung und der direkten Aussagekraft über den Streckenabschnitt gemittelt.

3.1 Schadstoffemissionen

Bei Off-Road Fahrzeugen ist die Betriebsstundenzahl eine charakteristische Größe, im Gegensatz zu Personenkraftfahrzeugen, bei denen die Laufleistung in Kilometern einen wesentlichen Parameter darstellt. Daher werden die Schadstoffe in den folgenden Diagrammen in Gramm pro Stunde beziehungsweise bei CO₂ in Kilogramm pro Stunde angegeben.

Piste	Kraftstoffart	Fahrtrichtung	CO ₂ [kg/h]	CO [g/h]	HC ₃ [g/h]	NO _x [g/h]
Piste 1	Diesel	bergauf	168	181	139	1350
Piste 1	Dual-Fuel	bergauf	143	1610	809	1250
Piste 1	Diesel	bergab	23,6	282	250	246
Piste 1	Dual-Fuel	bergab	22,5	433	432	225
Piste 2	Diesel	bergauf	185	765	360	1330
Piste 2	Dual-Fuel	bergauf	155	2800	1330	1230
Piste 2	Diesel	bergab	57,7	267	114	469
Piste 2	Dual-Fuel	bergab	43,3	880	818	370

Tabelle 2 - Übersicht der zeitbezogenen Abgasmassenemissionen

Die folgenden Diagramme zeigen die oben erwähnten Schadstoffe und Messwerte der Tabelle 2 und Tabelle 3 im Detail, so dass ein Vergleich der einzelnen Betriebszustände in einfacher Weise möglich ist.

3.1.1 CO₂-Emissionen

Vor allem während der bergauf Fahrten, somit unter Volllast-Bedingungen, zeigt sich ein klar ersichtlicher Vorteil bei Dual-Fuel Betrieb. Die Kohlendioxidmassenemission liegt auch bei bergab Fahrten unter dem Niveau des Dieselbetriebs. Hier zeigt sich das Verbesserungspotential bei Dual-Fuel Betrieb hinsichtlich des Kohlendioxidausstoßes. Zurückzuführen ist die Senkung der CO₂-Emissionen auf die unterschiedliche chemische Zusammensetzung des Kraftstoffs. Während Dieselkraftstoff aus einem Gemisch mehrerer langkettiger Kohlenwasserstoffe besteht, ist der Hauptbestandteil des verwendeten Biogases Methan (CH₄). Somit nehmen bei der Verbrennung von Methan oder eines Methan-Diesel Gemischs, wie im Falle des Dual-Fuel Prinzips, weniger Kohlenstoffatome an der Verbrennung teil. Es steht dementsprechend auch weniger Kohlenstoff zur Bildung von Kohlendioxid zur Verfügung. In untenstehendem Diagramm ist der CO₂-Ausstoß im Dual-Fuel Betrieb und im Diesel Betrieb ersichtlich.

