

–Schlussbericht –

„Innovatives Trailerkonzept für den Transport von  
Wasserstoff-Druckgas in Speichern aus  
Verbundwerkstoffen zur Versorgung von Tankstellen“

- gekürzte Fassung ohne vertrauliche Inhalte -

Forschungsvorhaben: 03KP594  
Modellregion Elektromobilität

Projektzeitraum: 01.03.2010 bis 31.10.2011

Ausführende Stelle: Linde Aktiengesellschaft  
Geschäftsbereich Linde Gas  
Innovation Management – IM  
Seitnerstr. 70, 82049 Pullach

Projektleiter: Olof Källgren

# Inhaltsverzeichnis

## Teil I

1. Aufgabenstellung
2. Voraussetzungen zur Durchführung des Vorhabens
3. Planung und Ablauf des Vorhabens
4. Stand der Technik und Wissenschaft

## Teil II

1. Verwendung der Zuwendung
2. Ergebnisse und Zielerreichung
3. Aufwand und Kosten
4. Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

## Teil III

1. Beitrag der Ergebnisse zu den förderpolitischen Zielen
2. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse des Vorhabens, Nebenergebnisse und Erfahrungen
3. Fortschreibung des Verwertungsplans

# Teil I

## 1. Aufgabenstellung

Aufbauend auf bereits geleisteten konzeptionellen Arbeiten war ein Demonstrations-Trailer für den Transport von Wasserstoff im Detail zu planen, zu fertigen, zu testen, für den Straßentransport zuzulassen und als Demonstrationsobjekt für eine neue Generation von Wasserstoff-Trailern zu betreiben.

Das Vorhaben dient der Entwicklung einer Plattformtechnologie für eine effektive Logistik zur Versorgung von Tankstellen mit Wasserstoff.

Technisches Projektziel ist neben der Darstellung und Zulassung des Trailers auch die Planung und Errichtung einer zugehörigen Befüllstation. Die Befüllanlage soll in die bestehende Infrastruktur des Linde Produktionsstandortes in Leuna eingebunden werden. Vorhandene und nutzbare industrielle Elemente am Standort Leuna sind zu nutzen:

i) Wasserstoff-Erzeugung ii) Wasserstoff-Reinigung, iii) Kompressoranlagen bis 220 bar, iv) Trailerabfüllung bis 200 bar, v) Prozessleittechnik.

Die vorhandene Infrastruktur erlaubt auch die Zufuhr erneuerbaren Wasserstoffes in die bestehende Wertschöpfungskette.

## 2. Voraussetzungen zur Durchführung des Vorhabens

Ab 2015 werden Wasserstoff-Fahrzeuge ihre wirtschaftliche und technische Marktreife erreichen und in Serie hergestellt werden. Um die Kundenakzeptanz für H<sub>2</sub>-Fahrzeuge erreichen zu können, ist der frühzeitige Aufbau einer flächendeckenden Wasserstoff-Tankstellen Infrastruktur ein wichtiger Grundstein. Nach Expertenschätzung wird eine erste Grundabdeckung mit dem Aufbau von 1.000 Tankstellen erreicht.

Zur Speicherung und zum Transport wird der Wasserstoff bisher entweder verflüssigt oder auf 200 bar verdichtet. Die Verflüssigung ist mit einem hohen Energieeinsatz verbunden und die Produktionskapazitäten sind derzeit sehr begrenzt. Mit der Verdichtung auf 200 bar werden bisher nur Trailerbeladungen von 370 kg - 580 kg Wasserstoff erreicht.

Im Rahmen des Verbundvorhabens: „Planung zum Aufbau einer flächendeckenden H<sub>2</sub> Infrastruktur in Deutschland“ wurden bereits verschiedene technische Lösungen zum Transport von Wasserstoff im Druckbereich von 450 – 900 bar konzeptionell entwickelt und auf ihre technische Machbarkeit sowie Wirtschaftlichkeit untersucht. Für beide Kriterien wurde eine positive Aussage getroffen.

