

ALBERO – Transport alternativ betriebener Fahrzeuge auf RORO-Fährenschiffen

FKZ: 13N14684

**AP 1.2: Darstellung des Verhaltens alternativer Kraftstoffe in
Havariesituationen**

Bericht zum AP

Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Institut für Sicherheitsforschung

[Stephan Maurer, Ramona Makarow, Christopher Becher]

Inhalt

I.	Einleitung.....	1
I.1	Kraftstoffe für gasbetriebene Fahrzeuge	1
I.1.1	LPG (liquified petroleum gas).....	1
I.1.2	CNG (compressed natural gas)	2
I.1.3	LNG (liquified natural gas)	2
I.1.4	CGH ₂ (compressed hydrogen gas)	2
I.2	Batteriebetriebene Fahrzeuge	3
II.	Literaturverzeichnis	15

Tabellen

Tabelle 1: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von LPG.....	1
Tabelle 2: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von CNG.....	2
Tabelle 3: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von LNG	2
Tabelle 4: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Wasserstoff.....	2
Tabelle 5: Auflistung typischer chemischer Stoffe in Li-Ionen –Sekundärbatterien, die Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit	4
Tabelle 6: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Lithium-Ionen Sekundärbatterien aus Produktdatenblättern (22) (23).....	5
Tabelle 7: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Lithium, auch stellvertretend für Lithiuminterkalationsverbindungen da hier hier Sicherheitsdatenblätter gefunden wurden (7).....	5
Tabelle 8: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Graphit, auch stellvertretend für amorphe Kohlenstoffverbindungen da hier hier Sicherheitsdatenblätter gefunden wurden (7).....	6
Tabelle 9: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Mangandioxid (24).....	6
Tabelle 10: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Kobaltoxiden (24).....	7
Tabelle 11: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Nickeloxid (24).....	7
Tabelle 12: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Eisen(III)phosphat (24).....	8
Tabelle 13: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Polyvinylidenfluorid (25).....	8
Tabelle 14: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Propylencarbonat (24).....	8
Tabelle 15: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Ethylencarbonat (24).....	9
Tabelle 16: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von gamma-Butyrolacton. Der Stoff hat eine Neurotrope Wirkung was auch zu einer Missbräuchlichen Nutzung als Rauschmittel führt (24).....	9
Tabelle 17: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von 1,2-Dimethoxyethan (24).....	10
Tabelle 18: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Dimethylcarbonat (24).....	10
Tabelle 19: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Diethylcarbonat (24).....	11
Tabelle 20: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Ethylacetat (24).....	11

Tabelle 21: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Lithiumtetrafluorborat (26)	12
Tabelle 22: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Lithiumhexafluorophosphat (24)	12
Tabelle 23: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Lithiumbis(oxalato)borat (27)	13
Tabelle 24: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Lithiumtrifluorsulfonimid (27).....	13
Tabelle 25: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Lithiumbis(fluorosulfonyl)imid (28)	14

I. Einleitung

Dieser Bericht fasst die in alternativen Antrieben verwendeten Chemikalien und ihre relevanten physiko-chemischen Eigenschaften zusammen.

I.1 Kraftstoffe für gasbetriebene Fahrzeuge

Bei den gasbetriebenen Fahrzeugen werden als Kraftstoffe LPG (*liquified petroleum gas*), CNG (*compressed natural gas*), LNG (*liquified natural gas*) und CGH2 (*compressed hydrogen gas*) eingesetzt. Während es bei den konventionellen Antrieben, Gasantrieben und Elektroantrieben mittels Brennstoffzelle kommt es in erster Linie durch Lecks zu Gefahren. (1), (2), (3), (4), (5), (6)

Die im nachfolgenden aufgeführten Treibstoffe weisen keine besonderen toxischen Eigenschaften auf. LPG, CNG und LNG sind kleine Kohlenwasserstoffmoleküle welche sich in ihrer Reaktivität gegenüber anderen Chemikalien und Löschmitteln nicht grundsätzlich von herkömmlichen Treibstoffen unterscheiden. Insbesondere sind starke Oxidationsmittel zu vermeiden. Die Stoffe sind nicht selbstentzündlich, können aber unter Umgebungsbedingungen explosionsgefährliche Luftgemische bilden. Wasserstoff/Luft-Gemische sind über einen besonders großen Bereich explosionsgefährlich.