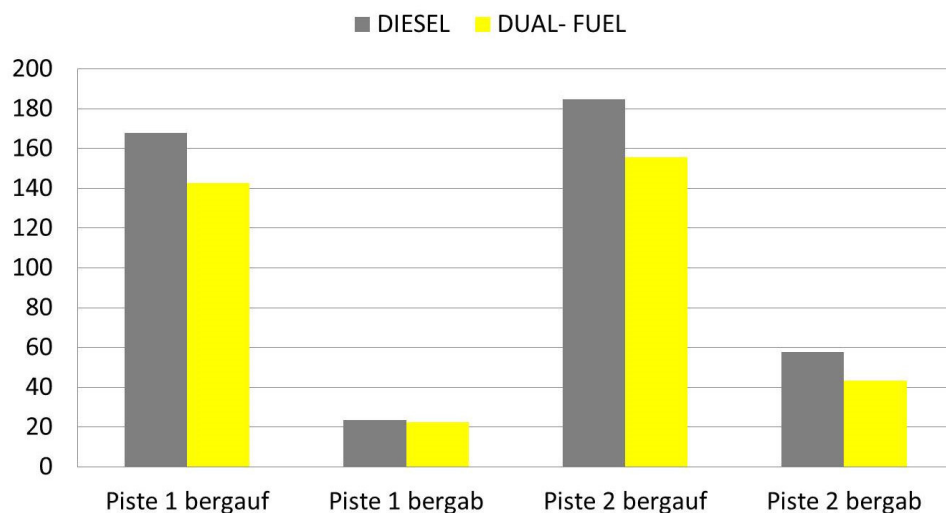


Diagramm 1 - CO₂-Emissionen in [kg/h] für Diesel- und BioLNG Dual-Fuel-Betrieb

Das generell höhere Kohlendioxid-Niveau während der Fahrt auf Piste 2 talwärts, lässt sich aufgrund unterschiedlicher Belastungen im Vergleich zur Talfahrt auf Piste 1 erklären.

3.1.2 NO_x-Emissionen

Die Stickoxidemission können durch den Dual-Fuel Betrieb gesenkt werden. Dies ist ein, für die Dual-Fuel Verbrennung, typischer Effekt.

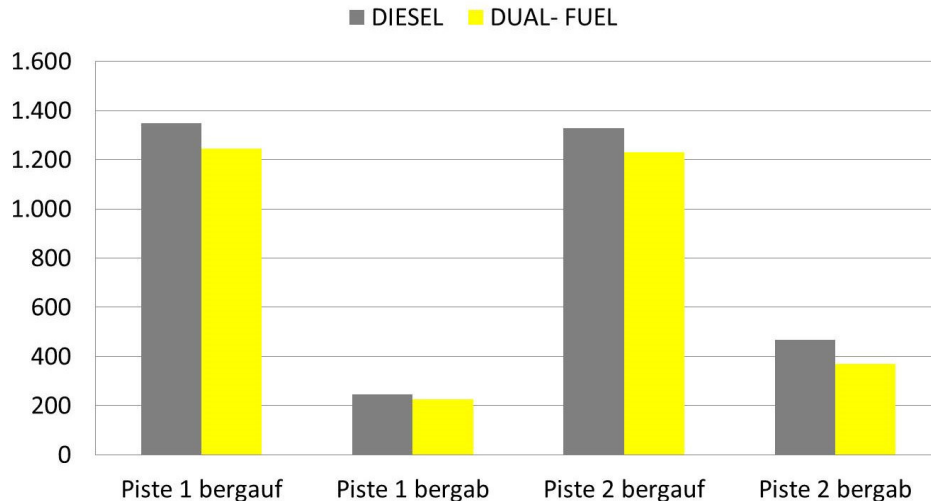


Diagramm 2 - NO_x-Emissionen in [g/h] für Diesel- und BioLNG Dual-Fuel-Betrieb

Die Stickoxidbildung wird im Allgemeinen durch hohe Verbrennungstemperaturen begünstigt. Da die Abgastemperatur im direkten Zusammenhang mit der Verbrennungstemperatur liegt und diese bei den Messungen erfasst wurde, liegt es nahe diese zu analysieren. Bergabfahrten weisen generell ein deutlich niedrigeres Temperaturniveau auf. Der Temperaturunterschied bei Dual-Fuel und Diesel Fahrten, unabhängig von der Fahrtrichtung, ist nicht wesentlich, so dass die Reduktion der NO_x-Werte bei Dual-Fuel Fahrten nicht auf eine Abnahme der Verbrennungstemperatur zurückzuführen ist, sondern auf das Verbrennungskonzept.

3.2 Gesamtenergiebilanz

Diagramm 10 zeigt den Kraftstoffverbrauch in Litern pro Stunde. Die Verbräuche der BioLNG Dual-Fuel Fahrten werden kohlenstoffäquivalent in Liter Diesel angegeben. Es zeigt sich, dass der Kraftstoffverbrauch im BioLNG Dual-Fuel Modus aufgrund der höheren Effizienz auf allen Strecken, mit Ausnahme von „Piste 1 bergab“, deutlich niedriger ist. Berechnet man den Mittelwert der Differenzen über alle Strecken, so beträgt die Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs im Dual-Fuel Betrieb 11 %.

Sehr deutlich zeigt sich anhand des Diagramms der unterschiedliche Energiebedarf der einzelnen Strecken. Der Kraftstoffverbrauch beträgt bei bergauf Fahrten je nach Strecke ungefähr das dreieinhalb bis sechsfachen des Wertes bei bergab Fahrten. Dieses Verhalten zeigt sich sowohl im Diesel- als auch im Dual-Fuel Betrieb. Gleiche Effekte sind auch bei den Messungen auf den Strecken der Piste 2 zu beobachten.