Dabei stellte sich der Druckbereich > 400 bar als optimal unter den gegenwärtigen Bedingungen des Entwicklungsstandes der benötigten Kohlefasern, der Fertigungstechnologie für Composite-Behälter und der erforderlichen Prüf- und Zulassungsverfahren dar.

Es handelt sich nun um ein Anschlussvorhaben.

### 3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt gliedert sich in folgende Aktivitäten/Arbeitspakete:

1. Komplettierung Conceptual Design
2. Detail- und Behördenengineering inkl. Genehmigungsunterlagen für die Composite-Behälter
3. Detail- und Behördenengineering inkl. Genehmigungsunterlagen und Beschaffung des Trailers
4. Detail- und Behördenengineering inkl. Genehmigungsunterlagen und Beschaffung der H2 Füllstation
5. Fertigung und Zulassung der Composite-Behälter
6. Montage, Zulassung und Inbetriebnahme des Trailers
7. Montage und Inbetriebnahme der H2-Füllstation
8. Testbetrieb des Trailers und der H2 Füllstation

Die Arbeitspakete wurden in folgenden Schritten abgearbeitet:

#### 1. Komplettierung Conceptual Design

- Auswahl des Composite-Behälter Typs
- Prinzipielle Anordnung der Behälter auf dem Trailer
- Sicherheitskonzept
- Vorauswahl Composite –Behälter Herstellern
- Vorauswahl eines Trailerlieferanten
- Konzipierung der erforderlichen Genehmigungs- und Zulassungsverfahren
- Inangsetzung eines Verfahrens zur Erarbeitung und Inkraftsetzung für die Zulassung der neuen Composite-Behälter

#### 2. Detail- und Behördenengineering inkl. Genehmigungsunterlagen für die Composite-Behälter

- Technische Klärung mit und Angebotseinholung
- Angebotsverhandlung
- Abschluß eines Rahmenvertrages
- Auftragsvergabe
- Detail Design für die neuen Composite Behälter im Abstimmung mit Partnern
- Zyklustests mit Testbehältern in verkleinertem Maßstab zur Design-Überprüfung
- Überprüfung von Testmustern der Inliner im Maßstab 1:1
- Herstellung und Test von Prototypen im Maßstab 1:1

### 3. Detail- und Behördenengineering inkl. Genehmigungsunterlagen und Beschaffung des Trailers

- Technische Spezifikation
- Technische Klärung mit und Angebotseinholung
- Angebotsverhandlung
- Abschluß eines Rahmenvertrages
- Auftragsvergabe
- Detailklärung mit dem vorgeschlagenen Lieferanten für das Trailerchassis
- Erarbeitung des Rohrleitungs- und Armaturenkonzeptes
- Erarbeitung des Sicherheitskonzeptes
- Hazop-Studie
- Technische Spezifikation Armaturen und Rohrleitungen
- Detaildesign
- Technische Klärung, Angebotseinholung und –verhandlung sowie Auftragsvergabe für die Entwicklung und Fertigung von Spezialarmaturen
- Beschaffung des Trailerchassis
- Beschaffung der Spezialarmaturen
- Beschaffung von Rohrleitungs- und sonstigem Material