Im Brandfall entstehen aus den gasförmigen Kohlenwasserstoffen – vergleichbar mit herkömmlichen Treibstoffen - Kohlenmonoxid und Kohlendioxid, sowie Wasserdampf. Schaum ist zur Brandbekämpfung ungeeignet. (7)

I.1.1 LPG (liquified petroleum gas)

Bei LPG handelt es sich um verflüssigtes Erdgas, das bei der Erdgas- und Erdölförderung, sowie bei der Raffinierung von Erdöl als Nebenprodukt anfällt.

Tabelle 1: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von LPG

Zusammensetzung (8)	Sommer: 60 % Butan, 40 % Propan (Klasse E) Winter: 40 % Butan, 60 % Propan (Klasse B) geringen Mengen an Propen, Butenen und Pentanen/Pentenen bis 2 g/kg Methanol als Gefrierschutz
Dichte fl.	0,58 – 0,60 g/cm ³
Dichte 1 bar	2,0 - 2,1 kg/m ³ >Luft (7)
Tankdruck [bar]	5 - 15
Temperatur	Umgebungstemperatur
Explosionsgrenze	2 – 10 Vol-%

I.1.2 CNG (compressed natural gas)

Als CNG wird verdichtetes, gasförmiges Erdgas bezeichnet.

Tabelle 2: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von CNG

Zusammensetzung Gasgruppe 2H (9)	87 – 93 mol-% Methan Bis 13 mol-% Propan/Butan
Dichte 1 bar	0,7 – 1,0 kg/m ³ < Luft (7)
Tankdruck [bar]	200 - 250
Temperatur	Umgebungstemperatur
Explosionsgrenze	4 – 17 Vol-%

I.1.3 LNG (liquified natural gas)

Bei LNG handelt es sich um verflüssigtes Erdgas.

Tabelle 3: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von LNG

Zusammensetzung Gasgruppe 2H (9)	87 – 93 mol-% Methan Bis 13 mol-% Propan/Butan
Dichte fl. Dichte 1 bar	0,4 – 0,5 g/cm ³ 0,70 – 1,0 kg/m ³ < Luft (7)
Tankdruck [bar]	8
Temperatur	-170 .. -120 °C
Explosionsgrenze	4 – 17 Vol-%

I.1.4 CGH₂ (compressed hydrogen gas)

CGH₂ ist komprimierter, gasförmiger Wasserstoff (H₂)

Tabelle 4: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Wasserstoff

Zusammensetzung [EN 17124] (10)	> 99,97 mol-% Wasserstoff (H ₂)
Dichte 1 bar	0,09 kg/m ³ < Luft (7)
Tankdruck [bar]	250 – 700
Temperatur	Umgebungstemperatur
Explosionsgrenze	4 – 77 Vol-%

I.2 Batteriebetriebene Fahrzeuge

Bei den batteriebetriebenen Elektro-Fahrzeugen treten Gefahren auch beim Aufladen der Batterie auf.

Für batteriebetriebene Fahrzeuge werden derzeit in erster Linie Lithiumionen-Sekundärbatterien (Akkumulatoren) verwendet. Von diesen existieren eine Vielzahl unterschiedlicher Varianten z. B. LiPo/LiPoly, Lithium-Cobaltdioxid, Lithium-Mangandioxid, Lithium-Vanadium, Lithium-Nickel-Cobalt-Aluminium, Lithium-Eisenphosphat. Die negative Elektrode besteht häufig aus Graphit oder amorphen Kohlenstoffverbindungen, die positive Elektrode hingegen üblicherweise aus Metall(misch)oxiden. (11)

Die Elektrolytlösung besteht aus wasserfreien organischen Lösungsmitteln z.B. Propylencarbonat, Ethylencarbonat, gamma-Butyrolacton. Das Lösungsmittel kann z.B. Zusätze von 1,2-Dimethoxyethan, Dimethylcarbonat oder Diethylcarbonat enthalten. (11) (12) (13)