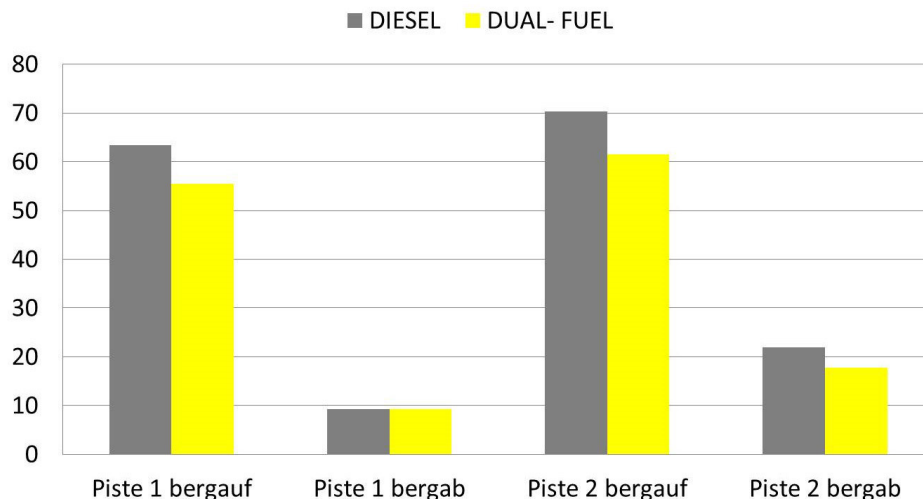


Diagramm 10 - Kraftstoffverbrauch in Litern Diesel pro Stunde (kohlenstoffäquivalent) im Diesel- und BioLNG Dual-Fuel Betrieb

Die genaue Analyse der im Rahmen der experimentellen Untersuchungen erhobenen Verbrauchsdaten ergibt, dass durch Einsatz des BioLNG Antriebs nicht nur eine ganz erhebliche CO₂-Einsparung erzielt werden konnte, sondern auch der Gesamtenergiebedarf durch gesteigerte Effizienz um drei Prozent von 884.000 MJ pro Jahr auf 857.000 MJ pro Jahr gesenkt wurde.

3.3 Wirtschaftliche Kosten-Nutzen Rechnung

Um die ökonomische Rentabilität zu überprüfen, wurde eine Wirtschaftlichkeitsberechnung für Pistengeräte mit Diesel- und im Vergleich dazu mit BioLNG Dual-Fuel Antrieb angestellt.

Gemäß Mineralölsteuergesetzes und Erdgasabgabegesetz haben auch schwere Off-road Nutzfahrzeuge eine Mineralölsteuer beziehungsweise Erdgasabgabe zu entrichten.

Die Erdgasabgabe, die auch für BioLNG gilt, beträgt 6,6 Cent pro Kubikmeter, oder 8,1 Cent pro Kilogramm Gas⁸. Die Mineralölsteuer auf Diesel beträgt zurzeit 39,7 Cent pro Liter.⁹ Zusätzlich zu der Mineralölsteuer oder der Erdgasabgabe muss auch noch die Mehrwertsteuer entrichtet werden. Tabelle 3 veranschaulicht die Treibstoffpreise mit und ohne den zu verrechnenden Steuern.

⁸ §5 (2) Erdgasabgabegesetz, Stand: 10.04.2013

⁹ §3 (2) 3c Mineralölsteuergesetz, Stand: 10.04.2013

Kraftstoff	Netto	davon Mineralölsteuer bzw. Erdgasabgabe	20% Mwst.
Diesel [€/l]	1,18	0,40	0,24
BioLNG [€/kg]	1,05	0,08	0,21

Tabelle 3 - Überblick Treibstoffkosten

Ein herkömmliches Pistengerät mit Dieselantrieb kostet circa 240.000 Euro. Als Berechnungsgrundlage für das BioLNG Pistengerät wurden zu den Anschaffungskosten der Dieselfahrzeuge Umrüstkosten für die Adaptierung auf BioLNG Antrieb hinzugerechnet. Für den Umbau auf eine klimafreundliche Antriebsform muss nunmehr mit Stand 2013 mit einer stark gekürzten Bundesförderung gerechnet werden. Diese Förderung war bis 2012 deutlich höher und deckte in etwa die Umrüstkosten.