### 4. Detail- und Behördenengineering inkl. Genehmigungsunterlagen und Beschaffung der H2 Füllstation

- Anlagenaufstellungsplanung
  - Verfahrenstechnisches und Sicherheitstechnisches Engineering
  - Durchführung HAZOP Studie
  - Genehmigungsantrag für Füllanlage erstellen
  - Behördliches Genehmigungsverfahren Füllanlage
  - Engineering Abfüllstand
  - Engineering Abfüllverdichterstation
  - Engineering Gasreinigungsstation
  - Erstellung Technische Spezifikationen und Ausschreibungsunterlagen
  - Technische Klärung der Leistungsverzeichnisse(LV's) mit den Bietern und Angebotseinholung
  - Angebots- und Vergabeverhandlung
  - Auftragsvergabe Verdichterstation
  - Auftragsvergabe Abfüllstand
  - Auftragsvergabe Überholung und Anpassung Gasreinigungsstation
- Baumaßnahmen
  - Bauengineering inkl. Aufstellungsplanung
  - Genehmigungsengineering
  - Erstellung Leistungsverzeichnisse
  - Technische Klärung der LV's mit den Bietern und Angebotseinholung
  - Angebots- und Vergabeverhandlung
  - Auftragsvergabe
  - Fortlaufende Bauaufsicht
  - Durchführen Freigaben, Abnahmen, Controlling
  - E-Technik

- Engineering E-Technik
  - Erstellung Technische Spezifikationen und Ausschreibungsunterlagen
  - Technische Klärung der LV's mit den Bietern und Angebotseinholung
  - Angebots- und Vergabeverhandlung
  - Auftragsvergabe Schaltanlage
  - Auftragsvergabe div. E-Technik Ausrüstung (Trafo, USV, ...)
  - Auftragsvergabe BMA und GWA
  - Erstellung Prüf- und Abnahmeengineering
- MSR-Technik, LZAV
    - Engineering MSR Technik
    - Erstellung Technische Spezifikationen und Ausschreibungsunterlagen
    - Technische Klärung der LV's mit den Bietern und Angebotseinholung
    - Angebots- und Vergabeverhandlung
    - Auftragsvergabe Schaltschrankbau
    - Auftragsvergabe Verdichtersteuerung und PLS Einbindung
    - Auftragsvergabe Entwicklung LZAV
    - Erstellung Prüf- und Abnahmeengineering
    -
  - Analytik-Technik
    - Engineering Analytik
    - Erstellung Technische Spezifikationen und Ausschreibungsunterlagen
    - Technische Klärung der LV's mit den Bietern und Angebotseinholung
    - Angebots- und Vergabeverhandlung
    - Auftragsvergabe Aufbau der Analytik
    - Auftragsvergabe der Analysensteuerung
    - Erstellung Prüf- und Abnahmeengineering
  - Allgemeines Engineering
    - Engineering Mechanical Completion
    - Engineering System Completion
    - Engineering TÜV Prüfungen
    - Engineering Inbetriebnahmekonzept

## 5. Fertigung und Zulassung der Composite-Behälter

- Beschaffung Inliner
- Beschaffung Boss(es)
- Beschaffung Composite-Material
- Durchführung der Zulassungstests
- Fertigung der Composite-Behälter

## 6. Montage, Zulassung und Inbetriebnahme des Trailers

- Montage der Composite-Behälter
- Montage Rohrleitungen und Armaturen
- Zulassung und Inbetriebnahme

## 7. Montage und Inbetriebnahme der H2 Füllstation

- Bau
  - Bodenuntersuchung (Kampfmittel und Altlasten)
  - Tiefbauarbeiten
  - Fundamentarbeiten
  - Hochbauarbeiten (Stahlbau, Behälter, ...)
  - Heizung, Lüftung, Klima, Maschinenhauskran, ...
  - Durchführung von Prüfungen, Abnahmen und Inbetriebnahme
- E-Technik
  - Umbau Schalthaus für 10 KV Abgang
  - Verlegung 10 KV Kabel
  - Montage E- Container
  - Montage Transformator
  - Montage E-Schaltanlage
  - Montage USV Anlage
  - Montage Beleuchtung
  - Kabelverlegungsarbeiten
  - Montage Brandmelde- und Gaswarnanlage
  - Anschlussarbeiten von Elektrobaugruppen (Pumpen, Motoren, ...)
  - Durchführung von Prüfungen, Abnahmen und Inbetriebnahme
- MSR Technik, LZAV
  - Montage MSR Container, LZAV
  - Aufbau der MSR Schaltschränke
  - Abnahme der MSR Schaltschränke (FAT)
  - Montage der MSR Schaltschränke
  - Montage der LZAV Terminals und Fahrerhausschränke
  - Verkabelung der Schaltschränke
  - Feldverkabelung
  - Montage der Instrumentierungsbauteile
  - Durchführung von Prüfungen (Loop Check), Abnahmen und Inbetriebnahme
- Rohrleitungsbau, Druckbehälter und Maschinen