In dem Elektrolyt sind lithiumhaltige Leitsalze (z.B. Lithiumtetrafluorborat, Lithiumhexafluorophosphat, Lithiumbis(oxalat)borat, Lithiumbistrifluormethansulfonimid, Lithiumbis(fluorosulfonyl)imid) gelöst. (14) (12) (13)

Als Separatoren in der Zelle werden Polyethylen oder Polypropylenfolien genutzt. Als Primäre Umhüllung werden kunststoffbeschichtete Aluminiumfolie (Tütenzellen, pouch-cells) und Aluminium- bzw. Stahlblech genannt. (15)

Es ist bekannt, dass die Verwendung von Lithium Anoden ein Sicherheitsrisiko birgt, da Lithium zur Ausbildung von Dendriten neigt, die zu einem Kurzschluss führen können (16), (17), (18) Kurzschlüsse wiederum können zu einem Aufheizen der Batterie führen, was in Feuern und in extremen Fällen sogar in Explosionen resultieren kann (19). Das Natural Environment Research Council hat in einer Richtlinie zum Gebrauch von Lithium-Batterien einige Beispiele von Unfällen bei falschem Gebrauch der Batterien aufgelistet. So kam es z.B. bei zu langen Ladezeiten zu Feuern und teilweise Explosionen.

Ein weiteres Sicherheitsrisiko stellen die verwendeten Elektrolyte und die darin enthaltenen Salze dar. Bei Beschädigungen der Batterie (auch durch zu hohen Temperaturen, beispielsweise durch Überhitzen nach Kurzschlüssen) kann die Elektrolyt-Flüssigkeit auslaufen (20), (21), (22). Sind diese toxisch, reaktiv gegenüber Wasser oder leicht entflammbar besteht ein hohes Sicherheitsrisiko.

Insgesamt finden weiterhin erhebliche Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Bereich der Li-Ionen-Akkus statt. Es ist daher zu erwarten, dass es in weitere Zukunft zu Veränderungen bei den verwendeten Materialien kommen kann. Die genaue Zusammensetzung der Batterien unterliegen in der Regel dem Betriebsgeheimnis und sind nicht publiziert.

Tabelle 5: Auflistung typischer chemischer Stoffe in Li-Ionen –Sekundärbatterien, die Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit

Lithiumionen-Sekundärbatterien	
Elektroden	<ul style="list-style-type: none"> - Lithium und Lithium Interkalatverbindungen - Graphit und amorphe Kohlenstoffverbindungen - Manganoxide (z.B. Mangandioxid) - Cobaltoxide - Nickeloxide - Eisenphosphat
Elektrolytlösung	Binder: <ul style="list-style-type: none"> - Polyvinylidenfluorid (23) (24)
Elektrolytlösung	<ul style="list-style-type: none"> - Propylencarbonat - Ethylencarbonat - gamma-Butyrolacton. Zusätze von: <ul style="list-style-type: none"> - 1,2-Dimethoxyethan - Dimethylcarbonat - Diethylcarbonat - Ethylacetat (24)
Leitsalze	<ul style="list-style-type: none"> - Lithiumtetrafluorborat - Lithiumhexafluorophosphat - Lithiumbis(oxalat)borat - Lithiumbistrifluormethansulfonimid - Lithiumbis(fluorosulfonyl)imid)
Separatorfolie	<ul style="list-style-type: none"> - Polyethylen - Polypropylen
Gehäuse	<ul style="list-style-type: none"> - Aluminiumblech - Stahlblech - Kunststoffbeschichtete Alufolie

Im nachfolgenden (ab Tabelle 7) werden einige Eigenschaften der in Tabelle 5 aufgeführten Bestandteile in der selben Reihenfolge in eigenen Tabellen aufgeführt. Auf weitere Ausführungen zu Polyethylen, Polypropylen, Aluminiumblech, Stahlblech und beschichteter Kunststoffolie wird verzichtet. bei den genannten Kunststoffen und Metallen sind keine ungewöhnlichen Emissionen oder besondere Reaktionen zu erwarten