Mittels der jeweiligen Verbrauchswerte wurden die jährlichen Kraftstoffkosten errechnet. Aufgrund des niedrigeren Gesamtkraftstoffverbrauchs im BioLNG Betrieb konnte mit Stand 2012 eine jährliche Ersparnis von gut 15% erwirtschaftet werden.

Die Kostenfunktion für das BioLNG betriebene Fahrzeug und jenes mit Dieselantrieb setzt sich aus den Anschaffungskosten und variablen Kosten, bestehend aus Kraftstoff- und Wartungskosten, zusammen. Die Treibstoffkosten wurden anhand der jährlichen Betriebsstunden aus Erfahrungswerten und dem durchschnittlichen Verbrauch berechnet.

Mit einer bis Ende 2012 üblichen Subvention, die in etwa die Umrüstkosten abdeckt, wäre die Pistenraupe mit BioLNG Antrieb bereits nach weniger als drei Jahren wirtschaftlicher als die dieselbetriebene Maschine, wie Abbildung 11 zeigt.

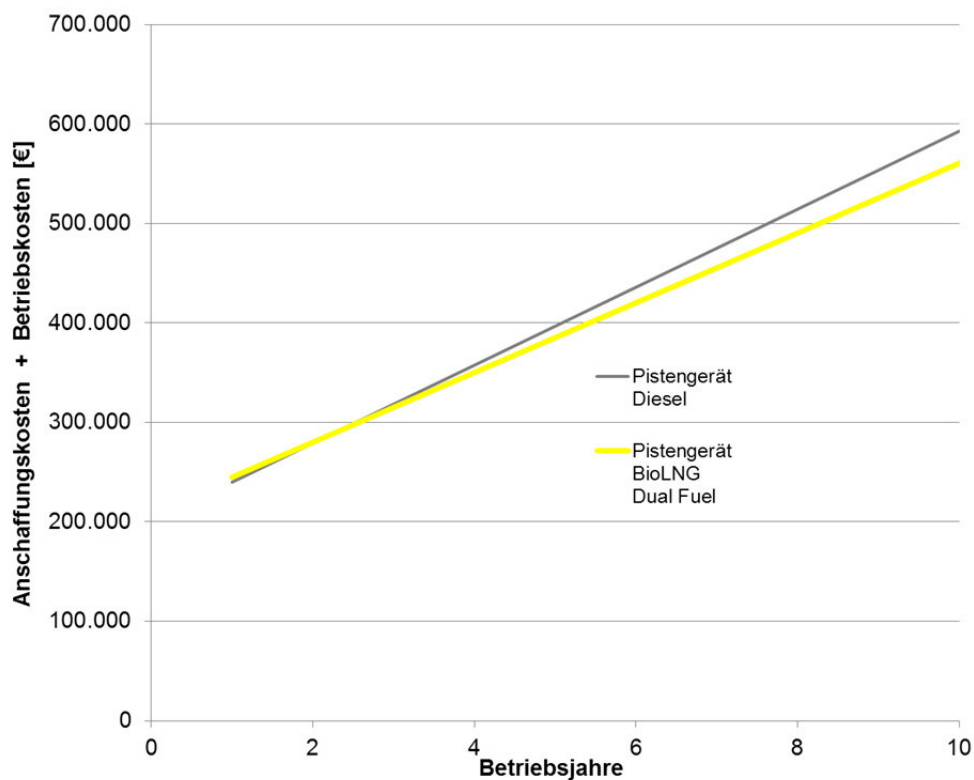


Abbildung 11 - Break-Even-Analyse Pistengeräte Diesel versus BioLNG Dual-Fuel bei Förderung bis 2012

Neben der Reduktion der Treibstoffkosten ist insbesondere die Senkung des realen CO₂ – Ausstoßes als und als direkter Nutzen für Touristen und Beschäftigte sowie die Einwohner in den angrenzenden Gebieten die Absenkung der NO_x-Emissionen hervorzuheben. Zusätzlich entsteht durch die Biogaserzeugung in Salzburg eine CO₂-Senke. Somit können pro Jahr und Pistengerät etwa fünfzig Tonnen CO₂ und zusätzlich 90 Kilogramm NO_x Pistengerät eingespart werden.