- Überholung der DWA Anlage
  - Überholung von Ventilen und Armaturen
  - Montage der Verdichter
  - Aufbereitung und Prüfung von Druckbehältern
  - Montage von Behältern
  - Montage von Rohrleitungen, Ventilen und Armaturen
  - Durchführung von Prüfungen, Abnahmen und Inbetriebnahme
- Analytik
    - Montage Analysenhaus
    - Aufbau der Analysenschaltschränke
    - Verkabelung und Verrohrung der Analyseneinheiten
    - Feldverkabelung und -verrohrung
    - Montage von Instrumentierungs- und Verrohrungsbauteilen
    - Durchführung von Prüfungen (Loop Checks), Abnahmen und Inbetriebnahme
- Abnahmen, Prüfungen und Inbetriebnahme
    - Durchführung Mechanical Completion
    - Durchführung TÜV Prüfungen
    - Durchführung Pre Commissioning
    - Durchführung Commissioning
    - Start up

#### 4. Stand der Technik

Stand der Technik sind Trailer mit einem Betriebsdruck von 200 bar. Diese sind entweder mit Behältern Typ 1 (Stahl-Tubes) oder mit Behältern Typ 2 (Stahl-Behälter mit Verstärkung durch Faserverbundwerkstoffe) ausgerüstet. Mit diesen Trailern wird eine Nutzlast von 370 kg bzw. 580 kg Wasserstoff erreicht. Eine Weiterentwicklung dieser Trailer ist nicht möglich, da die Gewichtsbegrenzung bereits erreicht ist.



## Teil II

### 1. Verwendung der Zuwendung

Siehe Verwendungsnachweis vom 15.11.2011.

### 2. Ergebnisse und Zielerreichung/Nachweis in Zahlen

Das Ziel bestand im Bau eines Demonstrations-Trailers mit erhöhtem Arbeitsdruck zum Transport von Wasserstoff bei Einsatz neuer Composite-Behälter.  
Der Trailer sollte eine Nutzlast (Payload) von > 800 kg haben. Das Entwicklungsziel wird erfüllt.

Bestandteil des Vorhabens war weiterhin die Planung und Errichtung einer Wasserstoff- Abfüllstation. Diese Station wurde in Leuna wie geplant unter Ausnutzung der auf dem dortigen Linde-Standort vorhandenen Infrastruktur gebaut. Sie wird die Betankung des Demonstrationstrailers mit Wasserstoff der geforderten Qualität 5.0 ermöglichen.

Die technischen Entwicklungsziele wurden vollständig erreicht. Aus jetziger Sicht sind somit auch die geplanten wirtschaftlichen Ziele bei Einsatz der Technologie vollständig erreichbar.

### 3. Notwendigkeit von Aufwand und Kosten

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die geleistete Arbeit und der Aufwand gemessen an den gestellten und den erreichten Zielen angemessen war.

Die Zeitverzögerungen und die Mehrkosten gegenüber dem ursprünglichen Antrag ergeben sich vor allem aus zusätzlichen Schritten zur Designoptimierung der Composite-Behälter und erheblichem Mehraufwand für die Entwicklung und Zulassung von Spezialarmaturen. Beides konnte nicht vorausgesehen werden.

#### 4. Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Mit dem Vorhaben wird der neuen Technologie zum Durchbruch verholfen.

Nach der erfolgreichen Erprobungs- und Demonstrationsphase kann die Technologie final optimiert werden und steht dann für den Bau weiterer Trailer zur Versorgung von H<sub>2</sub> Tankstellen und später auch weiterer Kunden (Chemie, Metallurgie u.a.) zur Verfügung.