Tabelle 6: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Lithium-Ionen Sekundärbatterien aus Produktdatenblättern (23) (24)

Lithiumionen Sekundärbatterien	
Gefahren	<ul style="list-style-type: none"> - Gefahr eines tödlichen Stromschlags - Chemische Gefahren für Mensch und Umwelt durch austretende Inhaltsstoffe und Zersetzungsprodukte - Brennbar - Explosionsgefährlich
Heftige Reaktion bei:	<ul style="list-style-type: none"> - Beschädigung - Erwärmung >120 °C und Feuer möglich - Kontakt des Elektrodenmaterials mit Feuchte/Wasser

Tabelle 7: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Lithium, auch stellvertretend für Lithiuminterkalationsverbindungen da hier hier Sicherheitsdatenblätter gefunden wurden (7)

Lithium	
Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> - Feststoff - Wasserunlöslich - Schmelzpunkt: 180 °C
Gefahren	<ul style="list-style-type: none"> - Selbstentzündlich bei Kontakt mit Wasser oder Luft - In Berührung mit Wasser entstehen entzündliche gase - Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden
Gefährliche chemische Reaktionen bei	Kontakt mit: <ul style="list-style-type: none"> - Wasser - Oxidationsmittel (z.B. Luft, Sauerstoff, Hallogene) - Alkoholen - Halogenen - Oxidierenden Säuren (z.B. Schwefelsäure, Salpetersäure) - Hallogenierten Kohlenwasserstoffen (z.B. Iodmethan, Chloroform) (weitere Angaben siehe Datenblatt)
Reaktionsprodukte bei Brand und Kontakt mit Wasser	<ul style="list-style-type: none"> - Lithiumoxid (ätzend) - Lithiumhydroxid (ätzend) - Wasserstoff (leicht entzündlich)

Tabelle 8: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Graphit, auch stellvertretend für amorphe Kohlenstoffverbindungen da hier hier Sicherheitsdatenblätter gefunden wurden (7)

Graphit	
Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> - Feststoff - Schwer entzündlich - Wasserunlöslich - Kein Schmelzpunkt unter Normaldruck; Sublimiert bei 4500°C
Gefahren	--
Gefährliche chemische Reaktionen bei	Kontakt mit: <ul style="list-style-type: none"> - Fluor - Chlortrifluorid
Reaktionsprodukte bei Brand	<ul style="list-style-type: none"> - Kohlenmonoxid - Kohlendioxid

Tabelle 9: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Mangandioxid (7)

Mangandioxide	
Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> - Feststoff - Nicht brennbar - Wasserunlöslich - Kein Schmelzpunkt unter Normaldruck; Zersetzungstemperatur 535°C
Gefahren	- Gesundheitsschädlichen beim Einatmen und Verschlucken
Gefährliche chemische Reaktionen bei	Kontakt mit: <ul style="list-style-type: none"> - oxidierbaren Stoffen - Säuren (weitere Angaben siehe Datenblatt)
Reaktionsprodukte bei Brand	Keine Angaben

Tabelle 10: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Kobaltoxiden (7)

	Cobaltoxide
Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> - Feststoff - Nicht brennbar - Schwerlöslich in Wasser
Gefahren	<ul style="list-style-type: none"> - Giftig beim Verschlucken - Lebensgefahr beim Einatmen - Sensibilisierend - Kann vermutlich Krebs erzeugen - Stark wassergefährdend
Gefährliche chemische Reaktionen bei	Kontakt mit: <ul style="list-style-type: none"> - Cobalt(II/III) und Cobalt (III) mit Wasserstoffperoxid
Reaktionsprodukte bei Brand	Metalloxidrauch

Tabelle 11: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Nickeloxid (7)

	Nickeloxid
Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> - Feststoff - Nicht brennbar - Schwerlöslich in Wasser
Gefahren	<ul style="list-style-type: none"> - Sensibilisierend - Kann beim Einatmen Krebs erzeugen - wassergefährdend
Gefährliche chemische Reaktionen bei	Kontakt mit: <ul style="list-style-type: none"> - Peroxide wie Wasserstoffperoxid (weitere Angaben siehe Datenblatt)
Reaktionsprodukte bei Brand	Metalloxidrauch