Pistengerät BioLNG	CO ₂ Reduktion real	Zusätzliche CO ₂ Senke durch BioLNG Produktion (klimaneutral)	CO ₂ Reduktion gesamt	NO _x Reduktion
	kg	kg	kg	kg
Pro Stunde	24	40	64	0,12
Pro Jahr	18.000	30.000	48.000	90

Tabelle 4 - Gesamt CO₂- und NO_x-Bilanz für den BioLNG Betrieb

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich mit der Substitution von Diesel durch den nachhaltigen Energieträger BioLNG neben dem hohen umwelttechnischen Nutzen auch ein ökonomischer Gleichstand erzielt werden kann. Die höheren Anschaffungskosten werden durch den geringeren Verbrauch mehr als kompensiert.

3.4 Präsentation der Ergebnisse

Der abschließende internationale Workshop „BioLNG Antrieb für schwere Skipisten-Präpariergeräte“ fand am 13.12.2012 in Dorfgastein statt.

Im Rahmen dieses eintägigen Workshops wurden die Forschungsergebnisse des NE2020 Projektes einem interessierten Fachkreis von rund 40 Experten, Betreibern und potenziellen Anwendern präsentiert und diskutiert.



Prof. Ernst Pucher, TU Wien und Konsortialmitglied im Projekt eröffnete die Veranstaltung mit einem Überblick über das Projekt „BioLNG Antrieb für schwere Skipisten-Präpariergeräte“. Neben den umwelttechnischen Vorteilen von erdgasbetriebenen Pistenraupen betonte er auch die Wirtschaftlichkeit dieser nachhaltigen Antriebstechnologie. So könnten die Betriebskosten gesenkt werden, da die Kraftstoffkosten von Erdgas gegenüber Diesel einerseits geringer sind, andererseits jedoch der Energiegehalt höher ist.

Ing. Johann Schmidhuber, gewerberechtlicher Geschäftsführer für Erdgastankstellen bei der Salzburg AG erläuterte das große Potenzial nachhaltiger Biogasherstellung aus Abfallstoffen sowie landwirtschaftlichen Abfallprodukten in Österreich. Dieser umweltfreundliche Kraftstoff wurde auch zum Betrieb der Pistenbullys im Projekt genutzt.

Dipl.-Ing. Kurt Schwingenschlögel, Geschäftsführer der Schwingenschlögel Ges.m.b.H., die Container für Tankwagen und Silofahrzeuge produziert, stellte die Konzeptionierung des Wechseltransportcontainers vor, für die sich das Unternehmen im Forschungsvorhaben verantwortlich zeichnete.

Dipl.-Ing. Jürgen Magg, Projektleiter im Hause der Kässbohrer Geländefahrzeug AG für den PistenBully 600 TwinPower, stellte den im Projekt eingesetzte Prototypen vor und hielt fest, dass das Gassystem bei allen Dieselpreparierfahrzeugen nachrüstbar sei. Kässbohrer sieht für die Zukunft große Chancen für die Verringerung des Dieserverbrauchs und somit des CO₂ Ausstoßes, womit eine nachhaltige Lösung in Skiregionen bereitgestellt werden kann.

Herr Ing. Hannes Mayer, technischer Leiter der Schmittenhöhebahnen AG berichtete über die Einsatzerfahrungen des TwinPower. Die Schmittenhöhebahn AG hat gasbetriebene Pistenfahrzeuge bereits seit 2007 im Einsatz. Auf der Schmittenhöhe ist eine mobile Gastankstelle installiert. Abgesehen vom erhöhten Wartungsaufwand und einer lediglich geringfügigen Leistungsreduktion berichtete er sehr positiv über die Einsparung von circa 11.000 l Diesel und somit eine Reduktion von 28 Tonnen CO₂ pro Pistengerät.