Damit wird ein wichtiger Schritt zur effektiven Versorgung der Wasserstofftankstellen für die Elektromobilität mit gasförmigem Wasserstoff gegangen.

Gegenüber dem Stand der Technik wird eine erhebliche Einsparung an Transportkosten, Verkehrsbelastung und menschlicher Arbeitszeit erzielt. Dadurch sind die höheren Investitionskosten des Trailers und die Kosten der Füllstation im Vergleich zum Stand der Technik wirtschaftlich.

Durch Reduzierung der Kosten für den gasförmigen Wasserstofftransport wird auch die Wirtschaftlichkeit der Erschließung kleinerer Wasserstoffquellen (z.B. regenerativer), bei denen der Wasserstoff im allgemeinen gasförmig vorliegt, verbessert.

Auf die Verflüssigung mit hohem energetischen und apparativen Aufwand kann verzichtet werden. Durch die Reduzierung von Treibstoffkosten, Materialverschleiß und Verkehr wird ein Beitrag zur Umweltentlastung geleistet.

## Teil III

### 1. Beitrag der Ergebnisse zu den förderpolitischen Zielen

Das Vorhaben wird durch das Förderprogramm „Modellregion Elektromobilität“ gefördert.

Die Ziele des Programms

- Beschleunigung der Marktentwicklung durch gezielte Unterstützung und Förderung der Wasserstoff- und Brennstoffzellenbranchen im mobilen, stationären und portalen Bereich
- Aufbau von Wertschöpfungsketten und Wertschöpfungsanteilen in Deutschland
- Sicherung der Technologieführerschaft und Umsetzung der Technologie in Deutschland werden durch die Abwicklung des Vorhabens und die erzielten Ergebnisse in hohem Maße unterstützt.

Hauptfaktor dabei ist die Kostenreduzierung und umweltfreundlichere Gestaltung des gasförmigen Wasserstofftransports. Dadurch werden auch neue Wasserstoffquellen für die wirtschaftliche Belieferung der Verbraucher erschlossen

### 2. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse des Vorhabens, Nebenergebnisse und Erfahrungen

- Arbeitsdruck eines H2 Trailers  
Unter Berücksichtigung der Begrenzungen der Straßenverkehrszulassungsordnung (Länge, Breite; Höhe und Gewicht sind jeweils begrenzt) und bei Einsatz modernster, hochfester Kohlefasern beträgt der optimierte Arbeitsdruck mehr als 400 bar
- Befüllzeit  
Die Ergebnisse von Zyklustests mit Testbehältern in kleinerem Maßstab zeigen, dass eine schnelle Befüllung des Trailers bis zu minimalen Befüllzeiten von < 80 Minuten ohne Überschreitung der maximal zulässigen Arbeitstemperatur von 65°C sicher möglich ist. Der genaue Grenzwert für die minimal zulässige Befüllzeit hängt noch von der Eintrittstemperatur und der Umgebungstemperatur ab und ist auf der Basis von Versuchen mit dem Trailer zu präzisieren.
- Entleerungszeit  
Es gelten die obigen Aussagen für die Befüllzeit auch sinngemäß für die Entleerungszeit.

### 3. Fortschreibung des Verwertungsplanes

1. Wirtschaftliche und technische Erfolgsaussichten nach Projektende  
Nach der erfolgreichen Erprobung und Demonstration der neuen Technik und einer finalen Optimierung sind die Voraussetzungen gegeben, dass der optimierte Trailer von Linde zur Belieferung von H2 Tankstellen mit gasförmigem Wasserstoff eingesetzt wird

Mittelfristig sind weitere deutliche Erhöhungen der Payload und damit der Wirtschaftlichkeit durch den Einsatz neuer Kohlefasern höherer Festigkeit möglich. Damit könnten höhere Arbeitsdrücke realisiert und/oder ein geringeres Gewicht der Composite-Behälter erreicht werden.