Tabelle 12: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Eisen(III)phosphat (7)

Eisen(III)phosphat	
Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> - Feststoff - Nicht brennbar - Schwerlöslich in Wasser
Gefahren	<ul style="list-style-type: none"> - Schwach wassergefährdend
Gefährliche chemische Reaktionen bei	Kontakt mit: Keine Angaben
Reaktionsprodukte bei Brand	Keine Angaben

Tabelle 13: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Polyvinylidenfluorid (25)

Polyvinylidenfluorid	
Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> - Feststoff - brennbar - Wasserunlöslich - Schmelzbereich 155-170°C - Thermische Zersetzung ab circa 300°C
Gefahren	Keine Angaben
Gefährliche chemische Reaktionen bei	Kontakt mit: Keine Angaben
Reaktionsprodukte bei Brand	<ul style="list-style-type: none"> - Kohlenmonoxid - Flusssäure - Weitere niedermolekulare fluorierte Verbindungen

Tabelle 14: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Propylencarbonat (7)

Propylencarbonat	
Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> - Flüssigkeit - brennbar - Wasserlöslich - Schmelzpunkt: -49°C - Dampfdruck bei 20°C: 4 Pa - Thermische Zersetzung ab circa 300°C
Gefahren	<ul style="list-style-type: none"> - Verursacht Augenreizungen - Schwach wassergefährdend

Gefährliche chemische Reaktionen bei	Kontakt mit: Keine Angaben
Reaktionsprodukte bei Brand	Keine Angaben

Tabelle 15: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Ethylencarbonat (7)

Ethylencarbonat	
Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> - Feststoff - brennbar - Wasserlöslich - Schmelzpunkt: 36°C
Gefahren	<ul style="list-style-type: none"> - Verursacht schwere Augenreizungen - Schwach wassergefährdend
Gefährliche chemische Reaktionen bei	Kontakt mit: Keine Angaben
Reaktionsprodukte bei Brand	Keine Angaben

Tabelle 16: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von gamm-Butyrolacton. Der Stoff hat eine Neurotrope Wirkung was auch zu einer Missbräuchlichen Nutzung als Rauschmittel führt (7)

Gamma-Butyrolacton	
Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> - Flüssigkeit - brennbar - Wasserlöslich - Wässrige Lösung reagiert sauer - Schmelzpunkt: -44°C - Dampfdruck bei 20°C: 34,4 Pa - UEG: 1,4 Vol.-% - OEG: 16 Vol.-%
Gefahren	<ul style="list-style-type: none"> - Gesundheitsschädlich beim Verschlucken - Verursacht schwere Augenschäden - Kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen - Schwach wassergefährdend
Gefährliche chemische	Kontakt mit: Keine Angaben

Reaktionen bei Reaktionsprodukten bei Brand	Keine Angaben
--	---------------

Tabelle 17: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von 1,2-Dimethoxyethan (7)

1,2-Dimethoxyethan	
Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> - Flüssigkeit - Leicht entzündlich - Wasserlöslich - Schmelzpunkt: -58°C - Dampfdruck bei 20°C: 7780 Pa - UEG: 1,4 Vol.-% - OEG: 10,6 Vol.-% - Dämpfe schwerer als Luft
Gefahren	<ul style="list-style-type: none"> - Flüssigkeit und Dampf leicht entzündlich - Gesundheitsschädlich beim Einatmen - Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Kann das Kind im Mutterleib beeinträchtigen - Kann explosionsgefährliche Peroxide bilden - Schwach wassergefährdend
Gefährliche chemische Reaktionen bei Reaktionsprodukten bei Brand	Kontakt mit: <ul style="list-style-type: none"> - Oxidationsmittel - Bildung von Peroxiden an Luft
Reaktionen bei Brand	Keine Angaben

Tabelle 18: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Dimethylcarbonat (7)