Abschließend präsentierte Herr Prof. Ernst Pucher, die Ergebnisse der Real-world On Board Emissionsmessungen am PistenBully 600 TwinPower und die daraus resultierende Klimarelevanz. Absolut gesehen, konnte eine merkbare Reduktion der CO₂, aber auch eine Verringerung der NO_x Emissionen nachgewiesen werden. Für die ökologisch sensiblen Naturgebiete in und um die Schigebiete bringt dies nachhaltige Vorteile.

Im Anschluss konnten die Dual-Fuel Pistengeräte und der mobile Energieversorgungscontainer vor Ort besichtigt werden.



4 Ausblick und Empfehlungen

Der Fokus des gegenständlichen Forschungsprojekts lag auf der Untersuchung der Schadstoffemissionen einer im Dual-Fuel Modus betriebenen Pistenraupe unter realen Bedingungen im alpinen Gelände. Dabei wurden die CO-, CO₂-, NO-, NO_x- und HC Emissionen ermittelt. Von besonderem Interesse, vor allem im Hinblick auf die Umweltproblematik und den Einsatz dieser Off-Road-Geräte in sensiblen Ökosystemen, war das nachgewiesene Einsparungspotential der Abgasemissionen im Vergleich zu dem Betrieb des Fahrzeugs mit Dieselmotorkraftstoff.

Für die Messungen im alpinen Gelände unter realen Bedingungen musste ein Messplan entwickelt werden. Herausforderungen stellten die beengten Platzverhältnisse im Fahrzeug und der Einbauort des Messsystems in der Bergstation der Schmittenhöhebahn dar. Daher musste der Umfang des Messequipments so gering wie möglich gehalten werden, ohne dabei die Qualität der Messungen zu beeinflussen oder die Handhabung zu erschweren. Dies gelang unter anderem durch die Erfassung des Abgasmassenstroms mit einem Prandtl-Rohr. Dieses System wurde bei vorhergehenden stationären Messungen erstmals angewendet und validiert. In der Vorbereitung auf die Messkampagne konnte die, für die Erfassung

des Abgasmassenstroms zusätzlich verwendete Sensorik, weiterentwickelt und verbessert werden. Zur Reduzierung der Umwelteinflüsse, wie Erschütterungen, Stöße oder extreme Temperaturen, auf das System wurden Vorkehrungen getroffen. Um einen Vergleichswert zur Beurteilung der Dual-Fuel Technologie zu erhalten, wurden sämtliche Messungen jeweils mit Dual-Fuel- und Dieselantrieb durchgeführt.

Die Resultate der Messungen weisen einen relevanten Unterschied der beiden Antriebskonzepte auf. Im Hinblick auf die Kohlendioxidemission weist die Dual-Fuel Technologie einen deutlichen Vorteil gegenüber dem Dieselfahrzeug auf. Ebenso bei den Stickoxidemissionen konnte ein Vorteil nachgewiesen werden. Betrachtet man die Kohlenmonoxidemission und die Emission von unverbrannten Kohlenwasserstoffen so übersteigen die Messwerte im Dual-Fuel Betrieb jene im Dieselmotorbetrieb um ein Vielfaches.

Die unter Realbedingungen direkt am Dual-Fuel Pistengerät durchgeführten On-board Abgasmessungen zeigten einen Rückgang der CO₂ - Emissionen bei Präparierarbeiten bergauf um circa 15% und bergab sogar um mehr als 20%. Auch der NO_x – Ausstoß konnte vor allem im Betrieb bergab teilweise um fast ein Viertel gesenkt werden. Diese Reduktionswerte konnten unter der Substitution von ungefähr 30% Diesel durch BioLNG erreicht werden.

Aus Sicht des in das Projekt eingebundenen Anwenders, der das Dual-Fuel Gerät in seine Flotte integrierte, wo es im Realbetrieb eingesetzt wurde, ist eine Kraftstoffreduktion von 10.230 l Diesel pro Jahr und Gerät realisierbar.

Die Auswertung des Tankbuchs ergab eine mittlere Substitutionsrate von 30 % und liegt somit weit unter den angestrebten Werten. Die Kraftstoffverbrauchswerte, ermittelt durch das OBM und das Tankbuch, weisen eine hohe Korrelation auf.

