



Konzept und Kosten eines Pipelinesystems zur Versorgung des deutschen Straßenverkehrs mit Wasserstoff

Dennis Krieg

Forschungszentrum Jülich GmbH
Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK)
Brennstoffzellen (IEK-3)

Konzept und Kosten eines Pipelinesystems zur Versorgung des deutschen Straßenverkehrs mit Wasserstoff

Dennis Krieg

Schriften des Forschungszentrums Jülich
Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 144

ISSN 1866-1793

ISBN 978-3-89336-800-6

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	2
1.2	Zielsetzung und Gliederung der Arbeit	5
2	Wasserstoff als Kraftstoff für Pkw	7
2.1	Brennstoffzellen und Wasserstoff als Teil der zukünftigen Elektromobilität	7
2.2	Überblick über den aktuellen Wasserstoffmarkt	10
2.3	Zusammenfassung	12
3	Physikalische Grundlagen	13
3.1	Thermodynamische Eigenschaften von Wasserstoff	13
3.2	Permeation von Wasserstoff durch Feststoffe	21
3.3	Bruchmechanik	27
3.4	Wasserstoffversprödung	35
3.5	Rohrströmung	41
3.6	Wasserstoffkompression	44
3.7	Zusammenfassung	47
4	Technische Komponenten	49
4.1	Sicherheitsaspekte	49
4.2	Vorgelagerte Komponenten	50
4.2.1	Wasserstoffherstellung	51
4.2.2	Reinigungsverfahren für Wasserstoff	54
4.2.3	Großtechnische Speicherung	62
4.3	Rohrleitungen	71
4.3.1	Materialien	71
4.3.2	Betriebseinfluss	76
4.3.3	Vermeidung der Wasserstoffversprödung	82
4.3.4	Stand der Technik	87
4.3.5	Leitungskosten	93
4.3.6	Zusammenfassung und weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf	97
4.4	Verdichter	101
4.4.1	Allgemeine Verdichterprinzipien	102
4.4.2	Verdrängungsmaschinen	103
4.4.3	Turbomaschinen	108
4.5	Nachgelagerte Komponenten	111
4.5.1	Entnahme aus dem Pipelinenetz	113
4.5.2	Wasserstofftankstellen	115
4.6	Zusammenfassung	116
5	Transport- und Verteilungsnetze	119
5.1	Verteilung mit Rohrsystemen	120
5.1.1	Prinzipieller Netzaufbau	120

5.1.2	Druckverluste in Abhängigkeit der Auslegung	124
5.1.3	Anschluss der Tankstellen an das Distributionsnetz	130
5.2	Alternative Versorgungskonzepte	134
5.3	Vergleich der Versorgungsmöglichkeiten	136
5.4	Zusammenfassung	143
6	Wasserstofftransport per Pipeline in Deutschland	145
6.1	Nachfrageverteilung und Anschluss der Tankstellen	145
6.2	Geografische Verteilung des Angebots	151
6.3	Verlauf und Länge des Pipelinenetzes	153
6.4	Kostenfunktion des Rohrleitungssystems	158
6.5	Abschätzung der Pipelinesystemkosten für Deutschland	162
6.6	Zusammenfassung	169
7	Gesamtkosten für die Bereitstellung von Wasserstoff	171
7.1	Herstellungskosten	171
7.2	Bereitstellungskosten an der Tankstelle	176
7.3	Vergleich der Umweltauswirkungen	179
7.4	Zusammenfassung	182
8	Diskussion der Ergebnisse und Literaturabgleich	185
8.1	Investitionskosten des Pipelinesystems	185
8.2	Gesamtkosten für den Wasserstoff	189
9	Zusammenfassung und Ausblick	193
9.1	Zusammenfassung	193
9.2	Ausblick	197
10	Anhang	199
10.1	Abbildungsverzeichnis	199
10.2	Tabellenverzeichnis	203
10.3	Verzeichnis der Akronyme und Formelzeichen	207
10.3.1	Akronyme	207
10.3.2	Chemische Symbole	207
10.3.3	Griechische Formelzeichen	208
10.3.4	Lateinische Formelzeichen	208
10.4	Literaturverzeichnis	211

Brennstoffzellen und Wasserstoff haben das Potenzial, einen wesentlichen Beitrag zu den Herausforderungen des künftigen, emissionsfreien Straßenverkehrs zu leisten. Damit Wasserstoff als Treibstoff für Pkw verwendet werden kann, muss eine flächendeckende Versorgungsinfrastruktur geschaffen werden. Für große Mengen Wasserstoff eignet sich, ähnlich wie beim Erdgas, am besten der gasförmige Transport in Pipelines. Dieses Buch beschäftigt sich damit, ein technisches Konzept für ein Pipelinesystem zu entwerfen, welches den deutschen Straßenverkehr mit Wasserstoff versorgt. Dazu werden der Aufbau, Länge und Beschaffenheit eines Pipelinesystems sowie dessen monetären und ökologischen Aspekte untersucht.

Autor:

Dennis Krieg studierte an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen (RWTH Aachen University) Wirtschaftsingenieurwesen mit der Fachrichtung Maschinenbau. Von Januar 2009 bis August 2012 beschäftigte er sich am Institut für Energie- und Klimaforschung – Brennstoffzellen (IEK-3) im Forschungszentrum Jülich mit Infrastrukturkomponenten, die zur Versorgung von Brennstoffzellenfahrzeugen mit Wasserstoff benötigt werden. Der Inhalt dieses Buches wurde von der RWTH Aachen als Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften angenommen.

Institut:

Die Forschungsaufgaben des Instituts für Energie- und Klimaforschung – Brennstoffzellen (IEK-3) sind auf die Realisierung von Hoch- und Niedertemperaturbrennstoffzellen sowie von entsprechenden Stacks oder Systemen für stationäre und auch mobile Anwendungen ausgerichtet. Ferner umfassen die verfahrens- und systemtechnischen Entwicklungen die Bereitstellung von Apparaten zur Brenngaserzeugung. Diese Arbeiten werden von physikalisch-chemischen Grundlagenuntersuchungen sowie systemanalytischen Studien der Energieverfahrenstechnik begleitet.