Dimethylcarbonat	
Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> - Flüssigkeit - Leicht entzündlich - Wasserlöslich - Schmelzpunkt: 5°C - Dampfdruck bei 20°C: 5300 Pa - UEG: 3,26 Vol.-% - OEG: 12,87 Vol.-% - Dämpfe schwerer als Luft
Gefahren	<ul style="list-style-type: none"> - Flüssigkeit und Dampf leicht entzündlich - Schwach wassergefährdend

Gefährliche chemische Reaktionen bei	Kontakt mit: <ul style="list-style-type: none"> - Oxidationsmitteln - Reduktionsmitteln - Kalium-tert.-butoxid
Reaktionsprodukte bei Brand	Keine Angaben

Tabelle 19: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Diethylcarbonat (7)

	Diethylcarbonat
Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> - Flüssigkeit - Entzündlich - Wasserlöslich - Schmelzpunkt:- 43°C - Dampfdruck bei 20°C: 1100 Pa - UEG: 1,4 Vol.-% - OEG: 11,7 Vol.-% - Dämpfe geringfügig schwerer als Luft
Gefahren	<ul style="list-style-type: none"> - Flüssigkeit und Dampf entzündbar - Schwach wassergefährdend
Gefährliche chemische Reaktionen bei	Kontakt mit: Keine Angaben
Reaktionsprodukte bei Brand	<ul style="list-style-type: none"> - Kohlenmonoxid - Kohlendioxid

Tabelle 20: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Ethylacetat (7)

	Ethylacetat
Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> - Flüssigkeit - Leicht entzündlich - Wasserlöslich - Schmelzpunkt:- 83°C - Dampfdruck bei 20°C: 9840 Pa - UEG: 2,0 Vol.-% - OEG: 12,8 Vol.-% - Dämpfe schwerer als Luft
Gefahren	<ul style="list-style-type: none"> - Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar - Verursacht schwere Augenreizung - Kann Schläfrigkeit und Benommenheit

	<ul style="list-style-type: none"> verursachen - Schwach wassergefährdend
Gefährliche chemische Reaktionen bei	Kontakt mit: <ul style="list-style-type: none"> - Alkali/Eralkalimetalle - Oleum - Starke Oxidationsmittel - Fluor - Starke Säuren - Starke Basen - Kalium-tert-butoxid
Reaktionsprodukte bei Brand	<ul style="list-style-type: none"> - Kohlenmonoxid - Kohlendioxid

Tabelle 21: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Lithiumtetrafluorborat (26)

	Lithiumtetrafluorborat
Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> - Feststoff - Wasserlöslich - Schmelzpunkt: -283-300°C
Gefahren	<ul style="list-style-type: none"> - Gesundheitsschädlich bei Verschlucken und Einatmen - Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden
Gefährliche chemische Reaktionen bei	Kontakt mit: <ul style="list-style-type: none"> - Säuren - Wasser - Basen - Oxidationsmittel
Gefährliche Zersetzungsprodukte	<ul style="list-style-type: none"> - Fluorwasserstoff - Boroxid - Lithiumoxid

Tabelle 22: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Lithiumhexafluorophosphat (7)

	Lithiumhexafluorophosphat
Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> - Feststoff - Wasserlöslich - Zersetzungstemperatur: -200°C
Gefahren	<ul style="list-style-type: none"> - Giftig bei Verschlucken bei Verschlucken und Einatmen - Verursacht schwere Verätzungen der Haut und

Gefährliche chemische Reaktionen bei	schwere Augenschäden - Schädigt Organe bei längerer oder wiederholter Exposition - Deutlich wassergefährdend
	Kontakt mit: Keine Angaben
Gefährliche Zersetzungsprodukte	- Fluorwasserstoff - Phosphoroxide - Metalloxidrauch

Tabelle 23: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Lithiumbis(oxalato)borat (27)

	Lithiumbis(oxalato)borat
Eigenschaften	- Feststoff - Schmelzpunkt > 300°C
Gefahren	- Verursacht Hautreizungen - Verursacht schwere Augenreizung - Kann die Atemwege reizen
Gefährliche chemische Reaktionen bei	Kontakt mit: Keine Angaben
Gefährliche Zersetzungsprodukte	Keine Angaben

Tabelle 24: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Lithiumtrifluorsulfonimid (27)