Dieselfahrzeuge weisen einen, im Vergleich mit anderen Antriebskonzepten, höheren Ausstoß an Stickoxiden auf. Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass dieser durch den Einsatz der Dual-Fuel Technologie deutlich gesenkt wird. Ebenso kann der Kohlendioxidausstoß gesenkt werden. Im Gegenzug wird der Ausstoß an unverbrannten Kohlenwasserstoffen und Kohlenmonoxid deutlich erhöht. Durch den Einsatz eines geeigneten Abgasnachbehandlungssystems wie einen Oxidationskatalysator können diese Emissionen gesenkt werden. Mit dem Einsatz derartiger Maßnahmen kann die Dual-Fuel Technologie eine umweltfreundlichere Alternative zum Betrieb von Pistenraupen darstellen.

Der auch wirtschaftlich sinnvolle Einsatz eines auf Dual-Fuel Betrieb umgerüsteten Pistenpräpariergeräts ist, angesichts der niedrigen mittleren Substitutionsrate von 30 %, getrennt zu betrachten.

Die teilweise Substitution von Diesel durch BioLNG zeigt einerseits ein hohes Reduktionspotential für die Schadstoffemissionen hinsichtlich CO₂ und NO_x, wodurch Wald- aber auch Wohngebiete, die im Umkreis der Skipisten liegen geschützt werden können.

Andererseits kann die Konkurrenzfähigkeit der Skigebiete mittels der Einsparungen beim Dieserverbrauch und des partiellen Ersatzes durch den günstigeren Kraftstoff BioLNG verbessert werden.

Die Erfahrungen aus dem Realbetrieb zeigen derzeit noch kleinere Abstimmungsprobleme sowie eine geringfügige Leistungsreduktion beim Betrieb der Dual-Fuel Maschinen, die jedoch bei einer Weiterentwicklung der Dual Fuel Technologie behoben werden können. Die höheren Anschaffungskosten und der im weiteren auch größere Wartungs- und Instandhaltungsaufwand im Vergleich zu konventionell dieselbetriebenen Pistengeräten können durch die Treibstoffersparnis im Laufe der Betriebszeit und durch Förderungen amortisiert werden.

Im Rahmen der internationalen Abschlusstagung konnten Hersteller, Energieversorger, Betreiber und potentielle Anwender zusammengeführt werden und so ein Grundstein für den verbreiteten Einsatz umweltfreundlicher Pistenraupen in österreichischen Wintersportregionen gelegt werden.

5 Literaturverzeichnis

CACHÓN, L., TÓTH, D., PUCHBERGER, G., PUCHER, E.: "Off-road Emission Performance of SUV with Diesel and Natural Gas Powertrain", 2009-24-0144, SAE International, 2009

BARTUNEK, B.: Direct Injection Natural Gas Technology – Market Introduction for Heavy-duty Commercial Vehicles. Proceedings of the International CTI Forum – Natural Gas Vehicles, Munich 2007.

CACHÓN, L., TÓTH, D., PUCHER, E.: "Real-world Emission Monitoring of Natural Gas Vehicles with Higher Mileage", 2009-24-0151, SAE International, 2009

CACHÓN, L., TÓTH, D., PUCHER, E.: "Real-world Emission Measurements of a High Efficient Monofuel CNG Light Duty Vehicle", 2009-01-1864, SAE International, 2009

PUCHER, E., RUDOLF, M., BERNT, A., KIENER, B., SCHAERFL, A., SEKANINA, A., CACHÓN, L., TÓTH, D.: "CNG Prototype Van with CO₂ Emissions Target of 120 g/km", 2008-07-023, FISITA 2008 World Automotive Congress, 2008

E. PUCHER, A. SEKANINA: "Wege zu abgasfreien Antriebstechnologien für den Schwerverkehr", Vortrag: Symposium, Sauberer Bus- und Güterfernverkehr, ÖAMTC Innsbruck, 27.3.2007

PUCHER, E., SEKANINA, A.: CO₂ Emissionen des Verkehrs, ISBN-Nr.: 978-3-900235-82-6, Hrsg. ÖAMTC AKADEMIE, Wien 2007

E. PUCHER: "Full-range CNG Car - Simulation and Experimental Methods"; Vortrag: NGV - Innovative technologies and alternative fuels for next-generation Powertrain concepts, Berlin (eingeladen); 11.09.2006 - 12.09.2006.