	Lithiumtrifluorsulfonimid
Eigenschaften	- Feststoff - Nicht brennbar - Löslich in Wasser - Schmelzpunkt: 234-238°C - alkalisch
Gefahren	- Giftig beim Verschlucken oder Hautkontakt - Verursacht schwere Verätzungen der Haut und Augenschäden - Stark wassergefährdend
Gefährliche chemische Reaktionen bei	Kontakt mit: - Wasser/Feuchte - Starke Oxidationsmittel
Gefährliche	- Kohlenstoffoxide

Zersetzungsprodukte	<ul style="list-style-type: none"> - Stickoxide - Schwefeloxide - Fluorwasserstoff - Lithiumoxid
----------------------------	--

Tabelle 25: Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften von Lithiumbis(fluorosulfonyl)imid (28)

Eigenschaften	Lithiumbis(fluorosulfonyl)imid
Gefahren	<ul style="list-style-type: none"> - Feststoff - Nicht brennbar - Löslich in Wasser - Schmelzpunkt: 234-238°C - alkalisch
Gefährliche chemische Reaktionen bei	Kontakt mit: <ul style="list-style-type: none"> - Wasser/Feuchte - Starke Oxidationsmittel
Gefährliche Zersetzungsprodukte	<ul style="list-style-type: none"> - Kohlenstoffoxide - Stickoxide - Schwefeloxide - Fluorwasserstoff - Lithiumoxid

Im Rahmen diverser Test konnte festgestellt werden, dass CO₂ und H₂ als Oxidationsprodukte des Elektrolyten an der Oberfläche der Elektrode entsteht. Ebenso entstehen dabei kleine Mengen von CH₄, C₂H₄, C₂H₆, C₃H₈ etc. In Zellkomponenten, die Flour enthalten bilden sich organische Flour-Verbindungen (29).

II. Literaturverzeichnis

1. **Melchers, R. E. und Feutrill, W. R.** *Risk assessment of LPG automotive refueling facilities*. 2001, Bd. 74.
2. **Utgikar, V. P. und Thiesen, T.** Safety of compressed hydrogen fuel tanks: Leakage from stationary vehicles. *Technology in Society*. 2005, Bd. 27, 315-320.
3. **Greenberg, M. I.** Liquefied natural gas explosion. *Disaster Medicine*. 2006, 781-783.
4. **Watanabe, S., Tamura, Y. und Suzuki, J.** The new facility for hydrogen and fuel cell vehicle safety evaluation. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2007, Bd. 32, 2154-2161.
5. **Mogi, T., et al.,** Self-ignition and explosion during discharge of high pressure hydrogen. *Journal of loss Prevention in the process industrie* . 2008, Bd. 21, 199-204.
6. **Merilo, E. G., et al.,** Experimental study of hydrogen release accidents in a vehicle garage . *International Journal of Hydrogen Energy*. 2011, Bd. 36, 2436-2444.
7. **IFA Institut für Arbeitsschutz.** GESTIS Stoffdatenbank. [Online] [Zitat vom: 14. 01 2019.]
http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_de/000000.xml?f=templates&fn=default.htm&vid=gestisdeu:sdbdeu.
8. **Deutsche Fassung EN 589:2008+A1.** *Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge - Flüssiggas - Anforderungen und Prüfverfahren*. Berlin : Beuth, 2012.
9. **Deutsche Fassung EN 16723-2.** *Erdgas und Biomethan zur Verwendung im Transportwesen und Biomethan zur Einspeisung ins Erdgasnetz – Teil 2: Festlegungen für Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge*. Berlin : Beuth, 2017.
10. **Deutsche Fassung prEN 17124.** *Wasserstoff als Kraftstoff – Produktfestlegung und Qualitätssicherung – Protonenaustauschmembran (PEM) – Brennstoffzellenanwendungen für Straßenfahrzeuge*. Berlin : Beuth, 2017.
11. **Leuthner, Stephan.** Übersicht zu Lithium-Ionen-Batterien. [Buchverf.] R. Korthauer. *Handbuch Lithium-Ionen-Batterien*. s.l. : Springer, 2013.
12. **Xu, Kang.** nonaqueous Liquid Electrolytes for Lithium-Based Rechargeable Batteries. *Chemical Reviews*. 2004, Bd. 104 No.10.
13. **Qingsong Wang et al.** Progress of enhancing the safety of lithium ion battery from electrolyte aspect. *nano Energy*. 2019, Bd. 55.

14. **BNin-He Zhu et al.** determination of anions in lithium-ion batteries electrolyte by ion chromatography. *Chinese Chemical Letters*. 2016, Bd. 27.
15. **Schmidt, Jan Philip.** Verfahren zur Charakterisierung und medellierung von Lithium-Ionen Zellen. *Schriften des Instiuts für Werkstoffe der Elektrotechnik, Karlsruher Institut für Technologie Band 25*. Karlsruhe : KIT Scientific Publishing, 2013.
16. **Manthiram, A.** Materials challanges and opportunities of Lithium Ion Batteries. *Journal of physical chemistry letters*. 2011, Bd. 2, 176-184.
17. **Winter, M. und Brodd, R. J.** What are batteries, fuel cells and supercapacitors? *Chemical Reviews*. 2004, Bd. 104, 4245-4269.
18. **Girishkumar, G., et al.,** Lithium-Air-Battery: Promise and Challanges. *Journal of Physical chemistry letters*. 2010, Bd. 1, 2193-2203.
19. [Online] [Zitat vom: 09. 01 2012.]
http://www.nerc.ac.uk/about/work/policy/documents/guidance_lithium_batteries.pdf.
20. [Online] [Zitat vom: 9. 1 2012.] http://www.gpbatteries.com/html/pdf/Li-ion_handbook.pdf.
21. **Scrosati, B. und Garche, J.** Lithium batteries: status, prospects and future. *Journal of Power Sources* . 2010, Bd. 195, 2419-2430.
22. **Goodenough, J. B. und Kim, Y.** Challanges for rechargeable Li batteries. *Chemistry of Materials*. 2010, Bd. 22, 587-603.
23. **Robert Bosch GmbH Power Tools.** Sicherheitsinfomrmationen. *ithium-ionen-Akku*. 2012. Revision:31.07.2012 Rev.-No.:4.0.
24. **GmbH, BMZ Batterien-Montage-Zentrum.**
<https://urbanwheelzcargo.com/resources/content/files/Battery%20safety%20documents.pdf>. [Online] [Zitat vom: 17. 01 2019.]
<https://urbanwheelzcargo.com/resources/content/files/Battery%20safety%20documents.pdf>.
25. **Monosuisse.** Sicherheitsdatenblatt B12; handelsname Polyvinylidenfluorid (PVDF) Monofilamentgarne. [Online] 03. 12 2014. [Zitat vom: 14. 01 2019.]
https://www.monosuisse.com/files/monosuisse/inhalte/Sicherheitsdatenblaetter/pvdf-mono-ebr_mb12%20v3-03d.pdf.
26. **ThermoFisher GmbH.**
<https://www.alfa.com/en/content/msds/German/11528.pdf>. [Online] [Zitat vom: 14. 01 2019.]

27. **Sigma-Aldrich.** <https://www.sigmaaldrich.com/MSDS>. [Online] [Zitat vom: 14. 01 2019.]

<https://www.sigmaaldrich.com/MSDS/MSDS/DisplayMSDSPage.do?country=DE&language=de&productNumber=757136&brand=ALDRICH&PageToGoToURL=https%3A%2F%2Fwww.sigmaaldrich.com%2Fcatalog%2Fproduct%2Faldrich%2F757136%3Folang%3Dde>.

28. **TCI America.**

<https://www.tcichemicals.com/eshop/en/us/commodity/L0281/#tabPanel02>. [Online] [Zitat vom: 14. 01 2019.]

<https://www.tcichemicals.com/eshop/en/us/commodity/L0281/#tabPanel02>.

29. **Sun, Jie, et al.,** Toxicity, a serious concern of thermal runaway from commercial Li-ion battery. *Nano Energy*. 2016, Bd. 27, 313-319.