THIEN U., SCHAERFL A., ET AL.: "mila" and innovative automobiles powered by natural gas, presentation slides, workshop, IQPC Congress Natural Gas Vehicle, Berlin 09/2006

RUDOLF M.: Erdgasauto der Zukunft, Fachabend „Erdgasfahrzeuge, 05/2006 in Wien

CH. BERTRAM, E. PUCHER ET AL.: "Die Gasbeschaffenheit als brennverfahrensrelevanter Parameter beim monovalenten aufgeladenen Erdgasmotor"; Vortrag: Haus der Technik Tagung "Gasfahrzeuge - auf dem Weg aus der Nische?", Dresden (eingeladen); 22.06.2006 - 23.06.2006; in: "Gasfahrzeuge - auf dem Weg aus der Nische?", 2006

OBERROITHMAIR C.: „Real-World Abgasemissionen von schweren Pistenraupen“; Diplomarbeit; Technische Universität Wien, 2012

PÖTTSCHACHER S.: „Abgasemissionen von Dual-Fuel Pistenraupen im realen Betrieb“; Diplomarbeit; Technische Universität Wien, 2013

6 Anhang

6.1 *Abbildungsverzeichnis*

Abbildung 1 - Strecken- und Geschwindigkeitsverlauf der Piste 2 im Dieselbetrieb	7
Abbildung 2 - Streckenverlauf und CO ₂ -Emissionen der Fahrt "BioLNG Dual-Fuel I"	8
Abbildung 3 - PistenBully 600 TwinPower während einer Messung	9
Abbildung 4 - Motorblock mit zusätzlicher Gasrail und Gassteuerventil	9
Abbildung 5 - Installierte Gastanks des Versuchsfahrzeugs	10
Abbildung 6 - „Huckepack“ BioLNG Aufsatz mit Bereich hinter der Fahrerkabine	12
Abbildung 7 - Funktionsweise BioLNG Tankstelle	13
Abbildung 8 - Schaltschema des BioLNG Cryobehälters (links) und Armaturenschrank des Wechselcontainers (rechts).....	16
Abbildung 9 - Messaufbau OBM Abgasmessungen für den BioLNG PistenBully 600 TwinPower.....	18
Diagramm 10 - Kraftstoffverbrauch in Litern Diesel pro Stunde (kohlenstoffäquivalent) im Diesel- und BioLNG Dual-Fuel Betrieb.....	24
Abbildung 11 - Break-Even-Analyse Pistengeräte Diesel versus BioLNG Dual-Fuel bei Förderung bis 2012	26

6.2 *Tabellenverzeichnis*

Tabelle 1 - Übersicht der Streckendaten.....	7
Tabelle 2 - Übersicht der zeitbezogenen Abgasmassenemissionen.....	21
Tabelle 3 - Überblick Treibstoffkosten.....	25
Tabelle 4 - Gesamt CO ₂ - und NO _x -Bilanz für den BioLNG Betrieb	26

IMPRESSUM

Verfasser

Salzburg AG für Energie, Verkehr und
Telekommunikation
Bayerhamerstraße 16, 5020 Salzburg
Tel: +43/662/ 8884 - 0
Fax: +43/662/ 8884 - 170
E-Mail: kundenservice@salzburg-ag.at
Web: www.salzburg-ag.at

Projektpartner und AutorInnen

Salzburg AG für Energie, Verkehr und
Telekommunikation
– J. Schmidhuber

TU Wien, Institut für Fahrzeugantriebe und
Automobiltechnik

– E. Pucher, A. Schilk, V. Vana

Kässbohrer Geländefahrzeug AG

– J. Magg

Schwingenschlögel Ges.m.b.H.

– K. Schwingenschlögel,

Schmittenhöhebahnen AG

– H. Mayer

Infinite Energie-, Antriebs- und
Umwelttechnologie GmbH

– W. Müller

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds
Gumpendorfer Straße 5/22
1060 Wien
E-Mail: office@klimafonds.gv.at
Web: www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige
Verantwortung für den Inhalt dieses
Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise
die Meinung des Klima- und Energiefonds
wider.

Weder der Klima- und Energiefonds noch
die Forschungsförderungsgesellschaft
(FFG) sind für die Weiternutzung der hier
enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH