

TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Vienna University of Technology

Diplomarbeit

Auslegung und Aufbau eines Metallhydrid- Speicherprüfstandes

Ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Andreas Werner

E302 Institut für Energietechnik und Thermodynamik

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

B.Sc. Martin Schultes

Matrikelnummer: 0626696

Graffgasse 10 Top 2504
1100 Wien

Wien, Juni 2014

(Martin Schultes)

Vorsitzender: Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Hermann Hofbauer

1. Prüfer: Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Andreas Werner

2. Prüfer: Univ. Prof. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Anton Friedl

Tag der mündlichen Prüfung: 11 Juni 2014

„Errare humanum est, sed errare perseverare diabolicum.“

*Hieronymus; Seneca, Epistulae morales VI, 57, 12;
Cicero, Orationes Philippicae 12, 2*

Inhaltsverzeichnis

Nomenklatur	III
Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis.....	VIII
Kurzfassung.....	IX
Abstract	X
1. Einleitung	- 1 -
2. Stand der Technik – Wasserstoffspeicher	- 4 -
2.1 Hochdruckgaszylinder	- 6 -
2.2 Speicherung von flüssigem Wasserstoff.....	- 8 -
2.3 Physisorption	- 10 -
3. Grundlagen der Hydridtechnologie	- 12 -
3.1 Metallhydride.....	- 12 -
3.1.1 Hydride von intermetallischen Verbindungen und Legierungen.....	- 14 -
3.2 Metallhydridbildung.....	- 15 -
3.2.1 Reaktionsmechanismen.....	- 16 -
3.2.2 Reaktionskinetik.....	- 18 -
3.2.3 Oberflächenverunreinigungen.....	- 20 -
3.2.4 Zyklusstabilität.....	- 21 -
3.3 Thermochemisches Verhalten von Metallhydriden	- 22 -
3.3.1 Thermodynamik idealer Metall-Wasserstoff-Systeme	- 22 -
3.3.2 Thermodynamik realer Metall-Wasserstoff-Systeme	- 25 -
4. Aufgabenstellung.....	- 29 -
5. Prüfstandentwicklung	- 31 -
5.1 Design Versuchsstand	- 31 -
5.2 Tankkonstruktion	- 35 -
5.3 Beschreibung der Einzelteile.....	- 37 -
5.3.1 Wasserstoffkreislauf	- 37 -
5.3.2 Niedertemperatur Kühl-/Heizkreislauf.....	- 45 -
5.3.3 Hochtemperatur Kühl-/Heizkreislauf	- 49 -
5.3.4 Wasserkreislauf-Wärmetauscher.....	- 51 -

6. Vorversuche	- 52 -
6.1 Mahlversuche.....	- 52 -
6.1.1 Mahlvorgang: Charge 1	- 53 -
6.1.2 Mahlvorgang: Charge 2	- 54 -
6.1.3 Mahlvorgang: Charge 3 und Charge 4	- 56 -
6.2 Pressversuche	- 56 -
6.2.1 Pressvorgang: Charge 1.....	- 57 -
6.2.2 Pressvorgang: Charge 2.....	- 58 -
6.2.3 Pressvorgang: Charge 3 und 4.....	- 59 -
6.3 Pressdatenauswertung und Vergleich mit Literatur.....	- 60 -
6.3.1 Auswertung der Pressdaten	- 60 -
6.3.2 Vergleich mit Literaturquellen	- 64 -
7. Aufbau des Prüfstandes	- 66 -
8. Weiterführende Arbeiten	- 69 -
8.1 Bestellungen	- 69 -
8.2 Praktische Arbeiten	- 70 -
9. Zusammenfassung	- 72 -
10. Anhang	- 74 -
A.1 Anlagenschema	- 75 -
A.2 Inventarliste.....	- 76 -
A.3 Datenblätter.....	- 77 -
11. Literaturverzeichnis	- 107 -

Nomenklatur

Verwendete Abkürzungen

ENG	expanded natural graphit
Me	Metall
Ha	Hydralloy C5
HTH	Hochtemperaturhydrid
MTH	Mitteltemperaturhydrid
TTH	Tieftemperaturhydrid

Formelzeichen

Symbol	Bezeichnung	Einheit
a	Löslichkeitsgrenze	H/M ¹
d, D	Durchmesser	[cm]
d _i	Innendurchmesser	[cm]
d ₀	Außendurchmesser	[cm]
d _w	Wanddicke	[cm]
E _a	Aktivierungsenergie	[J/mol]
f _{HYS}	Hysteresefaktor	[J/mol _{H2}]
F _P	Pressdruck	[MPa]
f _{P1}	Plateauanstiegsfaktor	[-]
ΔG	Differenz der freien Enthalpie	[kJ/mol]
ΔH	Reaktionsenthalpie	[J/mol]
ΔH _f ⁰	Standardbildungsenthalpie	[J/mol _{H2}]
K	Konstante	[-]
k _a	Löslichkeitskonstante	[-]
L	Länge	[cm]
m	Masse	[g], [kg]
n	Molmenge	[mol]
p	Druck, Enddruck	[MPa]
p ₀	Anfangsdruck	[MPa]
Δp	Druckdifferenz, Überdruck	[MPa]
R	ideale Gaskonstante	[J/molK]
ΔS	Reaktionsentropie	[J/molK]
ΔS _f ⁰	Standardbildungsentropie	[J/molK]
t	Zeit	[s]
T	Temperatur, absolut	[K]
V, Vol	Volumen	[m ³]
w	Massenbeladung	[Massen%]
X	Reaktionsfortschritt	[-]
ρ _{grav} ^{H2} _{Pellet}	gravimetrische Speicherdichte H ₂	[Gew%]}
ρ _{vol} ^{H2} _{Pellet}	volumetrische Speicherdichte H ₂	[g-H ₂ /l]
σ _v	Zugfestigkeit	[MPa]

¹ Atom Wasserstoff pro Atom Metall

Verwendete Indizes

'	Ein
“	Aus
0	Anfang
abs	Absorption
C	Graphit (ENG)
des	Desorption
eq	Gleichgewicht
Ges	Gesamt
Ges ^M	Gesamt nach Mahlung
grav	gravimetrisch
H	Hydralloy C5
H ₂	Wasserstoff
M	(nach) Mahlung
P	Pressung
Pellet	Pellet (Bezug)
th	theoretisch
vol	volumetrisch
w	Wand

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: PHASENDIAGRAMM VON WASSERSTOFF. NUR IN DEM AUSGEFÜLLTEN BEREICH EXISTIERT WASSERSTOFF IN FLÜSSIGER FORM. (HYDROPOLE-THE SWISS HYDROGEN ASSOCIATION, 2013)	- 4 -
ABBILDUNG 2: AUFLISTUNG DER SPEICHERMETHODEN VON WASSERSTOFF. AUFGELISTET SIND DEREN VOLUMETRISCHE DICHTEN, GRAVIMETRISCHE DICHTEN, ARBEITSTEMPERATUR UND ARBEITSDRUCK (HYDROPOLE-THE SWISS HYDROGEN ASSOCIATION, 2013)	- 5 -
ABBILDUNG 3: VOLUMETRISCHE DICHTEN VON WASSERSTOFF ALS FUNKTION VOM GASDRUCK (HYDROPOLE-THE SWISS HYDROGEN ASSOCIATION, 2013)	- 7 -
ABBILDUNG 4: JOULE-THOMSON-PROZESS (HYDROPOLE-THE SWISS HYDROGEN ASSOCIATION, 2013) .	9 -
ABBILDUNG 5: REAKTIONSMEECHANISMUS DER METALLHYDRIDBILDUNG UND IHREN TEILSCHRITTEN: (1) ANNÄHERUNG, (2) PHYSISORPTION UND DISSOZIATION, (3) CHEMISORPTION UND DIFFUSION, (4)A- UND B-PHASENAUSBILDUNG, (5) PHASENFRONTAUSBILDUNG (KLEIN, 2007)	- 16 -
ABBILDUNG 6: POTENZIALKURVE DER ADSORPTION VON WASSERSTOFF AN EINE METALLOBERFLÄCHE (KLEIN, 2007)	- 17 -
ABBILDUNG 7: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER REAKTIONSKINETIK IN ABHÄNGIGKEIT VON REAGIERENDEN MASSENANTEIL NACH WANG ET. AL (WANG, WANG, LEI, CHEN, & WANG, 1996) (SUTIONO, 2011)	- 20 -
ABBILDUNG 8: KONZENTRATIONS-DRUCK-ISOTHERME UND VAN'T HOFF GERADE REALER METALL-WASSERSTOFF-SYSTEME (SUTIONO, 2011).....	- 22 -
ABBILDUNG 9: REALE METALL-WASSERSTOFFSYSTEME: A) KONZENTRATIONS-DRUCK-ISOTHERME, B) VAN'T HOFF DIAGRAMM. MAN SIEHT SEHR GUT WELCHE ABWEICHUNGEN SICH DURCH DAS REALE VERHALTEN SOWOHL BEI DER KDI ALS AUCH BEI DER VAN'T HOFF GERADE ERGEBEN, (KLEIN, 2007).....	- 26 -
ABBILDUNG 10: GRUNDKONZEPT DES PRÜFSTANDES.....	- 31 -
ABBILDUNG 11: : ANLAGENSCHHEMA FÜR RAHMENAUFBAU. WASSERSTOFFKREISLAUF (NUMMERIERT), NIEDERTEMPERATUR KÜHL- HEIZKREISLAUF (LINKE SEITE), HOCHTEMPERATUR KÜHL- HEIZKREISLAUF (RECHTE SEITE) UND WASSER ZU- UND ABLAUF	- 32 -
ABBILDUNG 12: ANLAGENSCHHEMA FÜR RAHMENAUFBAU; WASSERSTOFFKREISLAUF, NIEDERTEMPERATUR KÜHL-/HEIZKREISLAUF (NUMMERIERT 1-14), HOCHTEMPERATUR KÜHL-/HEIZKREISLAUF (NUMMERIERT 15-28)	- 34 -
ABBILDUNG 13: R3/8" TANK-EINSCHRAUBUNG MIT 8MM KLEMMRINGVERSCHRAUBUNG.....	- 35 -
ABBILDUNG 14: KONSTRUKTIONSZEICHNUNG DES TANKS, (ULLRICH, 2013)	- 36 -
ABBILDUNG 15: : STICKSTOFFDRUCKSCHLAUCH; GEPRÜFT NACH DRUCKGERÄTERICHTLINIE EN 97/23, DIN EN ISO 14113, EN ISO 10380	- 38 -
ABBILDUNG 16: WASSERSTOFFDRUCKSCHLAUCH; GEPRÜFT NACH DRUCKGERÄTERICHTLINIE EN 97/23, DIN EN ISO 14113, EN ISO 10380	- 38 -
ABBILDUNG 17: STICKSTOFF-FLASCHENDRUCKMINDERER DER FIRMA <i>HARRIS CALORIFIC GESMBH</i> -	39
-	
ABBILDUNG 18: WASSERSTOFF-FLASCHENDRUCKMINDERER DER FIRMA <i>HARRIS CALORIFIC GESMBH</i> .	39 -
ABBILDUNG 19: EINSCHRAUBSTUTZEN; LINKS EINSCHRAUBUNG DRUCKMINDERER, RECHTS R1/4" GEWINDE FÜR 8MM KLEMMRINGVERSCHRAUBUNG.....	- 40 -
ABBILDUNG 20: 3/8" SCHLAUCHTÜLLE UND R1/4" 8MM KLEMMRINGVERSCHRAUBUNG.....	- 41 -

ABBILDUNG 21: FERTIG GESCHWEIßTER ADAPTER FÜR DIE AUSGANGSSEITE AM DRUCKMINDERER; RECHTE SEITE 3/8" SCHLAUCHTÜLLE MIT PASSENDER 3/8" LH ÜBERWURFMUTTER, LINKE SEITE R1/4" 8MM KLEMMRINGVERSCHRAUBUNG MIT R1/4" ÜBERWURFMUTTER	- 41 -
ABBILDUNG 22: 2-WEGE-KUGELHAHN DER BAUSERIE V81:	- 42 -
ABBILDUNG 23: EXPLOSIONSZEICHNUNG DES 2-WEGEVENTILS DER BAUSERIE V81 DER FIRMA <i>DK- LOK AUSTRIA GESMBH</i>	- 42 -
ABBILDUNG 24: EXPLOSIONSZEICHNUNG DER BAUSERIE V46A; DIE POSITIONSNUMMER 6 WIRD ALS GRAFOIL (GRAPHIT) AUSGEFÜHRT; <i>DK-LOK AUSTRIA GESMBH</i>	- 43 -
ABBILDUNG 25: 3-WEGE-VENTIL DER BAUSERIE V82; <i>DK-LOK AUSTRIA GESMBH</i>	- 44 -
ABBILDUNG 26: SCHNITT DURCH DAS SICHERHEITSVENTIL DER BAUSERIE V66; <i>DK-LOK AUSTRIA GESMBH</i>	- 44 -
ABBILDUNG 27: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER SCHNEIDRINGDICHTUNG; <i>DK-LOK AUSTRIA GESMBH</i>	- 45 -
ABBILDUNG 28: GERADE VERBINDUNG MIT DER PRODUKTBEZEICHNUNG DU-8M-S; <i>DK-LOK AUSTRIA GESMBH</i>	- 45 -
ABBILDUNG 29: T-STÜCKVERBINDUNG MIT DER PRODUKTBEZEICHNUNG DT-8M-S; <i>DK-LOK AUSTRIA GESMBH</i>	- 45 -
ABBILDUNG 30: PUMPE UNISTAR 2000-A, 230V, 1400 U/MIN, 15 L/MIN; <i>SINNTEC SCHMIERSYSTEME GESMBH</i>	- 46 -
ABBILDUNG 31: TYPENSCHILD DER IMPELLERPUMPE UNISTAR/V 2000-A; <i>SINNTEC SCHMIERSYSTEME GESMBH</i>	- 46 -
ABBILDUNG 32: KONSTRUKTIONSZEICHNUNG DES ROHR-IN-ROHR WÄRMETAUSCHERS	- 47 -
ABBILDUNG 33: 1/2" EINSCHRAUBUNG MIT 8MM KLEMMRINGVERSCHRAUBUNG; <i>TECALTO WIEN GESMBH</i>	- 47 -
ABBILDUNG 34: THERMOELEMENT DES TYPUS K MIT SILIKONKABEL.....	- 48 -
ABBILDUNG 35: GEFERTIGTE THERMOELEMENT-KLEMMRINGVERSCHRAUBUNG ZUR POSITIONIERUNG IN DER ROHRLEITUNG.....	- 48 -
ABBILDUNG 36: T-STÜCK-FITTING DER FIRMA <i>TECALTO GESMBH</i> MIT DER PRODUKTBEZEICHNUNG T 08 L CF.....	- 48 -
ABBILDUNG 37: WASSERDURCHFLUSSMESSER DER FIRMA <i>B.I.O-TECH E.K.</i>	- 49 -
ABBILDUNG 38: IMPELLERPUMPE UNISTAR/V 2000-A, 230V, 1400U/MIN, 15L/MIN; <i>SINNTEC SCHMIERSYSTEME GESMBH</i>	- 50 -
ABBILDUNG 39: ÖLDURCHFLUSSMESSER DER FIRMA <i>B.I.O-TECH E.K.</i>	- 50 -
ABBILDUNG 40: DATENSCHILD DER MÜHLE; <i>KHD HUMBOLDT WEDAG AG</i>	- 52 -
ABBILDUNG 41: MAHLBEHÄLTER; 1 MAHLTROG, 2 RING, 3 ZYLINDER, 4 DECKEL.....	- 53 -
ABBILDUNG 42: ZUSAMMENGESETZTER MAHLKÖRPER/INNENRAUM	- 53 -
ABBILDUNG 43: MÜHLE DER FIRMA <i>KHD HUMBOLDT WEDAG AG</i>	- 53 -
ABBILDUNG 44: MAHLGUT NACH DER ENTLEERUNG DES MAHLBEHÄLTERS; MAHLZEIT 5 MIN.	- 55 -
ABBILDUNG 45: HYDRAULIK DER PRESSE; <i>ALFRED J. AMSLER UND CO.</i>	- 56 -
ABBILDUNG 46: PRESSVORRICHTUNG MIT PELLET-MATRIZE; <i>ALFRED J. AMSLER UND CO.</i>	- 56 -
ABBILDUNG 47: ELEKTROMECHANISCHE UNIVERSALPRÜFMASCHINE <i>ZWICK 1474</i>	- 57 -
ABBILDUNG 48: SCHICHTWEISE ZERFALLENER PELLET DER CHARGE 1; BEIM AUSSPANNEN WAR EIN LEISES KNACKSEN WAHR ZU NEHMEN, DAS AUF EINE RADIALE AUSDEHNUNG BEIM AUSSPANNEN HINDEUTET	- 57 -
ABBILDUNG 49: DARSTELLUNG DER POROSITÄT E ÜBER DEN PRESSDRUCK F_p [MPa]	- 62 -
ABBILDUNG 50: VOLUMETRISCHE SPEICHERDICHTE [G-H ₂ /L] ÜBER DER GRAVIMETRISCHEN SPEICHERDICHTE [GEW%-H ₂] AUF EIN PELLET BEZOGEN.....	- 63 -
ABBILDUNG 51: WERTE AUS DRESDEN; ES WIRD WIE IN ABBILDUNG 49 FÜR VERSCHIEDENE MISCHUNGEN (HYDRALLOY-ENG 2,5GEW%; 5,0GEW% UND 12,5 GEW%) DIE POROSITÄT E ÜBER	

DEM PRESSDRUCK AUFGETRAGEN, (POHLMANN, RÖNTZSCH, HEUBNER, WEIßGRÄBER, & KIEBACK, 2013).	- 65 -
ABBILDUNG 52: VERGLEICH DER WERTE AUS DRESDEN MIT DENEN AUS WIEN. ES WERDEN NUR DIE MISCHUNGEN MIT 12,5 GEW% BETRACHTET, DA ES MIT ANDEREN MISCHUNGSVERHÄLTNISSEN NOCH NICHT ZU SOLCHEN PRESSUNGEN GEKOMMEN IST.	- 65 -
ABBILDUNG 53: PRÜFSTANDAUFBAU; DER OBERE BEREICH (ROT – UMRAHMT) KENNZEICHNET DEN WASSERSTOFFKREISLAUF. DER UNTERE BEREICH (GRÜN – UMRAHMT) KENNZEICHNET DIE KÜHLKREISLÄUFE. IN DEN UNTEREN ECKEN DES UNTERSTELLWAGENS BEFINDEN SICH DIE PUMPEN. DIE PUMPE A 1 FÖRDERT DAS GLYKOL/WASSER-GEMISCH; DIE PUMPE A 2 FÖRDERT DAS THERMOÖL. DIE KÜHLMITTELVORRATSBEHÄLTER (B 1 UND B 2) BEFINDEN SICH ZENTRIERT AN DER UNTERSEITE DES STANDBLECHES.....	- 66 -
ABBILDUNG 54 ZEIGT DEN WASSERSTOFF- (ORANGE) BZW. DEN STICKSTOFF- (GRÜN) VERLAUF BEI DER BELADUNG DES HOCHDRUCKTANKS.....	- 67 -
ABBILDUNG 55: ZEIGT DEN STOFFKREISLAUF (WASSERSTOFF-ORANGE; STICKSTOFF-GRÜN) BEI DER BELADUNG DES NIEDERDRUCKTANKS.....	- 67 -
ABBILDUNG 56: ZEIGT DEN GASVERLAUF BEI DER ENTLADUNG DES HOCHDRUCKTANKS.....	- 68 -
ABBILDUNG 57: ZEIGT DEN WASSERSTOFF- BZW. STICKSTOFFVERLAUF BEI DER ENTLADUNG DES NIEDERDRUCKTANKS.....	- 68 -

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: DIE WICHTIGSTEN TYPEN VON INTERMETALLISCHEN VERBINDUNGEN, DEREN BEISPIELE UND STRUKTUREN. A IST EIN ELEMENT MIT EINER GROßEN AFFINITÄT ZU WASSERSTOFF, UND B IST EIN ELEMENT MIT EINER GERINGEN AFFINITÄT ZU WASSERSTOFF, (ZÜTTEL, 2004).....	- 14 -
TABELLE 2: EINTEILUNG DER METALLHYDRIDE. TTH-TIEFTEMPERATURMETALLHYDRID; MTH-MITTELTEMPERATURMETALLHYDRIDE; HTH-HOCHTEMPERATURMETALLHYDRIDE (SUTIONO, 2011).....	- 15 -
TABELLE 3: FREIHEITSGARDE DES IDEALEN, NICHT ISOTHERMEN SYSTEMS, (SUTIONO, 2011).....	- 25 -
TABELLE 4: EINFLUSSFAKTOREN UND AUSWIRKUNGEN AUF DIE HYSTERESE, (SUTIONO, 2011)	- 28 -
TABELLE 5: FLASCHENDRUCKMINDERER DER FIRMA <i>HARRIS CALORIFIC GESMBH</i> . TABELLE DER PRODUKTREIHE 925. ROTE UMRAHMUNG-STICKSTOFF; GRÜNE-UMRAHMUNG-WASSERSTOFF-	- 38 -
TABELLE 6: TABELLE DER PRODUKTREIHE 925 DER FIRMA <i>HARRIS CALORIFIC GESMBH</i> . DIE VERWENDETEN DRUCKMINDERER SIND BLAU UMRAHMT	- 40 -
TABELLE 7: MATERIALÜBERSICHT DER BAUREIHE V46A; NUMMER 6 WIRD ALS GRAFOIL AUSGEFÜHRT; <i>DK-LOK AUSTRIA GESMBH</i>	- 43 -
TABELLE 8: MATERIALÜBERSICHT DER BAUREIHE V82; <i>DK-LOK AUSTRIA GESMBH</i>	- 43 -
TABELLE 9: MATERIALÜBERSICHT DER BAUSERIE V66 DER FIRMA <i>DK-LOK AUSTRIA GESMBH</i>	- 44 -
TABELLE 10: CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG DES HYDRALLOY C5	- 52 -
TABELLE 11: MAHLAUFZEICHNUNGEN DER CHARGE 1.....	- 54 -
TABELLE 12: MAHLAUFZEICHNUNGEN DER CHARGEN 2,3 UND 4; DA ES BEI DIESEN CHARGE ERST NACH DER MAHLUNG ZU DER VERMISCHUNG MIT ENG KAM SIND DIE MISCHUNGSMENGEN (GRÜN) AUF DER RECHTEN SEITE DER TABELLE DARGESTELLT	- 55 -
TABELLE 13: PRESSAUFEICHNUNGEN DER CHARGEN 1-4.....	- 59 -
TABELLE 14: MESSWERTE DER PELLETS AUS CHARGE 1-4.....	- 60 -
TABELLE 15: BERECHNETE WERTE DER PARAMETER FÜR CHARGE 1-4.....	- 62 -
TABELLE 16: MESSDATEN AUS (POHLMANN, RÖNTZSCH, HEUBNER, WEIßGRÄBER, & KIEBACK, 2013); DIE GEW%-ENG LIEGEN BEI 2,5; 5 UND 12,5. DES WEITEREN WURDEN AUCH GRÖßERE PRESSDRÜCKE ANGEWANDT. SIE LIEGEN ZWISCHEN 75 UND 600 MPA (POHLMANN, RÖNTZSCH, HEUBNER, WEIßGRÄBER, & KIEBACK, 2013)	- 64 -

Kurzfassung

Neben der Wasserstoffspeicherung in Druckbehältern oder Kryotanks stellt die Bindung in Metallhydriden eine vielversprechende Wasserstoffspeicherungsmöglichkeit dar. Auch aufgrund der wohl unausweichlichen Energiewende sollte man Wasserstoff seine Zuwendung schenken. Vor allem im Bereich der Mobilität könnte Wasserstoff eine tragende Rolle übernehmen.

In der vorliegenden Arbeit werden zu Beginn die bestehenden Speicherungsformen von Wasserstoff erklärt. Daran anschließend kommt es zu einer Darlegung der Metallhydride und deren Potential. Unter anderem finden sich Abschnitte zu Reaktionsmechanismen und thermodynamischen Aspekten der Hydridbildung.

Im zweiten Abschnitt wird ein Prüfstand für Metallhydride ausgelegt und konstruiert, sowie der Aufbau und die Anlagenkomponenten genau beschrieben. Ein weiterer Punkt dieser Arbeit stellt die Herstellung von Metallhydridpellets dar. Diese werden zu verschiedenen Mischungen aus Hydralloy C5 und ENG (expanded natural graphite) hergestellt. Die daraus erhaltenen Messdaten werden mit der Literatur verglichen.

Abschließend führt eine „TO-DO“-Liste zukünftige Arbeiten im Bezug auf den Prüfstand an.

Abstract

Through the energy transition hydrogen storage methods are getting more important, especially at mobility applications. Beside the well known pressure vessels and the cryogenic-tanks there is the opportunity to bond hydrogen in metals in form of metal hydrides.

The first part of the current paper deals with the conventional storage methods of hydrogen, followed by metal hydrides and their potential as hydrogen storage. After that the mechanism of the hydride reaction and the thermodynamic aspects are presented.

The second part concerns to the construction and build up process of a test rig for metal hydrides. There will be a detailed explanation of used appliances and instruments. Besides this the production of metal-hydride-pellets is discussed. The pellets are made of various mixtures, including the metal hydride called Hydralloy C5 and ENG (expanded natural graphite). The received values out of the pellets production will be elucidated, followed by a comparison to a similar work written by Carsten Pohlmann, Lars Röntzsch a.o. from the Technical University of Dresden.

Finally further tasks concerning the build up process of the test rig are listed up in from of a “to-do”-list.

1. Einleitung

Die Erfindung der ersten Dampfmaschine im Jahre 1712 durch Thomas Newcomen ließ die Menschheit in eine neue Epoche vorstoßen. Zum ersten Mal in der Geschichte ließ der Mensch nicht ein Tier bzw. einen anderen Menschen für sich arbeiten, sondern eine von Wind und Wasser unabhängige, aus Eisen und Stahl aufgebaute und mit Kohle betriebene Maschine. Von diesem Zeitpunkt an sollte die Bereitstellung von fossilen Energieträgern, welche über Millionen von Jahren in unserer Erdkruste gespeichert wurden, eine für die Entwicklung der Menschheit bedeutende Rolle einnehmen.

Mit dem Beginn der Industriellen Revolution, am Ende des 18. Jahrhunderts, kam es zu einem starken Bevölkerungswachstum und somit zu einer vermehrten Nachfrage nach Beleuchtungsmitteln. Neben dem Verlangen in privaten Haushalten wurde auch der Bedarf in der Industrie immer größer, da aufgrund der wachsenden Produktivität durch die Dampfmaschine die hellen Stunden des Tages nicht mehr ausreichten. Somit steigerte sich die Produktion von Ölen und Fetten in den folgenden hundert Jahren um das 500-fache, (Brökelmann, 2010). Bis 1859 Edwin L. Drake schlussendlich mit der ersten Erdölbohrung und Förderung in Titusville/Pennsylvania einen Öl-Boom auslöste. Damit wurde Öl für die nächsten rund 60 vorerst das dominierende Beleuchtungsmittel bis Carl Benz 1886 das erste Automobil mit Verbrennungsmotor präsentierte und damit ein „das“ Verwendungsgebiet dieses Rohstoffs erschloss. Dieser technische Markstein in der Geschichte war der Anfang für den endgültigen Siegeszug von Erdöl.

Mit diesen Errungenschaften stieg aber auch unser Energieverbrauch von 5×10^{12} kWh/a im Jahre 1860 auf 1.2×10^{14} kWh/a heute, wobei davon rund 80% mit fossilen Brennstoffen bereitgestellt werden. Um diesen Anstieg der Energienachfrage noch besser zu veranschaulichen soll hier angemerkt werden, dass sich die Weltbevölkerung im letzten Jahrhundert um das 6-fache vergrößert hat, der Energieverbrauch jedoch um das 80-fache. Der weltweit durchschnittliche Energieverbrauch pro Person liegt bei rund 2kW (Dauerleistung). In den USA sind es 10kW/Person und in Europa rund 5 kW/Person wobei rund 2 Milliarden Menschen auf unserem Planeten überhaupt keine fossilen Brennstoffe nutzen, (Züttel, 2004).

Woran wahrscheinlich weder Newcomen noch Drake bei Ihren Erfindungen bzw. Entdeckungen gedacht haben, ist die mit der Verbrennung von fossilen Brennstoffen

1. Einleitung

einhergehende Produktion von CO₂. Kohlenstoffdioxid ist ein Produkt der vollständigen Verbrennung von Kohle oder Erdöl. Es ist ein klimaaktives Gas und beeinflusst somit die Zusammensetzung unserer Atmosphäre sowie den Strahlungs- und Wärmehaushalt derselben. CO₂ ist Auslöser für den anthropogenen Treibhauseffekt, welcher schlussendlich für das stetig steigende Temperaturniveau in der Atmosphäre mitverantwortlich ist. Dieser Temperaturanstieg hat zur Folge, dass auch die Ozeane, welche rund ein Viertel unseres Kohlenstoffdioxids speichern, jenes wieder emittieren. Der Grund dafür ist die Verschiebung des Löslichkeitsgleichgewichts zur Luft mit steigender Temperatur. Somit belasten wir unseren Globus nicht nur durch die direkte Emission, sondern auch durch eine indirekte, hervorgerufen durch eine Gleichgewichtsverschiebung innerhalb eines sehr fein abgestimmten Systems.

Berücksichtigt man die Entwicklung unserer geförderten Energieträger hinzu einem immer höherem Wasserstoffanteil und andererseits die Notwendigkeit unseren Planeten, soweit wie möglich, vor neuen CO₂ Emissionen zu bewahren, so sollte man sich an neuen ökologische Energiequellen, wie Wasserstoff, orientieren. Wasserstoff könnte zukünftig die tragende Rolle in Sachen mobile und schnellverfügbare Energie übernehmen, (Züttel, 2004).

Die bemerkenswertesten Eigenschaften des Wasserstoffs sind, dass er einerseits das am häufigsten vorkommende Element der Erde ist und des Weiteren mit ca. 120 MJ/kg auch den höchsten Heizwert unter den heutzutage bekannten Brennstoffen besitzt. Aufgrund dieser Charakteristika könnte man vermuten, Wasserstoff sei schon längst ein in der Industrie bewährter und angesehener Energielieferant, dieser praktische Schluss blieb jedoch bis heute aus. Ein Grund dafür ist sicherlich die sehr energieintensive Produktion von Wasserstoff, da der Umstand, das häufigste Element zu sein auch den Aspekt beinhaltet nur gebunden, vor allem in Form von Wasser, vorzukommen.

Mit Ausnahme der Elektrolyse des Wassers wird Wasserstoff heute über drei verschiedene Verfahren aus konventionellen Kohlenwasserstoffen hergestellt:

- Dampfreformierung
- Partielle Oxidation
- Autotherme Vergasung

Die Anwendungsmöglichkeiten in der Industrie sind weit gefächert. Wasserstoff findet beispielsweise bei der Synthese des Ammoniaks (Haber-Bosch-Verfahren), bei der

1. Einleitung

Hydrierung von Kohlenwasserstoffen, der Methanisierung oder bei der Fetthärtung bis hin zu Schweiß- und Schneidarbeiten seinen Gebrauch, um nur einige der wichtigsten Einsatzgebiete zu nennen. Zukünftig sollten sich die Verwendungsmöglichkeiten von Wasserstoff jedoch auf die Energiebereitstellung erweitern, sei es durch die Möglichkeit Wasserstoff aus regenerativen Energiequellen zu produzieren oder durch die Energie, die durch seine direkte Verwertung in Brennstoffzellen bereit gestellt wird. Der „Power to Gas“-Prozess in dem durch „grüne“ Energiequellen mit Hilfe der Wasserelektrolyse Wasserstoff erzeugt und mittels nachgeschalteter Methanisierung Brenngas hergestellt wird, könnte eine dieser zukünftigen Anwendungen sein.

Egal mit welcher Methode in Zukunft Wasserstoff hergestellt wird, die Speicherungsmöglichkeiten werden wie auch in der heutigen Energietechnik einen markanten Punkt in Bezug auf seine Verwendungsmöglichkeiten sein.

Grundsätzlich braucht es für die industrielle Umsetzung neuer Verfahren viel Zeit und wachsendes Vertrauen in diese Technik. Jedoch sollte man dieser „neuen“ Wasserstofftechnologie das nötige Vertrauen entgegen bringen, da sie ein erster Schritt in ein Energiezeitalter ohne fossile Brennstoffe sein könnte.

2. Stand der Technik – Wasserstoffspeicher

Wasserstoff ist das erste Element im Periodensystem und besitzt die Ordnungszahl 1. In der Natur tritt Wasserstoff in Form von 3 Isotopen auf:

- Protium (1 Proton, 1 Elektron, kein Neutron)
- Deuterium D (1Proton, 1 Elektron, 1 Neutron)
- Tritium T (1Proton, 1 Elektron, 2 Neutronen)

Der natürlich vorkommende Wasserstoff ist ein Gemisch aus diesen 3 Isotopen mit einer Verteilung von ca. 99,9 % Protium, 0,01 % Deuterium und einem vernachlässigbar kleinem Teil Tritium. Aufgrund des einzelnen Elektrons des Wasserstoffs reagieren alle Isotope zu kovalenten Molekülen wie H_2 , D_2 und T_2 . Des Weiteren zeigt Wasserstoff ein sehr vielseitiges Verhalten gegenüber anderen Elementen, es kann sowohl als Anion (H^-) oder als Kation (H^+) ionische Verbindungen eingehen, z.B. mit Kohlenstoff, (Züttel, 2004).

Das Wasserstoffmolekül H_2 kann, abhängig von Temperatur und Druck in unterschiedlichen Zuständen gefunden werden, Abbildung 1.

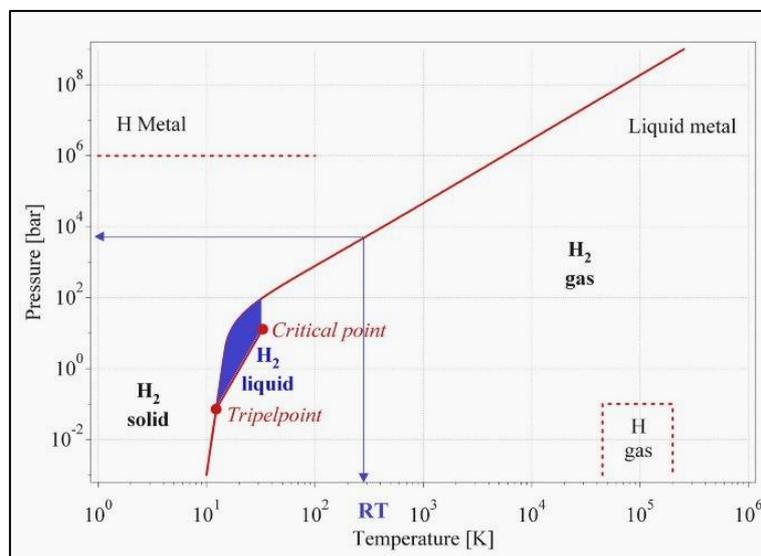


Abbildung 1: Phasendiagramm von Wasserstoff. Nur in dem ausgefüllten Bereich existiert Wasserstoff in flüssiger Form. (Hydropole-The Swiss Hydrogen Association, 2013)

Bei sehr niedrigen Temperaturen ($-261\text{ }^{\circ}\text{C}$) besitzt Wasserstoff einen festen Aggregatzustand mit einer Dichte von $70,6\text{ kg/m}^3$. Bei $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ und einem Druck von 1 bar befindet sich Wasserstoff in gasförmigen Zustand, mit einer Dichte von $0,089886\text{ kg/m}^3$.

2. Stand der Technik - Wasserstoffspeicher

Der Bereich in dem Wasserstoff als Flüssigkeit vorliegt ist sehr eng, er beginnt im Tripelpunkt und endet im Kritischen Punkt. Flüssiger H₂ besitzt bei -253 °C eine Dichte von 70,8 kg/m³. In der Grafik wird dieser Bereich blau dargestellt. Bei üblichen anzutreffenden Umgebungsbedingungen liegt Wasserstoff gasförmig vor und kann deshalb mit Hilfe der Van der Waals Gleichung beschrieben werden:

$$p(V) = \frac{nRT}{V - nb} - a \times \frac{n^2}{V^2} \quad (1)$$

Dabei ist p der Gasdruck, V das Volumen, T die absolute Temperatur, n die Anzahl an Molen, R die Gaskonstante ($R = 8,314 \text{ J/K}^1 \cdot \text{mol}^1$), a die Dipolwechselwirkung ($a=2,476 \cdot 10^{-2} \text{ m}^6 \cdot \text{Pa} \cdot \text{mol}^{-2}$) und b das eingenommene Volumen der Wasserstoffatome ($b=2,661 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$), (Hydropole-The Swiss Hydrogen Association, 2013).

Storage Technique	Volume	Mass	Pressure	Temperature
Composite cylind. 	max. 33 kg H ₂ ·m ⁻³	13 mass%	800 bar	298 K
Liquid hydrogen 	71 kg H ₂ ·m ⁻³	100 mass%	1 bar	21 K
Metalhydrides 	max. 150 kg H ₂ ·m ⁻³	2 mass%	1 bar	298 K
Physisorption 	20 kg H ₂ ·m ⁻³	4 mass%	70 bar	65 K
Complex hydrides 	150 kg H ₂ ·m ⁻³	18 mass%	1 bar	298 K
Alkalimetall + H ₂ O 	>100 kg H ₂ ·m ⁻³	14 mass%	1 bar	298 K

Abbildung 2: Auflistung der Speichermethoden von Wasserstoff. Aufgelistet sind deren volumetrische Dichte, gravimetrische Dichte, Arbeitstemperatur und Arbeitsdruck (Hydropole-The Swiss Hydrogen Association, 2013)

Die Hauptaufgabe bei der Wasserstoffspeicherung liegt in der Reduktion des hohen Volumens von H₂-Gas. (1 kg Wasserstoff nimmt bei Raumtemperatur und Umgebungsdruck ein Volumen von 11 m³ ein.) Um diese Volumenreduktion zu realisieren muss entweder der Wasserstoff sehr stark verdichtet werden oder man muss ihn bis unterhalb der kritischen Temperatur abkühlen. Eine andere nicht physikalische Methode ist es eine Reaktion mit anderen Materialien hervorzurufen. Die zweite wesentliche Herausforderung bei der Wasserstoffspeicherung ist die Umkehrbarkeit der

2. Stand der Technik - Wasserstoffspeicher

Speicherung-d.h. die Möglichkeit den Wasserstoff wieder aus seinem Speicherzustand zu befreien ohne das Speichermedium dabei zu zerstören, (Züttel, 2004).

Grundsätzlich unterscheidet man 6 Methoden der reversiblen Wasserstoffspeicherung, welche mit einer hohen volumetrischen und gravimetrischen Dichte zur Verfügung stehen, Abbildung 2. Folgendes Kapitel soll diese Methoden vorstellen und die Vor- und Nachteile besprechen.

2.1 Hochdruckgaszylinder

Die gebräuchlichste Methode Wasserstoff zu speichern sind Hochdruckbehälter mit einem maximalen Fülldruck von 20 MPa (200 bar). Darüber hinaus wurden in den letzten Jahren Leichtbau-Composite Behälter entwickelt welche einem maximalen Druck von 80 MPa (800 bar) standhalten. Somit steigert sich die volumetrische Dichte auf bis zu 36 kg/m³. Dies ist ungefähr die Hälfte der Dichte welche bei flüssigem Zustand erreicht wird. Die gravimetrische Dichte reduziert sich mit steigendem Druck, aufgrund der zunehmenden Wanddicken der Behälter. Die Wanddicken eines Zylinders beschrieben mit zwei Halbkugeln, ergeben sich aus folgender Gleichung:

$$\frac{d_w}{d_o} = \frac{\Delta p}{2 * \sigma_v + \Delta p} \quad (2)$$

Darin beschreibt d_w die Wanddicke, d_o den Außendurchmesser des Zylinders, Δp den Überdruck und σ_v die Zugfestigkeit des Materials. Die Zugfestigkeiten variieren je nach Material zwischen 50 MPa für Aluminium und 1100 MPa für Stahl. Darüber hinaus gibt es Entwicklungen die mit Hilfe von Composite-Materialien die Zugfestigkeit erhöhen und im gleichen Schritt damit auch die Dichte des Verbundwerkstoffes reduzieren, (Züttel, 2004).

Grundsätzlich werden heutzutage Hochdruckgasbehälter aus Stahl (z.B. AISI 316, 304, 316AL und 304L über 300 °C um die Korngrenzenverschiebung von Kohlestoff zu verhindern), Kupfer oder Aluminiumlegierung gefertigt, da diese bei Raumtemperatur zum Großteil beständig gegen schädigende Wasserstoffeffekte (z.B. Wasserstoffkorrosion) sind, (Hydropole-The Swiss Hydrogen Association, 2013).

2. Stand der Technik - Wasserstoffspeicher

Abbildung 3 zeigt die volumetrische Dichte des Wasserstoffs im Inneren des Zylinders und das Verhältnis von Wanddicke zum Außendurchmesser des Edelstahl Druckzylinders mit einer maximalen Zugfestigkeit von 460 MPa. Die volumetrische Dichte von H_2 steigt mit dem Druck an und erreicht ihr Maximum bei 1000 bar; natürlich abhängig vom Material. Dagegen nimmt die gravimetrische Dichte wegen der steigenden Tankmasse mit zunehmendem Druck ab, somit findet man das Maximum der gravimetrischen Dichte von Wasserstoff bei Atmosphärendruck bzw. bei einem Überdruck von 0 bar. Demzufolge kommt es mit steigender volumetrischer Dichte zu einem Verlust der gravimetrischen Dichte.

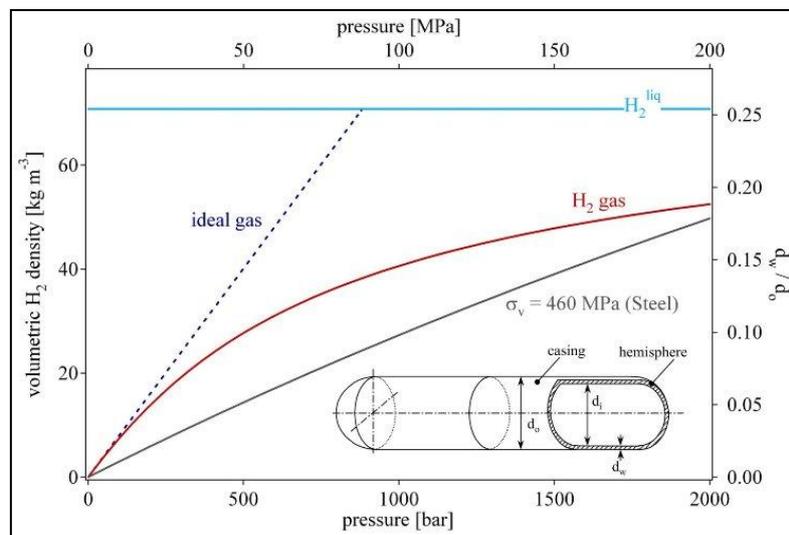


Abbildung 3: Volumetrische Dichte von Wasserstoff als Funktion vom Gasdruck (Hydropole-The Swiss Hydrogen Association, 2013)

Sicherheitstechnische sind Hochdruckbehälter nicht ganz einfach zu rechtfertigen, vor allem in sehr bevölkerungsreichen Gebieten. Daher wird vorgesehen, dass Hochdruckbehälter zukünftig aus 3 Lagen bestehen sollen. Als innere Schicht soll ein Polymer dienen, welches mit einem Kohlefaserverband, der als Druckhalter dient und somit die 2. Schicht bildet, umwickelt wird. Abschließend werden diese 2 Layer in eine Außenhülle aus Aramid eingesetzt, welche gegen mechanische Spannungen und Korrosion schützen soll. Ziel dieser Entwicklung sollen Behälter mit maximal zulässigem Druck von 75 MPa und einer Masse von 110 kg sein. Daraus resultierend käme es zu einer gravimetrischen Dichte von 6 Gew % und einer volumetrischen Dichte von 30 kg/m^3 , (Züttel, 2004).

2. Stand der Technik - Wasserstoffspeicher

Wasserstoff kann mit normalen Hubkolbenverdichtern komprimiert werden. Leichte Veränderungen an den Dichtungen sind aufgrund des höheren Diffusionsvermögens nötig.

Die theoretische Arbeit - die für eine isotherme Verdichtung aufgebracht werden muss erhält man aus folgender Gleichung:

$$\Delta G = RT * \ln\left(\frac{p}{p_0}\right) \quad (3)$$

R beschreibt die ideale Gaskonstante ($R=8,314 \text{ J/mol}^\circ\text{K}^\circ$), T die absolute Temperatur und p und p_0 den End- und Anfangsdruck. Der Rechenfehler, bezogen auf einen Druckbereich von 0,1–100 MPa ist weniger als 6 %. Für die isotherme Verdichtung von 0,1 MPa auf 80 MPa muss eine Arbeit von 2,21 KWh/kg aufgewendet werden. In realen Prozessen ist der Arbeitsaufwand jedoch um einiges höher, da man die ideale isotherme Verdichtung nicht umsetzen kann.

Abschließend kann man sagen, dass die relativ niedrige Speicherdichte von Wasserstoff, gepaart mit dem hohen Gasdruck in dem System, die gravierenden Nachteile, einer auf Labormaßstab sehr gut erforschten Speichermöglichkeit, sind, (Züttel, 2004).

2.2 Speicherung von flüssigem Wasserstoff

Flüssiger Wasserstoff wird in Kryo-Tanks bei 21,1 K und Umgebungsdruck gelagert. Aufgrund der sehr niedrigen Kritischen Temperatur von H_2 kann flüssiger Wasserstoff nur in offenen Systemen längerfristig gespeichert werden. Wie wir vorher schon im Phasendiagramm gesehen haben, existiert über dem Kritischen Punkt keine flüssige Phase mehr. Daraus resultierend könnte sich der Druck in einem geschlossenen Behälter bei Raumtemperatur auf bis zu 10^4 bar steigern. Die volumetrische Dichte von flüssigem Wasserstoff beträgt $70,8 \text{ kg/m}^3$ und ist somit nur geringfügig höher als jene von festem Wasserstoff mit $70,6 \text{ kg/m}^3$, (Züttel, 2004).

Die gravimetrische Dichte hängt hier nicht nur von dem verwendeten Material des Tanks ab, sondern auch von der Isolierung, der Bauform und auch von den umgebenden Geräten (Wärmetauscher, Kryogen-Förderpumpen u.a.). Betrachtet man nur den Kryptank besitzt er in Stahlausführung eine um den Faktor 4 und in

2. Stand der Technik - Wasserstoffspeicher

Aluminiumausführung um den Faktor 2 größerer Masse als ein Benzintank mit demselben Energieinhalt, (Buchner, 1982).

Die eigentlichen Herausforderungen bei der Speicherung von flüssigem Wasserstoff sind zum einen die energieeffiziente Verflüssigungsmethode und zum anderen die thermische Isolierung des Kryotanks um die Abdampfverluste so weit wie möglich zu reduzieren, (Züttel, 2004).

Das simpelste Verflüssigungsverfahren ist der Joule-Thomson-Prozess (Linde-Prozess). Dabei wird das Gas zuerst verdichtet und danach mit Hilfe eines Wärmetauschers abgekühlt. Anschließend kommt es zu einer isenthalpen Expansion durch ein Drosselventil. Dabei wird ein Teil des Wasserstoffs flüssig und vom gasförmigen getrennt. Der noch nicht verflüssigte Wasserstoff wird anschließend wieder in den Prozess zurück geführt und durchfährt den Prozess von Neuem.

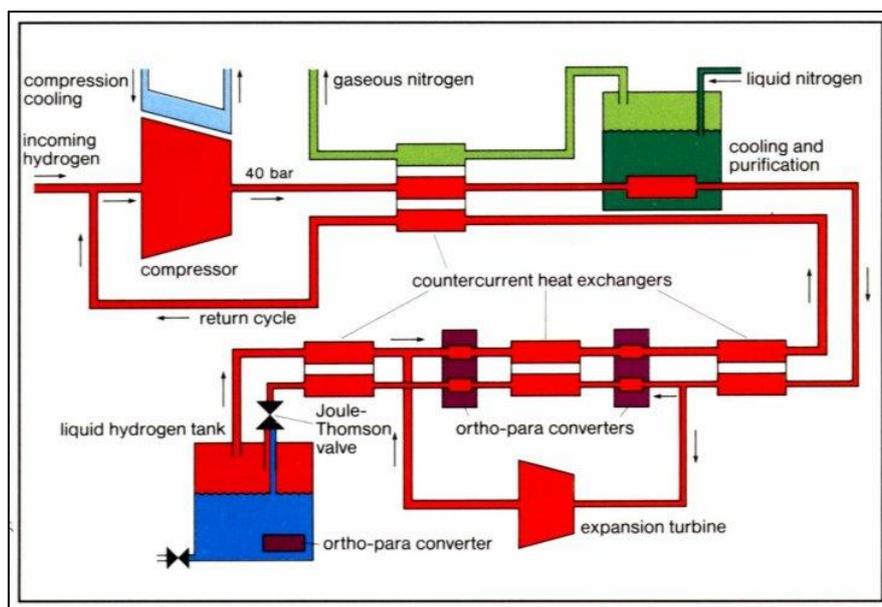


Abbildung 4: Joule-Thomson-Prozess (Hydropole-The Swiss Hydrogen Association, 2013)

Der Joule-Thomson Prozess arbeitet für Gase, wie z.B. Stickstoff mit einer Inversionstemperatur, die über Raumtemperatur liegt. Die Inversionstemperatur, also jenen Temperatur bei der sich das Gas unter Entspannung abkühlt, liegt für Wasserstoff bei 202 K. Aus diesem Grund wird H_2 normalerweise mit flüssigem Stickstoff (78 K) vorgekühlt, ehe es zur ersten Entspannung kommt. Die Enthalpiedifferenz zwischen gasförmigen H_2 bei 300 K und flüssigem H_2 bei 20 K beträgt 11640 kJ/kg. Die vom Umgebungszustand her aufgewendete Energie für die Verflüssigung von Wasserstoff

2. Stand der Technik - Wasserstoffspeicher

berechnet sich zu 3,23 kWh/kg und die zu leistende technische Arbeit auf 15,2 kWh/kg. Das ist ungefähr die Hälfte des Heizwertes von Wasserstoff (119,972 MJ/kg) (1kWh=3,6MJ)

Das vorher schon angesprochene Abdampfen aufgrund von nicht adiabater Verhältnisse von flüssigem Wasserstoff aus einem Kryotank setzt sich aus mehreren Faktoren zusammen. Zum einen aus dem der Größe und der Form des Tanks und zum anderen aus der thermischen Isolierung. Die beste Form ergeben zwei Halbkugeln, da sie einerseits die geringste Oberfläche im Verhältnis zum Volumen haben und andererseits die Zug- und Druckbeanspruchungen gleichförmig ableiten können. Allerdings sind die Fertigungskosten für größere Tanks dieser Art sehr hoch. Jedoch sind die Abdampfverluste aufgrund von Lecks innerhalb der Isolierung bei größeren Tanks geringer. Ein doppelwandiger vakuumisolierter Dewar-Tank mit einem Fassungsvermögen von 50 m³ verliert aufgrund von Abdampfung pro Tag ca. 0,4%, 0,2% gehen bei einem Tank mit 100 m³ und 0,06% bei einem 20 000 m³ – Tank verloren, (Züttel, 2004).

Der relativ hohe Energieverbrauch für die Verflüssigung und die kontinuierlichen Abdampfverluste machen die Speicherung in Kryotanks nicht zu einer allgemein gebräuchlichen Speichermethode. Sinnvoll ist diese Speicherungsart bei Anwendungen, wo Kosten für Wasserstoff eher irrelevant sind und dieser schnell wieder verbraucht wird z.B. Weltraumanwendungen.

2.3 Physisorption

„Unter Adsorption versteht man die Anlagerung und Bindung bestimmter Komponenten aus Gas- bzw. Flüssigkeitsgemischen an der Oberfläche poröser grenzflächenaktiver Feststoffe:

Adsorbens + Adsorptiv

Adsorpt / Adsorbens = Adsorbat

Die zu adsorbierende Komponente wird im freibeweglichen Zustand Adsorptiv, im gebundenen Zustand Adsorpt genannt. Den als Hilfsstoff fungierenden Feststoff bezeichnet man als Adsorbens. Die Bindung der angelagerten Adsorptmoleküle erfolgt bei der physikalischen Adsorption (Physisorption) durch die elektrostatischen

2. Stand der Technik - Wasserstoffspeicher

Anziehungskräfte, Van der Waals-Kräfte. Wegen der geringen Reichweite dieser Kräfte gehen Adsorbens und Adsorptiv eine nur lockere Bindung ein, die leicht wieder zu lösen ist.“²

Wie aus dem obigen Zitat hervorgeht interagiert bei einer Physisorption ein Gasmolekül mit den Atomen an der Oberfläche eines Feststoffes. Die meisten Untersuchungen bezüglich der Wasserstoff-Physisorption wurden mit Kohlenstoff als Adsorbens durchgeführt. Die Physisorption setzt sich aus zwei Schritten zusammen: zum einem aus dem Anziehungsterm der sich mit dem Abstand zwischen Molekül und Oberfläche zur sechsten Potenz verringert, und dem Abstoßungsterm der sich mit dem Abstand hoch - 12 verringert. Zwischen diesen zwei Kräften stellt sich bei der Adsorption ein Gleichgewicht, ein welches dafür verantwortlich ist, dass jenes Adsorptiv mit einem Abstand, welcher rund dem Radius des Moleküls entspricht, an der Oberfläche gebunden wird. Das Energieminimum ist ungefähr 0,01 - 0,1 eV (1 - 10 kJ/mol H) Aufgrund dieser schwachen Wechselwirkung wird eine aussagekräftige Physisorption erst ab einer Temperatur unterhalb von 273K beobachtet. Ist eine Schicht an Adsorpt bereits an der Oberfläche gebunden, so reagieren die nächsten Moleküle mit jener. Demzufolge ist die Bindungsenergie der zweiten Schicht gleich der Verdampfungs- bzw. Sublimationsenthalpie des Adsorpts. Weitere Bindungsmechanismen und Quantifizierungen zur Adsorption findet man in (Züttel, 2004).

Untersuchungen bezüglich Wasserstoff-Adsorption an Kohlenstoff-Nanostrukturen wurden mit sehr unterschiedlichen Methoden und unter unterschiedlichen Umgebungsbedingungen durchgeführt. Zum einen wurden Versuche mit Kohlenstofflayern gemacht und zum anderen mit Kohlenstoff-Nanotubes. Die maximale Beladungskapazität von Kohlenstoffnanostrukturen liegt bei rund 2 – Gew.%. Dies jedoch soll alleine von der Oberfläche der verwendeten Nanostruktur abhängen. Von diesen Nanostrukturen bieten Graphenlayer die größte Oberfläche für eine Adsorption an und sind somit die vielversprechendsten Materialien in dieser Hinsicht. Verbindet man diese einzelnen Layer zu Doppel- oder Multi-Layern so werden Wasserstoffspeicherkapazitäten von 3 - 4 Gew % erwartet, (Vladimir A. Blagojevic, 2012).

² Sattler, Klaus; 2001; Thermische Trennverfahren Grundlagen, Auslegung, Apparate (dritte und überarbeitete Auflage Ausg.); Mannheim: WILEY-VCH Verlag GmbH; Seite 381

2. Stand der Technik - Wasserstoffspeicher

Aufgrund der verschiedenen Herangehensweisen und unterschiedlich angenommenen Reaktionsmechanismen ist es jedoch schwer aus der bestehenden Literatur vergleichbare Werte zu finden. Grundsätzlich ist zu sagen, dass die Vorteile der Physisorption zur Wasserstoffspeicherung die niedrigen Betriebsdrücke-die eher geringen Kosten für die verwendeten Materialien sowie die einfache Konstruktion des Tanksystems sind. Nachteile jedoch sind die eher kleinen Mengen an speicherbarem Wasserstoff bezogen auf Kohlenstoff und die erforderlichen niedrigen Temperaturen, (Züttel, 2004).

3. Grundlagen der Hydridtechnologie

Den oben genannten konventionellen Wasserstoffspeicherungsmöglichkeiten folgt in diesem Abschnitt die Erläuterung der Speicherungsform in Metallhydriden.

3.1 Metallhydride

Metalle, intermetallische Verbindungen und Legierungen reagieren größtenteils mit Wasserstoff und bilden meistens stabile Metall-Wasserstoff-Verbindungen aus. Grundsätzlich werden Hydride nach der Art der Wasserstoffbindung unterteilt. Die Abgrenzung zwischen den einzelnen Typen von Hydriden ist nicht genau festgelegt. Vielmehr verlaufen die Typen ineinander, je nach den Elektronegativitäten der eingesetzten Elemente. Trotzdem soll hier ein kurzer Überblick gegeben werden, (Klein, 2007; Suttonio, 2011; Züttel, 2004):

- **Salzartige oder ionische Hydride**

Hydride dieser Art besitzen das Wasserstoffanion H^- und haben eine stark elektronegative Bindung, welche das sehr stabile Verhalten und die diesbezüglich hohe Bildungsenthalpie hervorruft. Die Bildung erfolgt aus Alkali- oder Erdalkalimetallen, also der Hauptgruppen 1 und 2 im Periodensystem, wie z.B. LiH , NaH , MgH_2 und CaH_2 . Des Weiteren sind sie kristallin und gute elektrische Leiter mit einem hohen Schmelzpunkt. Die Reaktion mit Wasser verläuft heftig, da sie stark exotherm reagieren.

- **Kovalente Hydride**

Bei kovalenten Hydriden bewirkt das gemeinsame Elektronenpaar die Bindung. Grundsätzlich gehören hierzu die Metallhydride der Gruppen 11 bis 14 des Periodensystems sowie die flüchtigen Hydride. Hydride welche mit Magnesium oder Beryllium gebildet werden, klassifiziert man ebenfalls häufig als kovalente Hydride. Allgemein besitzen sie geringe Schmelz- und Siedepunkte und sind daher thermisch instabil und z.T. hochgiftig (z.B. AlH_3 , BH_3). Darüber hinaus enthalten komplex kovalente Hydride das Wasserstoffanion H^- als Ligand, z.B. Natriumalanat $Na[AlH_4]$ und Natriumboronat $Na[BH_4]$. Die flüchtigen

3. Grundlagen der Hydridtechnologie

kovalenten Hydride, zu denen alle Nichtmetall-Hydride (z.B. CH_4 , H_2O , NH_3) gehören, besitzen hingegen den Wasserstoff in einer Atombindung.

- **Metallische Hydride**

Es handelt sich bei der Bindung der metallischen Hydride um eine metallische Bindung. Das einzelne Elektron des Wasserstoff-Atoms nimmt dabei an einer Bindung mit dem Elektronengas teil. Die Verbindungen dieser metallischen Hydride sind oft nicht stöchiometrisch. Somit kann deren Zusammensetzung in gewissen Grenzen variieren. Allgemein werden sie aus den Übergangsmetallen, inklusive den Lanthanoiden und Actinoiden gebildet (z.B. LaH_2) und besitzen aus diesem Grund auch ähnliche Eigenschaften wie Metalle. Jene zeichnen sich durch hohe Härte, metallischen Glanz und hohe thermische und elektrische Leitfähigkeit aus, hingegen sind sie spröde und ihre Kristallstruktur unterscheidet sich von jener der Ausgangsmetalle.

- **Andere Hydride**

Für die Bildung nicht stabiler Hydride ist nur eine kleine Anzahl an Übergangsmetallen bekannt. Es existiert von Gruppe 6 (Cr) bis Gruppe 11 (Cu) im Periodensystem ein nennenswertes „Hydrid-Gap“. Die einzigen Hydride darin werden von Palladium ($\text{PdH}_{0,7}$), Nickel ($\text{NiH}_{<1}$), welches sehr instabil ist, Chrom (CrH , CrH_2) und Kupfer (CuH) gebildet. In Palladiumhydriden besitzt Wasserstoff eine große Bewegungsfreiheit und wahrscheinlich nur eine sehr geringe Ladungsdichte. Ebenfalls in diesem „Hydrid-Gap“ vorhanden, sind Platin, Ruthenium, Palladium und Nickel. Jene sind zwar nicht in der Lage Hydride auszubilden jedoch sind sie gute Katalysatoren für die Hydratisierung.

Angesichts der unterschiedlichen Art der Hydridbildung, welche nur von den chemischen Eigenschaften der Ausgangsstoffe beeinflusst wird, unterscheiden sich die Hydride hinsichtlich ihrer chemischen- und physikalischen Eigenschaften, ihrer Kristallstruktur, der Wasserstoffaufnahme und -speicherfähigkeit. Wie oben schon erwähnt reicht jene Einteilung nicht immer aus, da z.B. manche salzartigen Hydride einige Eigenschaften von kovalenten Hydriden aufweisen und als metallartig klassifizierte Verbindungen manche Eigenschaften von salzartigen Hydriden besitzen, (Klein, 2007).

3. Grundlagen der Hydridtechnologie

3.1.1 Hydride von intermetallischen Verbindungen und Legierungen

Wie oben angeführt können auch Legierungen und intermetallische Verbindungen Hydride ausbilden. Intermetallische Verbindungen werden durch ihre spezielle Gitterstruktur charakterisiert. Im einfachsten Fall besitzt die Verbindung zwei Metalle, A und B. Jene Metalle bilden in einer gemeinsamen Verbindung kein gemeinsames Gitter aus, wie es in einer Legierung der Fall wäre, sondern setzen sich in einem vom Elementargitter unterschiedlichen Gitter zusammen, wobei die Elemente A und B auf bestimmten Plätzen sitzen. Das Element A ist normalerweise aus den Hauptgruppen 1 oder 2 des Periodensystems und neigt dazu stabile Hydride auszubilden, die jedoch nur bei hohen Temperaturen und/oder niedrigem Druck wieder zersetzt werden können. Bei den meisten dieser Metalle liegt die erreichbare Wasserstoffkapazität sehr niedrig bei etwa 1...2 Gew%. Magnesium bildet hier jedoch eine Ausnahme mit einer Speicherkapazität von bis zu 7,6 Gew%. Das Element B ist oft aus der Gruppe der Übergangsmetalle und bildet zumeist nur instabile Hydridverbindungen aus, die aufgrund der benötigten Temperaturen und der Drücke jedoch technisch nicht relevant sind. Durch das gezielte Zusammenfügen von A-Metallen und B-Metallen zu binären Systemen können intermetallische Verbindungen synthetisiert werden, die bei Raumtemperatur und moderaten Drücken Hydride reversibel ausbilden. Diese Verbindungen lassen sich im Bezug auf die Stöchiometrie in Gruppen einteilen, (Klein, 2007; Züttel, 2004):

Intermetallische Verbindung	Beispiel	Hydride	Struktur
AB	LaNi, MgNi, TiFe, ZrCo	TiFeH ₂	kubisch
A ₂ B	Zr ₂ Cu, Ti ₂ Pd, Mg ₂ Ni	Mg ₂ NiH ₄	kubisch
A ₂ B ₇	Y ₂ Ni ₇ , Th ₂ Fe ₇	Y ₂ Ni ₇ H ₃	hexagonal
A ₆ B ₂₃	Y ₆ Fe ₂₃	Ho ₆ Fe ₂₃ H ₁₂	kubisch
AB ₂	TiMn ₂ , ZrMn ₂ , ZrV ₂	ZrV ₂ H _{5,5}	hexagonal oder kubisch
AB ₃	CeNi ₃ , YFe ₃	CeNi ₃ H ₄	hexagonal
AB ₅	LaNi ₅	LaNiH ₆	hexagonal

Tabelle 1: Die wichtigsten Typen von intermetallischen Verbindungen, deren Beispiele und Strukturen. A ist ein Element mit einer großen Affinität zu Wasserstoff, und B ist ein Element mit einer geringen Affinität zu Wasserstoff, (Züttel, 2004)

Im Bezug auf technische Anwendungen lassen sich die Metallhydride auch noch nach der Temperatur einteilen, bei der ein Desorptionsdruck von 1 bar erforderlich ist. Je höher diese Temperatur liegt, umso größer ist die Stabilität des Hydrids.

3. Grundlagen der Hydridtechnologie

Die folgende Tabelle zeigt eine mögliche Einteilung, (Sutiono, 2011):

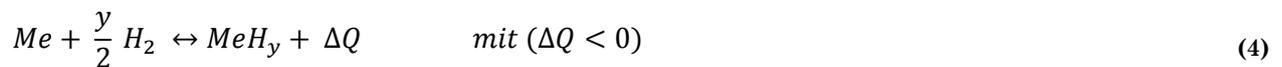
	TTH	MTH	HTH
Temperatur ($p_{Des} = 1$ bar) [°C]	<100	100-200	>200
mittlerer Beladungsdruck [bar]	10-50	5	~1
Max. H ₂ -Kapazität [Gew%]	1-2	~2,5	7,5
Reaktionsenthalpie [kJ/mol _{H₂}]	15-30	30-60	75
Energiedichte [MJ/kg Hydrid]	~2,4	~3	9
Wärmedichte [MJ/kg Hydrid]	~0,3	~0,75	3

Tabelle2: Einteilung der Metallhydride. TTH-Tieftemperaturmetallhydrid; MTH-Mitteltemperaturmetallhydride; HTH-Hochtemperaturmetallhydride (Sutiono, 2011)

3.2 Metallhydridbildung

Der charakteristische Vorgang bei der Metallhydridbildung wird durch die Einlagerung von ionisiertem, atomarem Wasserstoff auf Zwischengitterplätzen des Metall-Kristallgitters beschrieben. Dabei gibt das Wasserstoffatom sein Elektron an das Leitungsband des Metalls ab. Das positiv geladene Proton wird durch eine Ladungswolke abgeschirmt.

Allgemein wird die Metallhydridbildung beschrieben durch:



Die reversible Reaktion ist auch mit einer Wärmetönung verbunden. Bei der Einlagerung von Wasserstoff (Hydrierung bzw. Absorption) wird Wärme frei, hingegen beim Austreiben (Dehydrierung bzw. Desorption) wird Energie in Form von Wärme benötigt. Nach dem Prinzip von Le Chatelier verschiebt sich das Gleichgewicht in Gleichung (4) durch eine Temperaturerhöhung auf die linke Seite und durch eine Druckerhöhung auf die rechte Seite. Alkali-, Erdalkalimetalle und die Übergangsmetalle der Gruppen 3 bis 5 bilden Metall-Wasserstoff-Systeme die bei der Hydrierung exotherm mit einander reagieren. Die anderen hydratisierbaren Metalle, mit Ausnahme von Palladium, Nickel und Mangan bilden Systeme aus, die zusammen endotherm reagieren.

3. Grundlagen der Hydridtechnologie

3.2.1 Reaktionsmechanismen

Grundsätzlich wird der Gesamtreaktionsmechanismus bei dieser heterogenen Gas-Feststoff-Reaktion in 5 Schritte unterteilt. Die auftretende Reaktion von Wasserstoff mit einem Metall wird als Absorption bezeichnet und kann vereinfacht mit einer eindimensionalen Potentialkurve beschrieben werden. Veranschaulicht wird der Reaktionsmechanismus mit Hilfe des „shrinking core“-Modells, (Züttel, 2004; Klein, 2007):

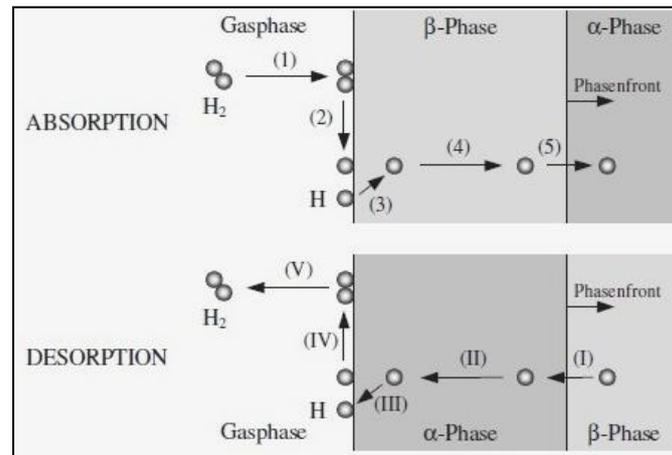


Abbildung 5: Reaktionsmechanismus der Metallhydridbildung und ihren Teilschritten: (1) Annäherung, (2) Physisorption und Dissoziation, (3) Chemisorption und Diffusion, (4) α - und β -Phasenausbildung, (5) Phasenfrontausbildung (Klein, 2007)

Weit von der Metalloberfläche entfernt findet man Wasserstoffgas H₂ im Grundzustand vor. Der erste Teilschritt der Hydrierung ist durch die Annäherung der Wasserstoffmoleküle an die Metalloberfläche gekennzeichnet. Dabei kommt es durch die Van der Waals-Kraft zu einem physisorbierten Zustand ($E_{\text{phys}} \sim 10 \text{ kJ/mol H}$), in dem der H₂ mit einem Abstand von rund einem Molekülradius ($\sim 0,2 \text{ nm}$) an die Oberfläche des Metalls gebunden wird (1). Die zweite Teilreaktion wird als Chemisorption definiert. Der physikalisch sorbierte Wasserstoff muss dabei die Aktivierungsenergie zur Dissoziation überwinden damit es zu einer Bindung zwischen atomarem Wasserstoff und dem Metall kommt. Wie hoch jene Aktivierungsenergie ist, hängt von den Elementen an der Metalloberfläche ab. In diesem chemisorbierten Zustand teilt sich das Wasserstoffatom sein Elektron mit dem Metall, und ist chemisch-gebunden ($E_{\text{Chem}} \sim 50 \text{ kJ/mol H}$). Außerdem besitzt der Wasserstoff in diesem Reaktionsabschnitt eine hohe Bewegungsfreiheit an der Metalloberfläche, welche er auch fast gänzlich benetzt. Gibt es keine Möglichkeiten mehr sich direkt an das Metall zu binden so reagiert der Wasserstoff mit anderen Wasserstoffatomen (2). Im nächsten Schritt durchdringen die

3. Grundlagen der Hydridtechnologie

H₂-Atome die Oberfläche (3) und diffundieren in das Metall. Dabei werden sie in geringer Konzentration im Metallgitter interstitiell und exotherm gelöst und wirken mit ihrem Elektron an dem metallischen Leitungsband mit. Es kommt dabei zu starken Wechselwirkungen zwischen den Wasserstoffatomen und dem Metallgitter. Jenes dehnt sich proportional zur aufgenommenen Wasserstoffkonzentration aus; ungefähr 2-3 Å³ pro H₂-Atom. Das Wasserstoff/Metall-Verhältnis (H/M) nimmt in dieser Phase einen Wert von <0,1 an. Die feste Lösung von Metall und Wasserstoff wird auch α-Phase genannt. In weiterer Folge und mit ansteigender Wasserstoffkonzentration (H/M > 0,1) beginnen die H-Atome miteinander zu wechselwirken und es folgt eine Nukleation, der sich eine Bildung der sogenannten Hydrid- oder β-Phase anschließt. Charakterisiert wird die β-Phase durch ein festes H/M-Verhältnis, meistens beträgt es 1 (4). Damit nachströmender Wasserstoff in die, in Ausbreitungsrichtung vorgelagerte, α-Phase übertreten kann, muss dieser zuerst durch die Hydridphase zur Phasengrenzfläche diffundieren (5). Dabei sorgt ein Teil des diffundierten Wasserstoffes für die weitere Ausbildung der β-Phasenfront, während der andere Teil weiter durch die α-Phase diffundiert. Hat sich nun die Hydridphase vollständig durch das Metallgitter ausgebreitet, kann zusätzlicher Wasserstoff gelöst werden. Die Volumenexpansion zwischen der gleichzeitig auftretenden α- und β-Phase liegt in vielen Fällen bei rund 10-20% des Metallgitters. Der daraus resultierende Druck an den Phasengrenzflächen führt zu einer Vermorschung der spröden Metalle (z.B. intermetallische Verbindungen). Das vollständig hydratisierte Metall liegt dann meistens als Pulver mit einer Partikelgröße von 10-100µm vor.

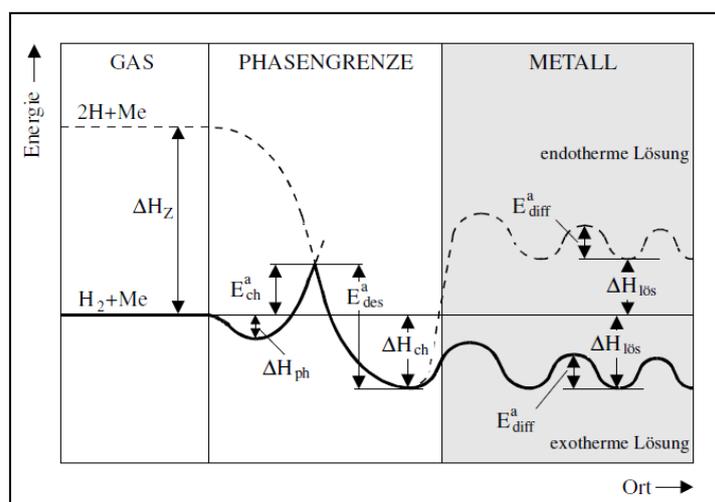


Abbildung 6: Potenzialkurve der Adsorption von Wasserstoff an eine Metalloberfläche (Klein, 2007)

3. Grundlagen der Hydridtechnologie

Betrachtet man den Umkehrprozess bzw. die Desorption des Wasserstoffs, so kommt es im Inneren des Metalls als erstes zu einer Phasenumwandlung von β - zur α -Phase(I). Anschließend tritt an der Phasengrenzfläche eine Feststoffdiffusion auf. Dabei diffundieren die Wasserstoffatome durch die α -Phase (II). Im dritten Teilschritt der Dehydrierung kommt es zum Durchtritt der H-Atome an die Metalloberfläche (III). Daraufhin folgt eine Rekombination (IV) des atomaren Wasserstoffs zu Wasserstoffmolekülen (H_2), welche als letzter Schritt wieder in die Gasphase (V) übergehen, (Klein, 2007).

3.2.2 Reaktionskinetik

Wie oben angeführt handelt es sich bei dem Hydrierungsprozess um eine komplexe heterogene Reaktion, die sich sowohl aus chemischen Reaktionsmechanismen, als auch aus physikalischen Transportvorgängen zusammensetzt. Die Kinetik dieser Reaktion hängt somit von mehreren geschwindigkeitsbestimmenden Faktoren ab. Man unterscheidet dabei zwischen der Mikro- und Makrokinetik. Die Mikrokinetik beschreibt die chemischen Umwandlungs- und Transportprozesse während sich die Makrokinetik mit dem physikalischen Wärme- und Stofftransport an den Phasengrenzflächen beschäftigt. Da die Beschreibung der heterogenen Gas-Feststoff-Reaktion oft nicht mit Hilfe der Mikrokinetik beschrieben werden kann, verwendet man zur Darstellung des zeitlichen Ablaufes der Reaktion - unter Berücksichtigung der Transportvorgänge - die Makrokinetik. Die Makrokinetik wird meist im Labor unter entsprechenden Bedingungen und gegebener Maßstabsverkleinerung ermittelt. Diese Daten geben anschließend die Basis für die Entwicklung eines geeigneten Reaktionsmodells. Im Falle der Metallhydridreaktion wird in der Literatur häufig eine allgemeine Kinetikgleichung (5) angegeben, (Sutiono, 2011):

$$\frac{dX}{dt} = f(T)f(p)f(X) \quad (5)$$

Dabei beschreibt $f(T)$ den Mobilitätsterm, $f(p)$ den Druckterm und der Beladungsterm wird mit $f(X)$ beschrieben.

3. Grundlagen der Hydridtechnologie

Tauschen nun $f(X)$ und dt die Plätze und man integriert über die Zeit so erhält man ein Zeitgesetz (6), (Sutiono, 2011):

$$g(X) = \int \frac{dX}{f(X)} = f(T)f(p)t \quad (6)$$

Dabei gibt X die jeweilige H_2 -Konzentration bezogen auf die maximale H_2 -Kapazität wieder, (Sutiono, 2011):

$$X = \frac{n}{n_{max}} = \frac{w}{w_{max}} \quad (7)$$

Da häufig die geschwindigkeitsbestimmende Teilreaktion thermisch aktiviert ist, kann der Mobilitätsterm mit dem Arrhenius-Ansatz beschrieben werden (Sutiono, 2011):

$$f(T) = K_0 \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad (8)$$

Durch Einbringen der Aktivierungsenergie E_a wird die Gesamtreaktion nun durch die Temperaturabhängigkeit der Reaktionskinetik und durch das treibende Druckgefälle $f(p)$ beschrieben.

Es existiert eine große Anzahl an Beladungsfunktionen und Zeitgesetzten für unterschiedliche Mechanismen. Meist beschränken sich die Modelle jedoch auf die Reaktionsbereiche der einzelnen Phasen. Ein übergreifendes Modell, welches alle 5-Reaktionsschritte beschreibt, gibt es aufgrund der Komplexität noch nicht.

3. Grundlagen der Hydridtechnologie

In Abbildung (7) wird abschließend der prinzipielle Verlauf der effektiven Reaktionskinetik nach Wang et. al (Wang, Wang, Lei, Chen, & Wang, 1996) dargestellt:

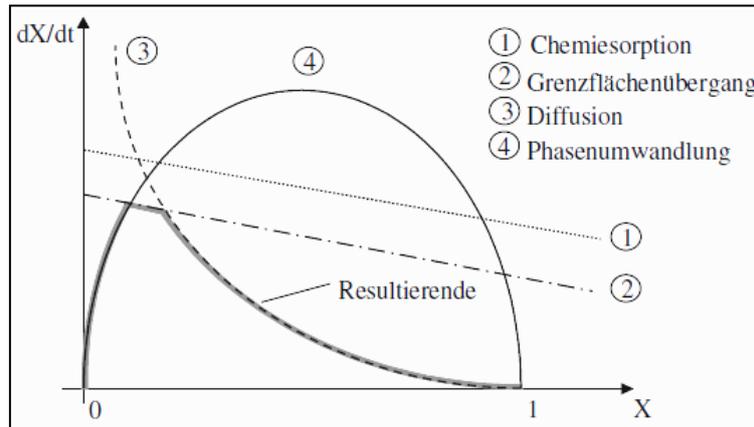


Abbildung 7: Schematische Darstellung der Reaktionskinetik in Abhängigkeit von reagierendem Massenanteil nach Wang et. al (Wang, Wang, Lei, Chen, & Wang, 1996) (Sutiono, 2011)

3.2.3 Oberflächenverunreinigungen

Die Adsorptionsreaktion von Wasserstoff und den Metallhydriden wird entscheidend durch die Oberflächeneigenschaften beeinflusst. Die Wechselwirkungen zwischen dem H_2 – Molekül bzw. dem H – Atom und der Metalloberfläche werden vor allem geprägt durch: Struktur, elektronische und magnetische Eigenschaften, chemische Zusammensetzung und dem dynamischen Verhalten. Diese Beschaffenheit ist nicht nur bei reinen Metallen von Bedeutung sondern insbesondere bei verunreinigten Oberflächen. Durch die Anlagerung von Fremdgasen/-stoffen, wie z.B.: Sauerstoff, Kohlendioxid oder Wasser, an der Metalloberfläche, kann es zur Ausbildung stabiler Oxide, Nitride bzw. Karbide kommen. Diese ausgebildeten Phasen verhindern im Folgenden die Wasserstoffaufnahme mehr oder weniger, je nach Schichtdicke. Bei geschlossenen Anlagen, die nur einmal mit hochreinem Wasserstoff gefüllt werden, können Verunreinigungen weitestgehend ausgeschlossen werden. Bei offenen Systemen kann es jedoch in Folge der Verschmutzungen zu einer Verringerung der Reaktionsgeschwindigkeit und zu einer verminderten Speicherkapazität kommen, (Sutiono, 2011).

3. Grundlagen der Hydridtechnologie

Grundlegend unterscheidet man je nach Wirkung zwischen, (Klein, 2007):

- Vergiftend: Schnelle Verringerung der Speicherkapazität. Heterogene Auswirkungen aufs Hydrid, wobei nicht vergiftete Regionen die ursprüngliche Reaktionskinetik besitzen (z.B.: H₂S, CO bei niedrigen Temperaturen)
- Verzögernd: Abnahme der Reaktionskinetik ohne Veränderung der Wasserstoffspeicherkapazität (z.B.: NH₃, CO₂, CO bei höheren Temperaturen)
- Reagierend: Es kommt zur Korrosion des Hydrids, die zu einem irreversiblen der Speicherkapazität führt; nicht betroffene Regionen jedoch besitzen weiterhin die Grundeigenschaften (z.B.: O₂)
- Unschädlich: z.B.: N₂, CH₄

Die häufigste Fremdgasanlagerung erfolgt bei der Herstellung, Lagerung bzw. direkt vor dem endgültigen Einsatz in einem Speicher durch Luftkontakt. Diese Verunreinigungen können je nach Grad der Verschmutzung wieder entfernt und das Metallhydrid somit reaktiviert werden. Dabei wird das Metallhydrid unter Einwirkung höherer Temperaturen einem Vakuum und/oder einer reduzierenden H₂-Atmosphäre ausgesetzt.

3.2.4 Zyklusstabilität

Neben den Verunreinigungen kann es auch durch Be- und Entladezyklen zu Degradationserscheinungen kommen welche bei Langzeitversuchen beobachtet werden. Die sogenannte Zyklusstabilität beschreibt deren Auftreten und Auswirkungen. So kann es durch häufiges Be- und Entladen zu Veränderungen der thermodynamischen Eigenschaften des Materials und, wie oben erwähnt zu Kapazitätsminderungen kommen. Jene Phänomene können einen negativen Einfluss auf die Leistung einer Anlage haben. Das zeigt, dass bei der Auswahl des eingesetzten Metallhydrids die Langzeitstabilität von entscheidender Bedeutung ist. Bei Zyklierungen ist ein weiteres Charakteristikum der Metallhydride ein Legierungszerfall und die Ausbildung thermodynamisch stabiler Phasen. Des Weiteren können Veränderungen der Oberfläche durch Segregation (Entmischungerscheinungen) oder Versinterungen bei HTH zu anderen Degradationserscheinungen führen.

3.3 Thermochemisches Verhalten von Metallhydriden

3.3.1 Thermodynamik idealer Metall-Wasserstoff-Systeme

Die thermodynamischen Aspekte der Metallhydridbildung/-zersetzung werden anhand einer sogenannten Konzentrations-Druck-Isotherme (KDI) dargestellt. Dabei wird für eine konstante Temperatur der Wasserstoffgleichgewichtsdruck p_{H_2} logarithmisch als Funktion der Wasserstoffkonzentration x [Gew%] im Metall aufgetragen. Grundsätzlich können KDI's experimentell ermittelt werden und geben über die wichtigsten Materialcharakteristika Auskunft, (Klein, 2007). Man unterscheidet bei der Ermittlung der KDI zwischen dynamischer (kontinuierlicher Wasserstoffzu- bzw. abfluss) und der statischen (stufenweise Druckerhöhung bzw. -absenkung) Messung, (Universität Stuttgart-Institut für Kernenergie und Energiesysteme, 2010).

Die in Abbildung 6 ersichtliche KDI lässt sich in drei Bereiche einteilen (Sutiono, 2011):

- Feste Lösung aus Metall und Wasserstoff, (α -Phase)
- Wasserstoffgesättigtes Metall und Metallhydrid, ($\alpha+\beta$ -Phase)
- Feste Lösung aus Wasserstoff und Metallhydrid, (β -Phase)

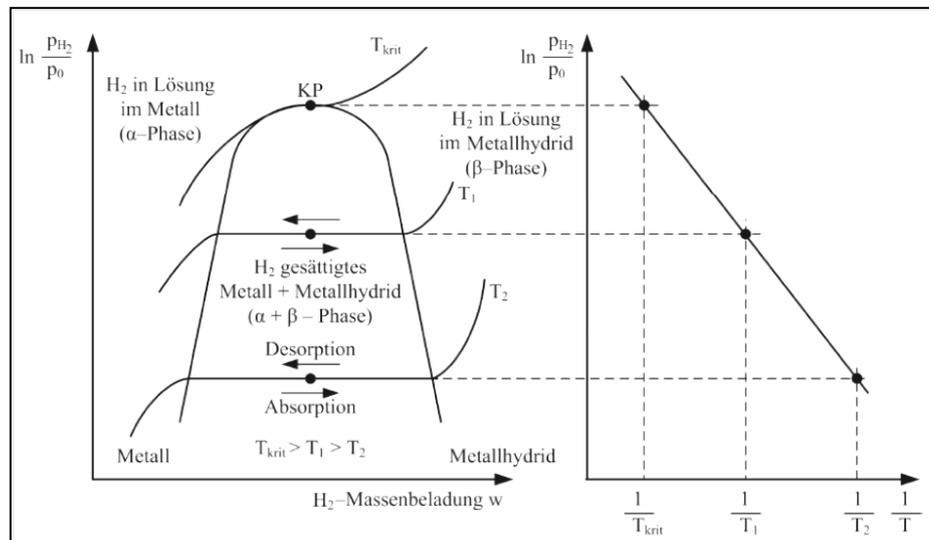


Abbildung 8: Konzentrations-Druck-Isotherme und Van't Hoff Gerade realer Metall-Wasserstoff-Systeme (Sutiono, 2011)

Der erste Bereich, links der Gleichgewichtskurve, beschreibt wie Wasserstoff bis zu einer bestimmten Konzentration im Metall gelöst wird.

3. Grundlagen der Hydridtechnologie

Der dabei steigende Wasserstoffdruck wird generell, jedoch mit Ausnahmen, durch das Sievert'sche Gesetz dargestellt:

$$p_{H_2} = k_{\alpha}(T) w^2 \quad (9)$$

Daraus erkennt man, dass trotz der starken Druckerhöhung der Wasserstoffgehalt in der α -Phase nur langsam ansteigt. Dies wird durch die temperaturabhängige Löslichkeitskonstante k_{α} beschrieben.

Den Bereich der Hydridbildung kennzeichnet das Auftreten eines Druckplateaus. Bei konstantem Druck kommt es so lange zur Ausbildung der β -Phase bis das gesamte Metall umgewandelt ist. Die Plateaulänge bestimmt dabei die gravimetrische Energiedichte. Mit steigender Temperatur nimmt die Länge des Plateaus immer weiter ab. Im kritischen Punkt verschwindet es dann gänzlich, da bei überkritischen Temperaturen die Hydridphase nicht mehr stabil ausgebildet werden kann.

Im letzten Bereich, rechts der Gleichgewichtskurve, kommt es nach der vollständigen Ausbildung der Hydridphase erneut zu einem Druckanstieg. Jener kann wiederum durch das Sievert'sche Gesetz beschrieben werden. Hervorgerufen wird er durch die weitere Zugabe von Wasserstoff der sich im Metallhydrid löst, (Sutiono, 2011).

Der Wasserstoffgleichgewichtsdruck in Abhängigkeit von der Temperatur lässt sich auch durch die Enthalpieänderung ΔH und die Entropieänderung ΔS beschreiben. Dieser Zusammenhang wird durch die Van't Hoff-Gleichung beschrieben. Im idealen Modell läuft der Vorgang der Hydridbildung thermodynamisch reversibel ab; d.h. es werden sowohl bei der Absorption als auch bei der Desorption die gleichen Drücke erreicht. Außerdem findet die Phasenänderung von α -Phase nach β -Phase nicht nur isotherm sondern auch isobar statt, (Klein, 2007).

3. Grundlagen der Hydridtechnologie

Werden nun auch noch die nachstehenden idealen Annahmen mit einbezogen, lässt sich aus Gleichung (10) die Van't Hoff Gleichung (11) ableiten, (Sutiono, 2011):

- Vernachlässigung der Wasserstofflöslichkeit in der α -Phase
- Metall wird als eine einzige Komponente betrachtet
- Hydrid und Metall liegen getrennt als homogene Phasen vor
- Die molare freie Enthalpie der festen Phase ist druckunabhängig
- Wasserstoff wird als ideales Gas betrachtet

$$\Delta G \propto \left[\sum_i w_i G_i \right]_{\text{Produkte}} - \left[\sum_j w_j G_j \right]_{\text{Edukte}} = 0 \quad (10)$$

Unter Berücksichtigung der vorher aufgelisteten Punkte und Gleichung (10) ergibt sich die Van't Hoff Gleichung zu:

$$\ln \left(\frac{p_{H_2}}{p_{H_2}^0} \right) = \frac{\Delta H}{R} * \frac{1}{T} - \frac{\Delta S}{R} \quad (11)$$

Aus Gleichung (11) werden häufig die Standardbildungsenthalpie ΔH_f^0 bzw. –entropie ΔS_f^0 experimentell ermittelt. Wird, der bei unterschiedlichen Temperaturen ermittelte Plateaudruck eines Materials, logarithmisch über dem Reziprok-Wert der Temperatur dargestellt so erhält man die Van't Hoff-Gerade, deren Neigung ist proportional zu ΔH_f^0 und der Ordinatenabschnitt ist proportional zu ΔS_f^0 ; graphisch dargestellt in Abbildung 8, (Klein, 2007).

Zusammengefasst können aus dem KDI-Diagramm die Wasserstoffbeladung (gravimetrische Speicherdichte), die Betriebsparameter Druck (p) und Temperatur (T) und indirekt die Reaktionsenthalpie ermittelt werden.

3. Grundlagen der Hydridtechnologie

Überdies lässt sich mit Hilfe der Gibb'schen Phasenregel das ideale Systemverhalten entlang einer Isothermen beschreiben, (Sutiono, 2011):

$$F = K - P - R + 2 \quad (12)$$

F beschreibt die Anzahl der Freiheitsgrade, K die Anzahl der Komponenten, P die Anzahl der Phasen und R die Anzahl unabhängiger Reaktionen. In nachfolgender Tabelle werden nun die drei Bereiche der Hydrierung mit Hilfe der Gibb'schen Phasenregel dargestellt:

Phase	Anzahl der Komponenten	Anzahl der Phasen	Anzahl der Reaktionen	Freiheitsgrad
α -Phase	2	2	0	2
$\alpha+\beta$ -Phase	3	3	1	1
β -Phase	2	2	0	2

Tabelle 3: Freiheitsgarde des idealen, nicht isothermen Systems, (Sutiono, 2011)

In den Bereichen von α -Phase und β -Phase sind zwei Komponenten und zwei Phasen (Wasserstoff und Metall bzw. Metallhydrid) vorhanden. In diesen Abschnitten finden keine Reaktionen statt und somit ergibt sich ein Freiheitsgrad von 2. In dem Bereich wo α -Phase und β -Phase gemeinsam vorkommen, steigert sich sowohl die Anzahl der Komponenten, als auch die Anzahl der Phasen auf 3 und es ergibt sich ein Freiheitsgrad von 1. Nimmt man nun isotherme Reaktionsbedingungen an, so reduziert sich die Anzahl der Freiheitsgrade auf 0. Somit muss die Umwandlung des Metalls zu Metallhydrid auf einem konstanten Druckniveau (Druckplateau) stattfinden, (Sutiono, 2011).

3.3.2 Thermodynamik realer Metall-Wasserstoff-Systeme

Grundlegend weichen die Werte der realen Systeme von jenen der idealen Modelle ab. Die größten Abweichungen im Metall-Wasserstoff-System sind die Hysterese und der Plateauanstieg. Außerdem kommt es bei realen Systemen zwischen den einzelnen Bereichen zu keinen deutlichen Übergängen, (Klein, 2007).

3. Grundlagen der Hydridtechnologie

Jener wird wie folgt definiert, (Klein, 2007):

$$f_{PL} = \left[\frac{d \ln (p_{eq}/p^0)}{dx} \right]_{PM} \quad (13)$$

Einen weiteren markanten Unterschied zu idealen Systemen beschreibt die Hysterese. Sie charakterisiert bei konstanter Temperatur die Abweichung von Absorption und der Desorption und deutet auf den Nichtgleichgewichtszustand hin. Diese Abweichung lässt sich durch drei verschiedene Ursachen beschreiben. Zum einen durch die Druckhysterese, welche den höheren Plateaudruck der Absorption im Gegensatz zur Desorption beschreibt. Die zweite Ursache ist die Lösungshysterese, welche aufgrund von unterschiedlichen Löslichkeitsgrenzen bei der Hydrierung und Dehydrierung zustande kommt. Die dritte Ursache wird durch die Temperaturhysterese beschrieben, da ein Temperaturunterschied zwischen den KDI's der Absorption und der Desorption existiert. Die Hydrierung erfolgt, aufgrund des Reaktionsgleichgewichts, bei niedrigeren Temperaturen als die Dehydrierung und wirkt sich somit auch auf die Hysteresebildung aus. Jene drei Faktoren der Hysterese können während eines Be- und Entladungszyklus in Relation zum Verlust an freier Enthalpie der Gasphase ΔG_{ver} gesetzt werden. Dies wird mit Hilfe des Hysterese faktors definiert:

$$f_{HYS} = \Delta G_{ver} = R * T_{eq} * \ln \left\{ \frac{p_{abs}}{p_{des}} \right\} = R * T_{eq} * \ln \left\{ \frac{a'}{a''} \right\} = \frac{\Delta T}{T_{eq}} \Delta H_{eq} \quad (14)$$

Grundlegend erklärt wird dieses Phänomen der Hysterese durch Gitterdehnungsenergien. Wie vorher schon erwähnt, besetzen die Wasserstoffatome die Zwischengitterplätze im Metallgitter. Dazu muss jedoch die Gitterdehnungsbarriere überwunden werden, was schlussendlich zu einem höheren Druck bei der Absorption führt. Bei der Desorption bzw. der Entladung fällt die Überwindung dieser Barriere weg und somit sinkt der Druck. Auf Grund der auch schon besprochenen Volumenzunahme, die zu Verspannungen und Verzerrungen im Gitter führt, kann es auch Auswirkungen auf die Hysterese geben. Das Verhältnis von Hydrierungs- zu Dehydrierungsdruck wird jedoch bei größeren Temperaturen kleiner, was die Korrelation von den größer werdenden Zwischengitterplätzen und dem kleineren Schermodul erklärt. Außerdem kann es auch noch durch weitere irreversible oder inelastische Vorgänge zu einer

3. Grundlagen der Hydridtechnologie

Hysteresebildung kommen, z.B. Gitterfehlstellen und nicht stöchiometrische Zusammensetzungen der Hydride, (Klein, 2007).

Parameter	Auswirkung
Temperatur	Mit steigender Temperatur kommt es zu einer Abnahme der Hysterese
Legierungszusammensetzung	Grundlegend ist die Hysterese von der Legierungszusammensetzung und den Konzentrationen abhängig
Glühen der Metallprobe	„neu“ geglühte Materialien (homogenisiert) bilden aufgrund der geringeren Versetzungsdichte eine kleinere Hysterese aus als bereits aktivierte.
Be- und Entladezyklen	Mit steigender Zyklenanzahl kommt zu einer Zunahme, bis eine gewisse Versetzungsdichte erreicht wird.
Partikelgröße	Aufgrund der schlechteren Spannungsabfuhr über die Oberfläche führen größere Partikel zu einer ausgeprägteren Hysterese als kleinere.

Tabelle 4: Einflussfaktoren und Auswirkungen auf die Hysterese, (Sutiono, 2011)

In Tabelle 4 werden die Einflussfaktoren und deren Auswirkungen auf die Hysterese aufgelistet, (Sutiono, 2011). Von technischer Seite aus betrachtet sind für jegliche Anwendungen von Metallhydriden kleine Hysteresen und geringe Plateauneigungen von Vorteil, da sich somit höhere Wirkungsgrade erzielen lassen.

4. Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung dieser Diplomarbeit besteht in der Konstruktion und Errichtung eines Prüfstandes für den Test von Metallhydridspeichermaterialien. In einer vorangegangenen Bachelorarbeit beschäftigte sich Stefan Ulrich, (Ullrich, 2013) mit den Grundzügen des Anlagenschemas und der Konstruktion des Tanks. Der Tank besteht aus einem mit einer Kühlmanschette ummantelten Reaktorrohr, welches mit Metallpellets gefüllt wird. Die Wasserstoffeinleitung in den Reaktor erfolgt aus Filtrationsgründen über ein Sintermetallrohr.

Für die Umsetzung des Montageschemas soll mit dem Programm *AutoCAD Inventor* ein Konzept vom Aufbau erstellt werden. Die Anlage wird auf einer transportablen Rahmen-Konstruktion befestigt. Es soll des Weiteren die Möglichkeit geben, die Anlage mit verschiedenen Metallhydriden zu betreiben. Man unterscheidet dabei zwischen Tieftemperatur- (TTH), Mitteltemperatur- (MTH) und Hochtemperaturhydriden (HTH). Wie aus den Namen jener schon hervorgeht, sind für die angestrebten Reaktionen unterschiedliche Temperaturen notwendig. Es sollte die Option bestehen die Anlagenkomponenten bis auf 350°C zu erhitzen, somit werden sowohl die Kühl- als auch die Heizkreisläufe unterschiedlichen Betriebszuständen ausgesetzt. Ein Kühl- / Heizsystem wird dabei mit Wasser/Glykol gefüllt und das zweite mit Thermoöl. Außerdem soll die Anlage in zwei Druckstufen zu je 30 bar und 50 bar aufgeteilt sein. Die abzulassende Wasserstoffmenge wird entweder über einen Verbraucher oder über eine abzweigende Ablassleitung geführt. Erfüllt die Versuchsanlage die Dichtheitsprüfung, so soll sie in Betrieb genommen werden um etwaige Vorversuche zu fahren.

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit stellen Versuche zu den Verpressungs- und Hydriereigenschaften des Hydralloys dar. Dabei sollen verschiedene Mischungen aus Graphit (expanded natural graphit - ENG) und Hydralloy zusammengestellt werden. Um die zur Verpressung benötigten Korngrößen zu erzielen, muss das Hydralloy gemahlen werden. Abschließend wird diese Mischung aus gemahlenem Hydralloy und ENG bei verschiedenen Pressdrücken verpresst. Die Auswertung dieser Vorversuche soll eine Basis geben um in folgenden Arbeiten eine große Press-Matrize (Durchmesser von ca. 6 cm) zu konstruieren und den Tank zu befüllen. Abschließend sollen die erhaltenen

4. Aufgabenstellung

Werte mit jenen, aus einer ähnlichen Versuchsanlage in Dresden verglichen werden, um eine Reproduzierbarkeit zu gewährleisten.

5. Prüfstandentwicklung

5.1 Design Versuchsstand

Wie oben erwähnt, wurde das Grundkonzept des Versuchstandes in vorherigen Arbeiten durch Stefan Ulrich und Matthias Müllner, (Ullrich, 2013) gestaltet. Die Anlage besteht aus zwei voneinander getrennt angeordneten Tanks/Reaktoren. Beide besitzen ein separates Kühl- bzw. Heizsystem mit unterschiedlichen Konfigurationen. Die Tanks werden mit Hilfe von Druckgasflaschen durch ein Wasserstoffleitsystem befüllt.

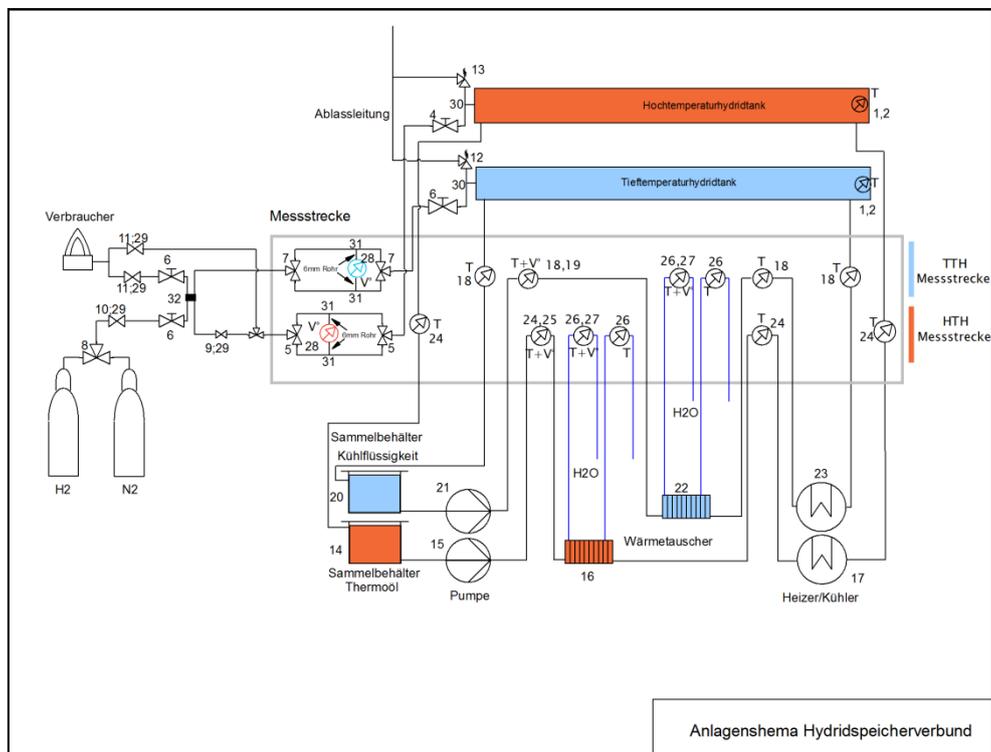


Abbildung 10: Grundkonzept des Prüfstandes

In einem weiteren Schritt wurde versucht, das bestehende Anlagenschema auf ein Konzept zum Aufbau auf eine transportable Rahmenkonstruktion umzulegen. Aus technischen und budgetären Gründen wurde die Anlage im Bereich der Kühlkreisläufe und der Wasserstoffdurchflussmessung abgeändert. Daher wurde darauf geachtet, dass eventuelle Aufrüstungen der Anlage mit nicht allzu großem Aufwand verbunden sind

5. Prüfstandentwicklung

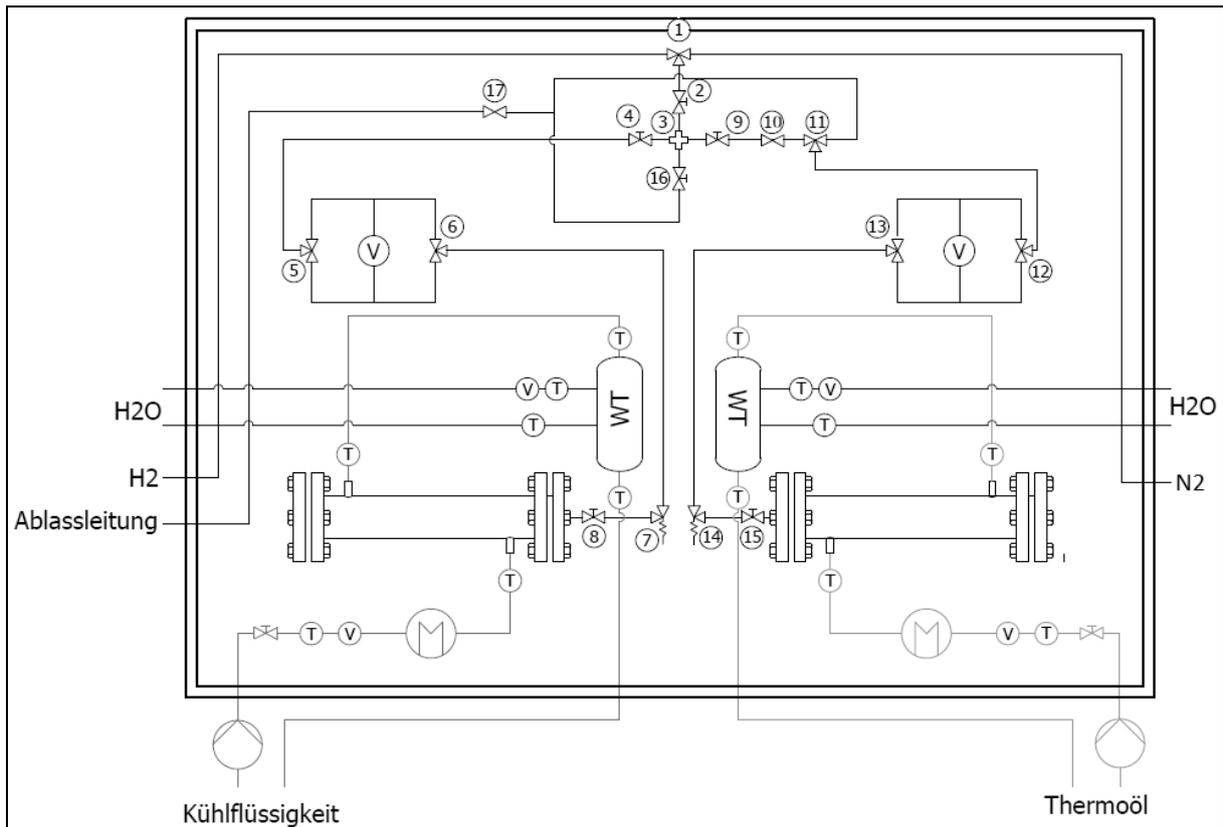


Abbildung 11: : Anlagenschema für Rahmenaufbau. Wasserstoffkreislauf (nummeriert), Niedertemperatur Kühl- Heizkreislauf (linke Seite), Hochtemperatur Kühl- Heizkreislauf (rechte Seite) und Wasser Zu- und Ablauf

Wie aus Abbildung 11 hervorgeht wurde versucht die Anlage möglichst symmetrisch zu planen. Der obere Leitungsverlauf stellt den Wasserstoffkreislauf dar, wobei auch die Möglichkeit besteht, die Anlage zu Reaktivierungsprozessen mit Stickstoff zu beladen. Grundlegend ist der Wasserstoffkreislauf in zwei Druckbereiche getrennt. Der eine Bereich wird mit 50bar betrieben und beinhaltet den Niedertemperaturtank. Der zweite wird einem Druck von 30bar ausgesetzt und inkludiert einen Teil der Ablassleitung und den Hochtemperaturtank. Aufgrund der sicherheitstechnischen Auflagen muss neben einem Verbraucher auch eine Ablassleitung für den Wasserstoff bestehen. Des Weiteren sind in Abbildung 11 der Kühl-/Heizkreislauf des Niedertemperaturtanks sowie die der des Hochtemperaturtanks zu sehen.

Anschließend sollen nun die drei Kreisläufe detailliert beschrieben werden wobei die Beschreibung der Einzelteile erst in einem darauffolgenden Punkt ergänzt wird:

5. Prüfstandentwicklung

- **Wasserstoffkreislauf**

Als Wasserstoff- bzw. Stickstoffquelle werden bei dieser Anlage Druckgasflaschen (20MPa) verwendet. Mit Hilfe eines Flaschendruckminderers wird der Flaschendruck von 200 bar auf 50 bar verringert. Die Einleitung erfolgt, je nach verwendetem Gas, über einen Druckschlauch mit 50 bar in einen ersten 3-Wegekugelhahn, (1). Diesem folgt ein 2-Wegekugelhahn (2) als Absperrvorrichtung. Die Zuleitung wird anschließend durch einen 4-fach-Verteiler (3) aufgetrennt. Der linke Teil führt durch ein Absperrventil (4) zum Hochdruckbereich für den Niedertemperaturtank welcher mit 50 bar Druck betrieben wird. Die Armaturen (5) und (6) sind jeweils 3-Wegeventile die als Ein- bzw. Ausgang für die Messstrecke des Volumenstrommessers dienen. Die redundante Leitungsführung ist aufgrund der Volumenstrommessung so gewählt worden. Wie oben schon angeführt, konnte aus budgetären Gründen kein Volumenstrommesser für Wasserstoffdurchflussmessung gekauft werden, aber um die Möglichkeit einer Nachrüstung zu gewährleisten, wird die Messstrecke hierfür vorgesehen. Die Einleitung des Wasserstoffs in den Tank erfolgt über ein Sicherheitsventil (7) welches einen zulässigen Ansprechdruck von 55,5 bar besitzt. Abschließend wird als Absperrventil direkt am Tank ein 2-Wegekugelhahn (8) angebaut. Die Tanks werden im nächsten Kapitel separat von der Anlage beschrieben.

Der Niederdruckbereich welcher auch den Hochtemperaturtank inkludiert, zweigt beim 4-fach-Verteiler(3) rechts ab. Danach folgt ein Absperrventil (9) dem ein Druckminderer(10) mit integriertem Manometer folgt. Dabei wird der Druck des Wasserstoffvolumenstroms von 50 bar auf 30 bar gesenkt. Die folgende Armatur (11) ist ein 3-Wegekugelhähne der entweder in die Ablassleitung und weiter über einen Druckminderer (17) führt oder über einen weiteren 3-Wegehahn (12) zur Messstrecke des Niederdruckbereiches welche mit (13) einem 3-Wegeventil abgeschlossen wird. Dem Sicherheitsventil (13) mit einem Ansprechdruck von 33,3 bar über welches der Wasserstoff in den Tank eingeleitet wird schließt ein Absperrhahn direkt am Tank an.

Die untere Abzweigung beim 4-fach-Verteiler (3) führt über einen 2-Wegekugelhahn (16) und einen Druckminderer (17), der den Leitungsdruck auf Umgebungsdruck absenkt, zur Ablassleitung bzw. zum Verbraucher.

5. Prüfstandentwicklung

- **Niedertemperatur Kühl-/Heizkreislaufsystem**

Aufgrund der unterschiedlichen Betriebstemperaturen wurden zwei separate Kühl-/Heizkreisläufe angelegt. Beim Niedertemperatur-Kühl-Heizkreislauf werden Temperaturen kleiner 100°C benötigt. Daher kann Wasser/Glykol als Kühlmittel verwendet werden. Der rechte Hochtemperatur-Kühl-Heizkreislauf wird allerdings Temperaturen von bis zu 300°C ausgesetzt, weshalb die Kühlmittelwahl auf Thermoöl gefallen ist.

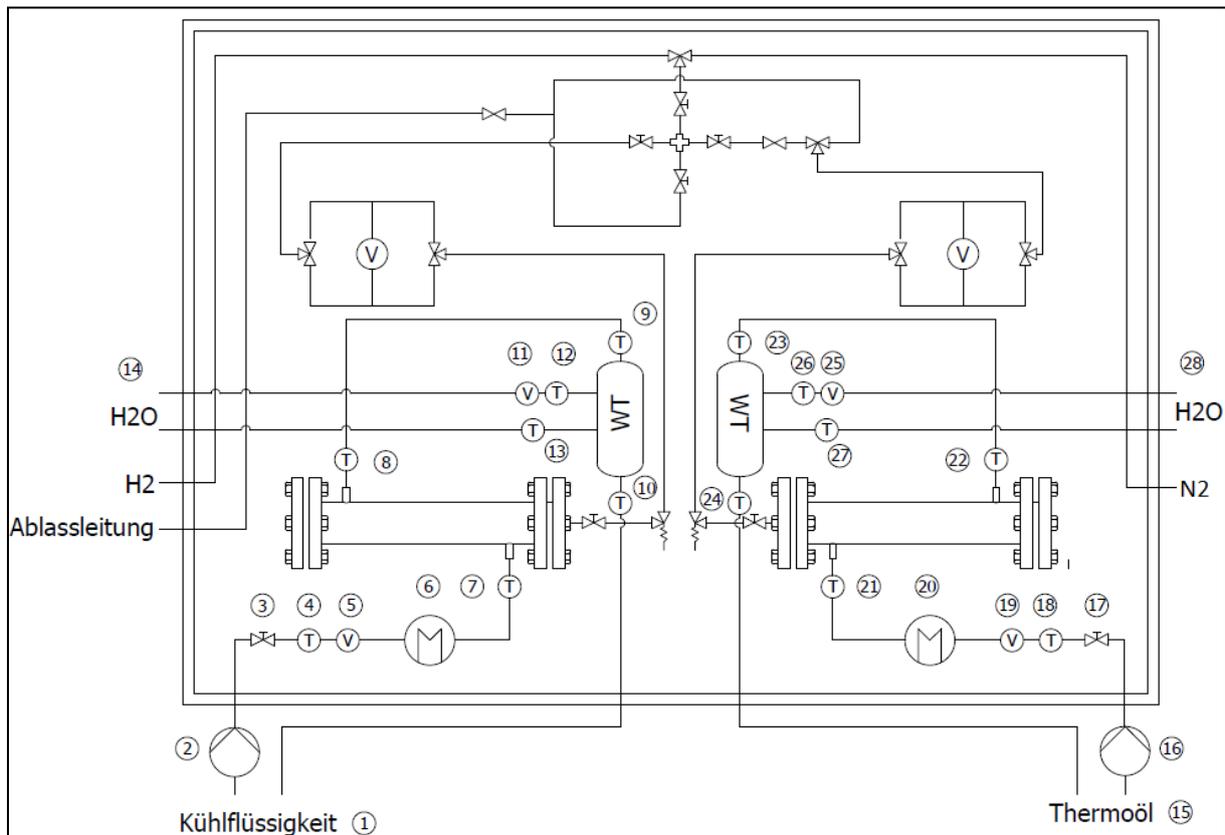


Abbildung 12: Anlagenschema für Rahmenaufbau; Wasserstoffkreislauf, Niedertemperatur Kühl-/Heizkreislauf (nummeriert 1-14), Hochtemperatur Kühl-/Heizkreislauf (nummeriert 15-28)

Da die zwei Kreisläufe gleich aufgebaut sind wird nur ein Kreislauf besprochen:

Die Einbringung der Kühlmittel erfolgt durch eine Impellerpumpe (2), (16), die aus einem Vorratsbehälter (1), (15) die benötigte Menge fördert. Anschließend folgt eine Absperr/Drosselventil (3) (17) nachdem die Temperatur- (4), (18) und Durchflussmessungen (5), (19) durchgeführt werden. Die eingebaute Heizung (6), (20) wird mit Hilfe eines Keramikheizdrahts realisiert, dem eine weitere Temperaturmessung (7), (21) folgt. Das Kühlmittel wird durch die Außenmanschette des Reaktors geführt, um anschließend wieder die Temperatur zu verifizieren (8), (22). Um

5. Prüfstandentwicklung

die aufgenommene Wärme wieder abzugeben, kommt das Kältemittel in einen Wärmetauscher mit vor- (9) (23) und nachgeschalteter (10) (24) Temperaturmessung, welcher mit Wasser betrieben wird (14) (28). Die Messstrecke des Wärmetauschers besteht aus zwei Temperatur- und einer Volumenstrommessung (11-13), (25-27). Bei den Förderpumpen wurden aus technischen Gründen, (Temperatur, Dichtungen, u.a.) die Wärmetauscher vor der Rückförderung in den Vorratsbehälter geschaltet.

5.2 Tankkonstruktion

Der Tank besteht aus einem druckbelasteten Innenrohr, in dem sich bei Betrieb das Hydrid befindet. Umhüllt wird dieses von einem Mantelrohr. Dieses wird je nach Kreislauf entweder mit einem Glykol-Wasser Gemisch oder von Thermoöl durchflossen, welches die Temperatur bereitstellt oder abführt.



**Abbildung 13: R3/8" Tank-
Einschraubung mit 8mm
Klemmringverschraubung**

Für das druckbelastete Innenrohr wurde Edelstahl 1,4404 (X2CrNiMo17-12-2) verwendet. Als Material für das Außenrohr wurde ebenfalls Edelstahl verwendet. Abgeschlossen werden die beiden ineinander liegenden Rohre mit zwei Flanschen. Die Bauteilgröße der Flansche entspricht DN 50 mit einer Druckstufe von PN 63 bzw. PN 100. Die Verschraubung erfolgt über M24 Schrauben. Die Dichtfläche dieser Flansche wurde mit Hilfe einer Feder-Nut Konstruktion erweitert wobei eine Graphitdichtung verwendet wurde. An der Anschlussseite wurde ein 3/8" IG Gewinde gesetzt, das als Beladungs- bzw. Entladungsöffnung dient. Die entsprechende Einschraubung wird tankseitig durch einen Messingring abgedichtet und führt mittels einer Schneidringverschraubung in den Wasserstoffkreislauf. Für weitere Informationen bezüglich Konzept und Konstruktion möchte ich hier auf die Arbeit von Stefan Ullrich, (Ullrich, 2013) verweisen.

5. Prüfstandentwicklung

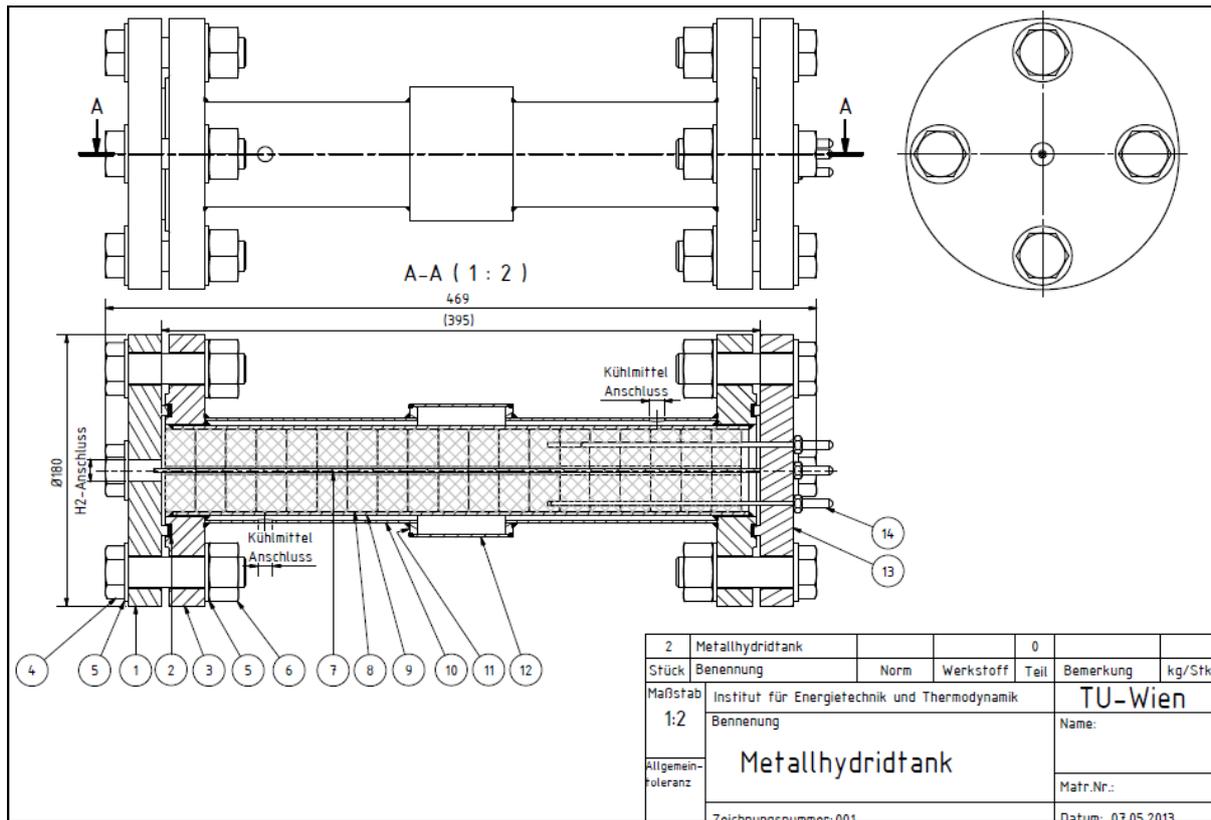


Abbildung 14: Konstruktionszeichnung des Tanks, (Ullrich, 2013)

- **Sintermetallfilterkerze**

Im Tank wird der Wasserstoff durch eine Sintermetallfilterkerze eingebracht. Diese besitzt am Eingang ebenfalls eine 3/8“ Einschraubverbindung mit der sie im Tank befestigt wird. Auf der anderen Flanschinnenseite wurde eine kleine Bohrung als Auflagefläche gefertigt. Die Sintermetallfilterkerze besteht aus nahtlosem 1.4404 CrNi-Stahlrohr. Bestellt wurde dieses über die Firma *GKN Sinter Filter Metals GesmbH* in Radevormwald (GER).

5. Prüfstandentwicklung

5.3 Beschreibung der Einzelteile

In diesem Abschnitt werden nun die verbauten Teile getrennt voneinander betrachtet. Aus Übersichts- und Gliederungsgründen werden die einzelnen Teile jedoch bezogen auf den Stoffkreislauf dargestellt.

5.3.1 Wasserstoffkreislauf

- **Rohrleitungen**

Der Wasserstoffkreislauf wurde mit Edelstahlrohren (1.4401/4404 bzw. 1.4571) aufgebaut. Der Rohrdurchmesser beträgt 8 mm bei einer Wandstärke von 1mm und der maximal zulässige Arbeitsdruck wird bei 320 bar erreicht. Die Rohre der Stahlgruppe 1.4401/4404 wurden bei der Firma *Parcom Ventile und Fittings GesmbH* bestellt; die 1.4571 über die Firma *Tecalto GesmbH Wien*.

- **Druckschläuche**

Die Druckschläuche wurden über die Firma *Grick Metallverarbeitung* bei der Firma *CHEM-Weld International GesmbH* gekauft. Es handelt sich jeweils um einen Druckschlauch für Stickstoff- und einen für Wasserstoffanwendungen. Beide Schläuche erhielten bei der Firma *Rinnert GesmbH & Co.KG* eine Prüfbescheinigung gemäß der Druckgeräterichtlinie EN 97/23, DIN EN ISO 14113, EN ISO 10380

Stickstoff:

Der Stickstoffschlauch verfügt ein- und ausgangseitig über eine Überwurfmutter G1/4“ und einer 1/4“ Schlauchtülle.

Wasserstoff:

Der Wasserstoffdruckschlauch besitzt eingangsseitig eine Überwurfmutter G1/4“ LH mit einer passenden 1/4“ Schlauchtülle, und ausgangsseitig eine Überwurfmutter G3/8“ LH mit der entsprechenden 3/8“ Schlauchtülle.

5. Prüfstandentwicklung



Abbildung 15: : Stickstoffdruckschlauch; geprüft nach Druckgeräterichtlinie EN 97/23, DIN EN ISO 14113, EN ISO 10380



Abbildung 16: Wasserstoffdruckschlauch; geprüft nach Druckgeräterichtlinie EN 97/23, DIN EN ISO 14113, EN ISO 10380

- **Flaschendruckminderer**

Stickstoff:

Bei dem Stickstoff-Flaschendruckminderer handelt es sich um einen *Harris Calorific GesmbH* Flaschendruckminderer der Modellreihe 925. Der Druckkörper besteht aus geschmiedetem Messing und erlaubt einen maximalen Eingangsdruck von 300 bar. Der Ausgangsdruck ist von 0 bis 50 bar variabel einzustellen. Der gekapselte Hochdruckventilsitz enthält eine mit Kel-F(CTFE) beschichtete Dichtung.

Artikelnummer	Stufen	Gasart	Eingang	Ausgang	Zertifizierungen
925V-20	einstufig	Argon CO2 Mischgas	W30x2RH	G1/4RH	EN ISO 2503
925V-50	einstufig	Argon CO2 Mischgas	W30x2RH	G1/4RH	EN ISO 2503
925PL-20	einstufig	Druckluft	W30x2RH	G1/4RH	EN ISO 2503
925PL-50	einstufig	Druckluft	W30x2RH	G1/4RH	EN ISO 2503
925OX-20	einstufig	Sauerstoff	W30x2RH	G1/4RH	EN ISO 2503
925OX-50	einstufig	Sauerstoff	W30x2RH	G1/4RH	EN ISO 2503
925GN-20	einstufig	Stickstoff	W30x2RH	G1/4RH	EN ISO 2503
925GN-50	einstufig	Stickstoff	W30x2RH	G1/4RH	EN ISO 2503
925H2-20	einstufig	Wasserstoff	W30x2LH	G3/8LH	EN ISO 2503
925H2-50	einstufig	Wasserstoff	W30x2LH	G3/8LH	EN ISO 2503

Tabelle 5: Flaschendruckminderer der Firma *Harris Calorific GesmbH*. Tabelle der Produktreihe 925. Rote Umrahmung-Stickstoff; Grüne-Umrahmung-Wasserstoff

Wie in der Tabelle 5 (rot umrahmte Zeile) ersichtlich, handelt es sich um das Produkt mit der Artikelnummer 925GN-50. Der Druckminderer wird einstufig

5. Prüfstandentwicklung

betrieben und ist für Stickstoff ausgelegt. Die Anschlüsse sind an der Eingangsseite ein W30x2RH Gewinde nach DIN 477 für nicht entzündbare, nicht giftige und nicht oxidierbare Gase und Gasgemische, und an der Ausgangsseite ein G1/4RH Gewinde. Die Apparatur ist mit der Zertifizierung EN ISO 2503 gekennzeichnet.



Abbildung 17: Stickstoff-Flaschendruckminderer der Firma *Harris Calorific GesmbH*

Wasserstoff:

Der Wasserstoff-Flaschendruckminderer ist genauso ein Produkt der Firma *Harris Calorific GesmbH* aus der Modellreihe 925. Die Produktspezifikationen sind in Tabelle 5 (grün umrahmt) dargestellt. Der maximale Eingangsdruck liegt bei 300 bar und der Ausgangsdruckbereich zwischen 0 und 50bar. Die genaue Artikelnummer lautet 925H2-50. Der Druckminderer wird wie der Stickstoff-Druckminderer einstufig betrieben. Der eingangsseitige Anschluss ist nach DIN477 ein W30x2LH Gewinde für entzündbare, giftige, korrosive und nichtkorrosive Gase und Gasgemische. Das ausgangsseitige Gewinde ist ein G3/8LH. Das Produkt ist durch die Zertifizierung EN ISO 2503 gekennzeichnet.



Abbildung 18: Wasserstoff-Flaschendruckminderer der Firma *Harris Calorific GesmbH*

5. Prüfstandentwicklung

- **Druckminderer**

Die in der Anlage verbauten Druckminderer sind aus Kostengründen umgebaute Flaschendruckminderer der Firma *Harris Calorific GesmbH*. Es wurden dabei ebenfalls die Wasserstoff-Druckminderer der Reihe 925 verwendet.

Artikelnummer	Stufen	Gasart	Eingang	Ausgang	Zertifizierungen
925V-20	einstufig	Argon CO2 Mischgas	W30x2RH	G1/4RH	EN ISO 2503
925V-50	einstufig	Argon CO2 Mischgas	W30x2RH	G1/4RH	EN ISO 2503
925PL-20	einstufig	Druckluft	W30x2RH	G1/4RH	EN ISO 2503
925PL-50	einstufig	Druckluft	W30x2RH	G1/4RH	EN ISO 2503
925OX-20	einstufig	Sauerstoff	W30x2RH	G1/4RH	EN ISO 2503
925OX-50	einstufig	Sauerstoff	W30x2RH	G1/4RH	EN ISO 2503
925GN-20	einstufig	Stickstoff	W30x2RH	G1/4RH	EN ISO 2503
925GN-50	einstufig	Stickstoff	W30x2RH	G1/4RH	EN ISO 2503
925H2-20	einstufig	Wasserstoff	W30x2LH	G3/8LH	EN ISO 2503
925H2-50	einstufig	Wasserstoff	W30x2LH	G3/8LH	EN ISO 2503

Tabelle 6: Tabelle der Produktreihe 925 der Firma *Harris Calorific GesmbH*. Die verwendeten Druckminderer sind blau umrahmt

Wie aus Tabelle 6 hervorgeht, ist die genaue Artikelbezeichnung 925H2-50. Der maximal zulässige Eingangsdruck beträgt 300 bar, wobei das Ausgangsdruckintervall zwischen 0 und 50 bar liegt. Um ihn jedoch für die Anlage adaptionsfähig zu gestalten, wurde der eingangsseitige Einschraubstutzen durch eine aus Messing gefertigte R1/4“ Verschraubung mit Überwurfmutter zur Adaption durch 8 mm Rohre ersetzt.



Abbildung 19: Einschraubstutzen; links Einschraubung Druckminderer, rechts R1/4“ Gewinde für 8mm Klemmringverschraubung

Ausgangsseitig wurde ebenso ein Adapter für 8mm Klemmringverschraubungen gefertigt. Für die 3/8“ LH Schraubverbindung am Druckminderer wurde eine 3/8“

5. Prüfstandentwicklung

Schlauchtülle abgeschnitten und mit einer R1/4“ 8mm Klemmringverschraubung verschweißt. Befestigt wird dieses Verbindungsstück mit einer 3/8“ LH Überwurfmutter am Druckminderer.



Abbildung 20: 3/8" Schlauchtülle und R1/4" 8mm Klemmringverschraubung



Abbildung 21: Fertig geschweißter Adapter für die Ausgangsseite am Druckminderer; rechte Seite 3/8" Schlauchtülle mit passender 3/8" LH Überwurfmutter, linke Seite R1/4" 8mm Klemmringverschraubung mit R1/4" Überwurfmutter

- **2-Wege-Kugelhähne**

Im Kreislauf:

Die 2-Wege-Kugelhähne innerhalb des Wasserstoffkreislaufes sind ein Produkt der Firma *DK-LOK Austria GesmbH* aus der Produktreihe V81 und wurden bei der Firma *Parcom Ventile und Fittings GesmbH* gekauft. Die genaue Produktbezeichnung lautet V81A-D-8M-S. Es handelt sich um ein Kugelventil mit PTFE-Dichtung. Der zulässige Arbeitsdruck liegt bei 69,8 bar und einer Temperatur von 38°C. In Abbildung 18 wird das Aufbau-Schema der Ventile der Baureihe V81 dargestellt.

5. Prüfstandentwicklung



Abbildung 22: 2-Wege-Kugelhahn der Bauserie V81:

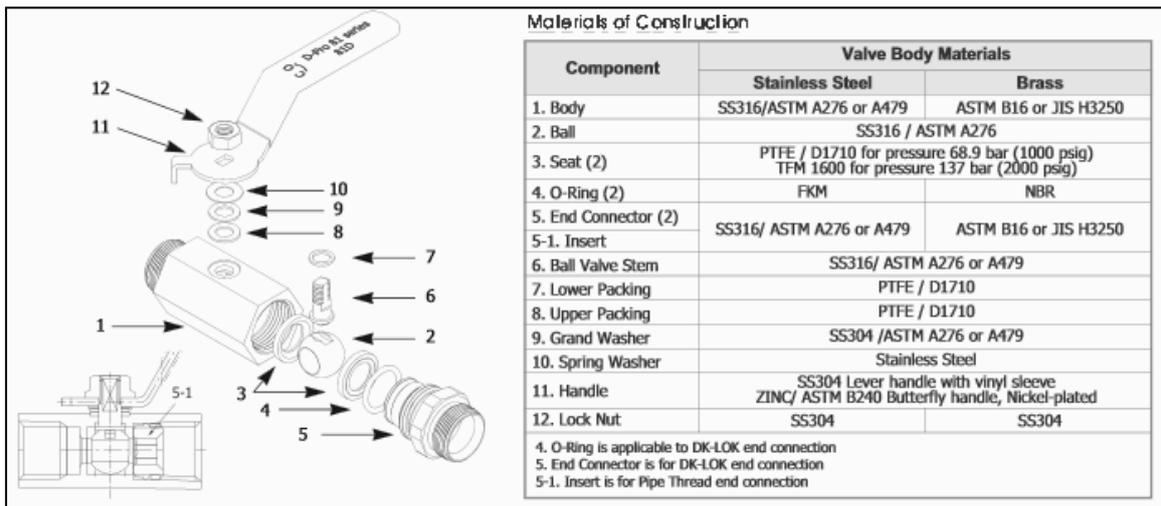


Abbildung 23: Explosionszeichnung des 2-Wegeventils der Bauserie V81 der Firma *DK-LOK Austria GesmbH*

Tank:

Aufgrund der hohen Temperaturen (300 °C), die während des Betriebes erreicht werden, sind die am Tank angebrachten 2-Wege-Ventile als Nadelventil ausgeführt. Sie sind ebenso wie die V81-Serie ein Produkt der Firma *DK-LOK Austria GesmbH* und wurden auch bei *Parcom Ventile und Fittings GesmbH* bestellt. Es handelt sich dabei um die Produktreihe V46 A. Da die Temperaturbeständigkeit bei Ventilen hauptsächlich durch die Dichtung beeinflusst wird, wird bei dem eingebauten Nadelventil eine Graphit-Dichtung verwendet. Der Korpus und andere Ventiltile bestehen aus Edelstahl. Die maximale Druckbelastung reicht bei 38 °C bis zu 689 bar und reduziert sich bei einer Temperatur von 648 °C auf 118 bar. Die allgemeine Einsatztemperatur liegt in einem Intervall von -54 °C bis 648 °C.

5. Prüfstandentwicklung

Component	Valve Body Materials	
	Stainless Steel	Carbon steel
Grade/ASTM Specification		
1. Handle	Stainless Steel	Carbon steel
2. Set screw		Carbon steel
3. Packing bolt	SS316/A276 or A479	C.Steel/JIS G4051
4. Lock nut		
5. Upper gland		SS316/A276 or A479
6. Packing	Standard chevron PTFE packing, Optional Grafoil.	
7. Lower gland		SS316/A276 or A479
8. Bonnet	SS316/A276 or A479	C.Steel/JIS G4051
9. Stem		
10. Non-rotating stem disc	SS630/A564	
11. Lock bolt	Stainless steel	
12. Lock plate		
13. Body	SS316/A276 or A479	C.Steel/ JIS G4051, White zinc galvanized.

Tabelle 7: Materialübersicht der Baureihe V46A; Nummer 6 wird als Grafoil ausgeführt; DK-LOK Austria GesmbH

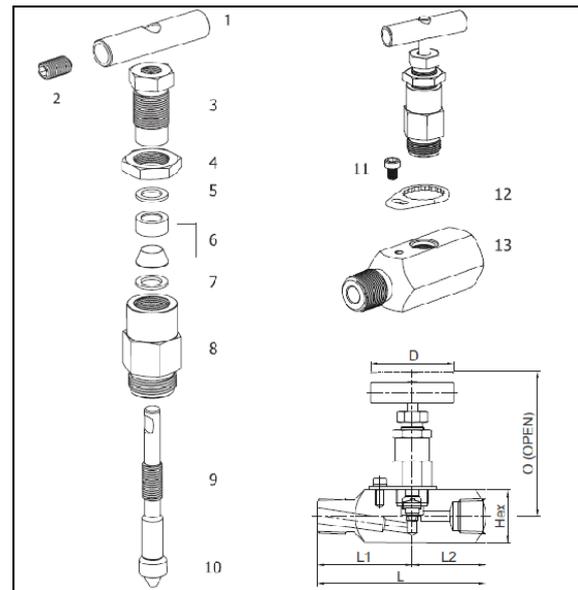


Abbildung 24: Explosionszeichnung der Baureihe V46A; die Positionsnummer 6 wird als Grafoil (Graphit) ausgeführt; DK-LOK Austria GesmbH

• 3-Wege-Kugelhähne

Die verwendeten 3-Wege-Kugelhähne werden von der Firma *DK-LOK Austria GesmbH* produziert und über *Parcom Ventile und Fittings GesmbH* bestellt. Es handelt sich um die Baureihe V82 mit einer 3-Wegeausführung. Der Korpus besteht wiederum aus Edelstahl und die Dichtungspackung aus Teflon. Abgedrückt werden diese Kugelhähne bei 172 bar in einem Temperaturbereich von 10 °C bis 65 °C.

Component	Valve Body Materials	
	Stainless Steel	Brass
Grade/ASTM Specification		
1. Handle	Nylon with brass insert	
2. Set Screw	17-4PH/A564	
3. Packing bolt ①	SS316/A276 or A479	Brass B16
4. Upper Gland	SS316/A276 or A479	
4a. Packing Spring (VL82 series)	17-4PH/A693	
5. Bushing	PTFE/D1710 type 1, Grade 1, Class B	
6. Lower gland	SS316/A276	Brass B16
6a. Packing Gland (VL82 series)	SS316/A276	
7 & 11. Upper & Lower Packing	PTFE/D1710 type 1	
8. Ball stem	SS316/A276	
9. Support rings	SS316 powered metal/B783	
10. Side discs	(fluorocarbon coating)	
12. Panel nut	SS316/A276	Brass B16
13. Body	SS316/A276 or A479	

Tabelle 8: Materialübersicht der Baureihe V82; DK-LOK Austria GesmbH

In Abbildung 21 wird das Produkt mit Bezeichnung V82B-3B-D-8M-S dargestellt.

5. Prüfstandentwicklung



Abbildung 25: 3-Wege-Ventil der Bauserie V82; *DK-LOK Austria GesmbH*

- **Sicherheitsventile**

Wie auch die oben angeführten Ventile wurden die Sicherheitsventile über die Firma *Parcom Ventile und Fittings GesmbH* bestellt und sind Produkte von *DK-LOK Austria GesmbH*. Es wurde die Bauserie V66 mit der genauen Produktbezeichnung V66-MF-4N verbaut. Das Sicherheitsventil auf der Hochdruckseite besitzt einen Auslösedruck von 55,5 bar und auf der Niederdruckseite von 33,3 bar. In Tabelle 9 sind die verbauten Materialien aufgelistet. Abbildung 24 stellt den Schnitt durch das Sicherheitsventil der Bauserie V66 dar.

Materials of Construction	
Cap Plug	Polypropylene
Adjusting Cap	S316/ ASTM A276, A479
Spring	17-7 PH SS/ AMS 5678 D
Locking Nut	
Bonnet	S316/ ASTM A479, A276
Poppet	
Stem & O-ring seal	Standard Viton*, optional EPDM and Buna N
Body	F316/ ASTM A182

Tabelle 9: Materialübersicht der Bauserie V66 der Firma *DK-LOK Austria GesmbH*

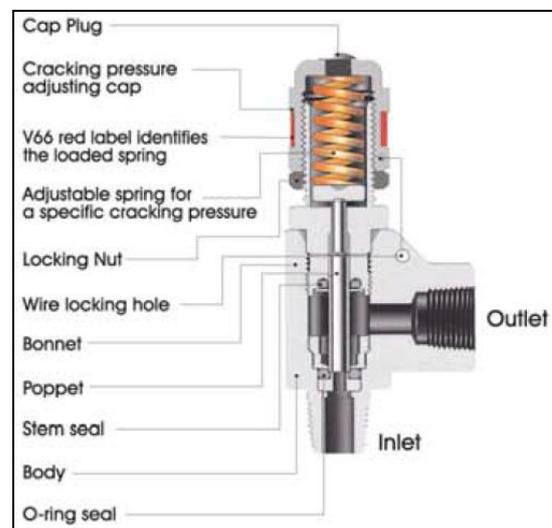


Abbildung 26: Schnitt durch das Sicherheitsventil der Bauserie V66; *DK-LOK Austria GesmbH*

5. Prüfstandentwicklung

- **Fittings**

Alle verbauten Fittings innerhalb des Wasserstoffkreislaufs sind von der Firma *DK-LOK Austria GesmbH*. Verbaut wurden gerade Verbindungsstücke mit der Produktbezeichnung DU-8M-S (Abbildung 24) und T-Stücke mit der Produktbezeichnung DT-8M-S (Abbildung 25). Die Produkte sind aus Edelstahl 316 und dichten wie in Abbildung 25 dargestellt mit einem Schneidring.

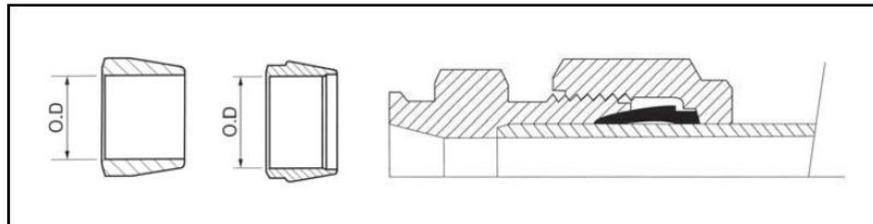


Abbildung 27: Schematische Darstellung der Schneidringdichtung; *DK-LOK Austria GesmbH*



Abbildung 28: Gerade Verbindung mit der Produktbezeichnung DU-8M-S; *DK-LOK Austria GesmbH*



Abbildung 29: T-Stückverbindung mit der Produktbezeichnung DT-8M-S; *DK-LOK Austria GesmbH*

5.3.2 Niedertemperatur Kühl-/Heizkreislauf

- **Rohrleitung**

Die Rohrleitungen in den Kühlkreissystemen (Niedertemperatur und Hochtemperatur) sind wie auch im Wasserstoffkreislauf 8 mm Edelstahlrohre 1.4401/4404 bzw. 1.4571 mit einer Wandstärke von 1 mm. Gekauft wurden sie bei der Firma *Tecalto GesmbH Wien* bzw. bei der Firma *Parcom Ventile und Fittings GesmbH*.

5. Prüfstandentwicklung

- **Pumpe**

Bei der Pumpe im Niedertemperaturkreislauf handelt es sich um eine Impellerpumpe der Firma *ZUWA-Zumpe GesmbH* und wurden über die Firma *Sinntec Schmiersysteme GesmbH* eingekauft.



Abbildung 30: Pumpe Unistar 2000-A, 230V, 1400 U/min, 15 l/min; *Sinntec Schmiersysteme GesmbH*



Abbildung 31: Typenschild der Impellerpumpe Unistar/V 2000-A; *Sinntec Schmiersysteme GesmbH*

Die Impellerpumpe Unistar 2000-A mit der Firmen Artikelnummer ST-1111116322 kann für Wasser, Schmutzwasser sowie alle Öle ohne Abriebstoffe verwendet werden. Die maximale Medientemperatur beträgt 90°C. Der Motor besitzt einen 230 V-Netzanschluss und fördert 15 l/min bei 1400 U/min. Die maximale Ansaughöhe beträgt 7m und erzeugt einen maximalen Druck von 5bar. Das Gehäuse und der Deckel bestehen aus einer AlMgSi Legierung, die Welle ist aus Edelstahl 1.4104. Der Impeller und die Dichtungen sind aus Perbunan (NBR; Nitrilkautschuk) gefertigt. Die Anschlüsse bestehen aus einem 3/4“ Außengewinde. Die entsprechenden Aufschraubstutzen zur Pumpen-Rohr-Verbindung wurden selbst hergestellt. Dabei wurde auf eine 3/4“ Abschlusskappe eine 8 mm Schneidringverbindung aufgeschweißt.

- **Heizdraht**

Als Heizung wird eine Heizschnur der Firma *Hillesheim GesmbH* vorgesehen. Es wird der Typ HS mit einer Leistung bis zu Temperaturen von 450 °C vorgeschlagen. Der Mindestbiegeradius beträgt 4 mm bei einem Eigendurchmesser von 3-4 mm. Die erforderliche Nennspannung beträgt 230 V. Die Endstücke sind mit Glasseide isoliert und sind somit temperaturbeständig.

5. Prüfstandentwicklung

Wärmetauscher

Aufbauend auf den Berechnungen, (Ullrich, 2013) wurde ein Wärmetauscher konstruiert und von der Firma *Grick Metallverarbeitung* gefertigt. Er besteht aus einem 8 mm Edelstahlrohr, welches mit einem 40 mm Kühlrohr ummantelt ist. Die Ein- bzw. Ausgänge des Kühlmittels sind mit einer 1/2" IG Einschraubverbindung ausgeführt. Die dafür gebrauchten Einschraubungen zur Rohrverbindung, mit der Produktbezeichnung GE 08 LR 1/2 CF, wurden bei der Firma *Tecalto GesmbH* gekauft.

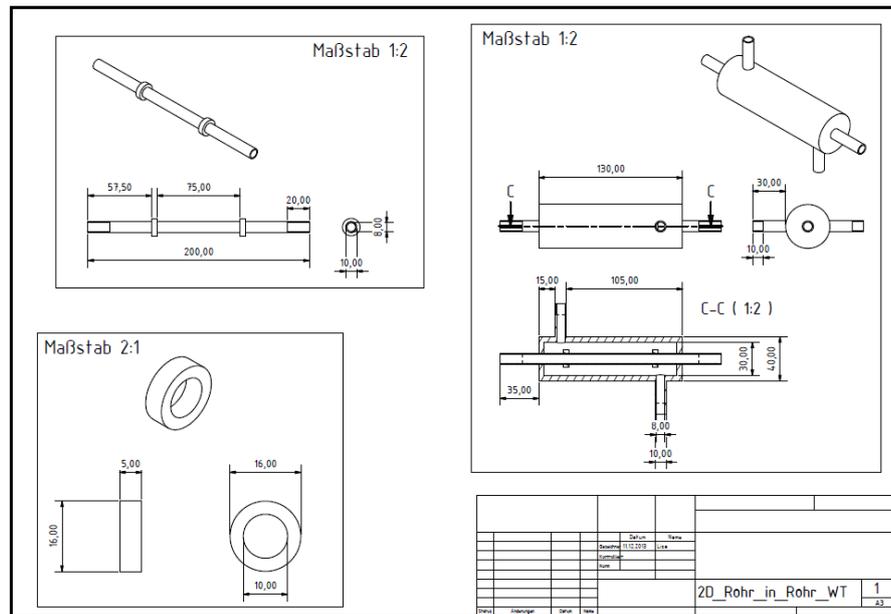


Abbildung 32: Konstruktionszeichnung des Rohr-in-Rohr Wärmetauschers



Abbildung 33: 1/2" Einschraubung mit 8mm Klemmringverschraubung; Tecalto Wien GesmbH

5. Prüfstandentwicklung

- **Thermoelemente**

Die für den Heiz-/Kühlkreislauf gebrauchten Thermoelemente wurden über *Temperatur Control GesmbH* bestellt. Es handelt sich um ein Mantelthermoelement Typ K mit einem 3 m langen Silikon-Kabel. Die maximale Einsatztemperatur liegt bei 1200 °C. Die Abmessungen betragen 200 mm Länge und 2 mm Durchmesser. Die genaue Artikelnummer lautet MT1/S-2200-3.0.



Abbildung 34: Thermoelement des Typs K mit Silikonkabel

- **Thermoelementeinschraubungen**

Zur Positionierung und Befestigung der Thermoelemente wurden entsprechende Teile gefertigt. Dabei wurden 2 mm Schneidringverbindungen auf ein ca. 70 mm langes Rohrstück aufgeschweißt. Dies soll zur exakten Positionierung innerhalb der Rohrleitung dienen. Befestigt wird dieses Teilstück mit Hilfe eines T-Fittings. Die 2 mm Schneidringverschraubung wurde bei der Firma *Seenor Swagelok Austria GesmbH* mit der Produktnummer SS-2M0-R-3M bestellt. Die T-Stück-Fittings mit der Produktbezeichnung T 08 L CF lieferte die Firma *Tecalto GesmbH*.



Abbildung 35: gefertigte Thermoelementklemmringverschraubung zur Positionierung in der Rohrleitung



Abbildung 36: T-Stück-Fitting der Firma *Tecalto GesmbH* mit der Produktbezeichnung T 08 L CF

5. Prüfstandentwicklung

- **Durchflussmesser**

Die Durchflussmessung innerhalb des Niedertemperaturkreislaufes wird mit einem Produkt von B.I.O-TECH e.K. umgesetzt. Es handelt sich um einen Kompaktwasserdurchflussmesser aus der Serie FCH-C-Ms-N mit der Artikelnummer 97478387. Das Meßprinzip wird durch eine Turbine realisiert wobei die Abtastung ein Hallsensor übernimmt. Der Durchflussbereich liegt zwischen 0,5 und 30 l/min und die Betriebstemperatur zwischen -10 °C und 80 °C. Der Maximaldruck beträgt bei 10 bar. Das Ausgangssignal wird über einen PNP-Transistor ausgegeben. Des Weiteren verfügt er über zwei 1/2“ AG Anschlüsse. Die notwendigen Aufschraubungen wurden bei der Firma *Tecalto GesmbH* mit der Produktbezeichnung GAI 08 LR 1/2 CF bestellt.



Abbildung 37:
Wasserdurchflussmesser
der Firma *B.I.O-TECH*
e.K.

5.3.3 Hochtemperatur Kühl-/Heizkreislauf

- **Pumpe**

Die Pumpe im Hochtemperatur Kühl-/Heizkreislaufsystem ist wie im Niedertemperaturbereich ein Produkt der Firma *ZUWA-Zumpe GesmbH* und wurde ebenfalls über die Firma *Sinntec Schmiersysteme GesmbH* eingekauft. Die Artikelnummer lautet ST-111311336322.

5. Prüfstandentwicklung



Abbildung 38: Impellerpumpe Unistar/V 2000-A, 230V, 1400U/min, 15l/min; Sinntec Schmiersysteme GesmbH

Da das Hochtemperatur Kreislaufsystem mit Thermoöl betrieben wird und dieses korrosiv wirken kann wurde bei dieser Pumpe ein anderer Dichtungswerkstoff verwendet. Die eingebaute Dichtung sowie der Impeller selbst bestehen aus Viton (Fluorelastomere) welche unempfindlich gegen die Einflüsse des Thermoöls sein sollen. Alle anderen technischen Charakteristika sind identisch mit der oben beschriebenen Pumpe Unistar 2000-A und werden daher hier nicht erneut beschrieben.

- **Durchflussmesser**

Bei dem Öldurchflussmesser wurde auch ein Produkt der Firma *B.I.O-TECH e.K.* gekauft. Der Durchflussmesser ist aus der Baureihe VZB-10-ALU mit der Artikelnummer 97478508.



Abbildung 39: Öldurchflussmesser der Firma B.I.O-Tech e.K.

5. Prüfstandentwicklung

Der Zahnradzähler tastet ebenso wie der oben beschriebene Wasserdurchflusszähler mit Hilfe des Hall-Prinzips ab und gibt ein Ausgangssignal über einen PNP Transistor aus. Der Durchflussbereich liegt zwischen 0,1 und 15 l/min bei einem maximalen Betriebsdruck von 110 bar. Die Einsatztemperaturen liegen zwischen -20°C und 80°C. Er verfügt über zwei 3/8“ IG Anschlüsse. Die Einschraubungen für diese Verbindungen mit der Produktnummer GE 08 LR 3/8 CF wurden ebenfalls von der Firma *Tecalto GesmbH* geliefert.

• Weitere Komponenten des Hochtemperaturkreislaufes

Die folgenden Komponenten sind ident mit den Teilen aus dem Niedertemperaturkreislauf, daher wird hier auf die obigen Ausführungen verwiesen:

- Thermoelemente
- Thermoelementeinschraubungen
- Wärmetauscher
- Heizdraht

5.3.4 Wasserkreislauf-Wärmetauscher

• Thermoelemente

Es wurden die gleichen Thermoelemente verwendet, die in den Kühlkreisläufen verbaut wurden. vgl. 5.3.2 /Thermoelemente

• Durchflussmesser

vgl. 5.3.2/Durchflussmesser

6. Vorversuche

In der ersten geplanten Versuchsreihe die mit dem beschriebenen Prüfstand untersucht werden soll, wird eine AB₂-Legierung eingesetzt. Es wurden 2 kg Hydralloy C5 bei der Firma *GfE Metalle und Materialien GesmbH* gekauft. Die Zusammensetzung dieser Wasserstoff-Speicherlegierung ist wie folgt:

Ti	28.00 %	Mn	50.75 %	Fe	2.99 %
Al	0.23 %	N	0.07 %	Zr	3.04 %
V	14.05 %	Si	0.08 %	O	0.10 %

Tabelle 10: Chemische Zusammensetzung des Hydralloy C5

Hydralloy C5 ist ein Tieftemperaturhydrid und absorbiert laut Datenblatt 1.88 wt% bei 45.8°C und desorbiert 1.84 wt% bei 45.2°C. Die Desorptionskapazität entspricht 9.2 mol H₂ bzw. 206 l H₂/kg Hydralloy C5 bei p = 1.013*10⁵ Pa und T = 0°C.

Da die Wärmeleitfähigkeit des Hydralloys, welche für eine gute Speicherperformance ausschlaggebende ist, gering ist, wird diese Speicherlegierung mit Graphit vermischt. Dafür wurden 20 kg ENG (expanded natural graphite) von der Firma *SGL Carbon SE* akquiriert. Ziel dieser Vorversuche sollen Pellets mit verschiedenen Graphit-Anteilen (5-Gew%, 12,5-Gew% und 25-Gew%) sein.

6.1 Mahlversuche

Da wir nur wenige Informationen bezüglich der Pellets Herstellung in der Literatur gefunden haben, mussten wir nach einem „Trial and Error“ Prinzip vorgehen. Unter Leitung von Univ. Ass. Dr. DI Christian Gierl-Mayer wurden in den KW 4 und KW 5 im Jahr 2014 erste Versuche zu den Vermahlungseigenschaften durchgeführt. Gemahlen wurde mit einer Mühle der Firma *KHD Humboldt Wedag AG* Baujahr 1980.

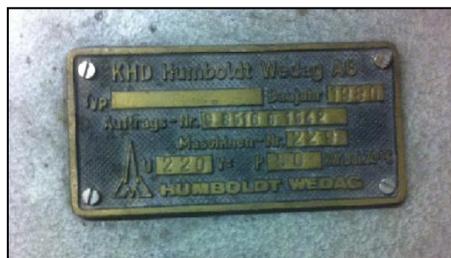


Abbildung 40: Datenschild der MÜHLE;
KHD Humboldt Wedag AG

6. Vorversuche

Als Mahlbehälter wurde ein, wie in Abbildung 39 dargestellter, Trog benutzt. Dieser setzt sich aus dem Mahlbehälter (1), einem Ring (2) (ca.70 mm Durchmesser), einem Vollzylinder (3) (ca. 40mm Durchmesser) und einem Deckel (4) zusammen.



Abbildung 41: Mahlbehälter; 1 Mahltrog, 2 Ring, 3 Zylinder, 4 Deckel



Abbildung 42: Zusammengesetzter Mahlkörper/Innenraum

Alle Teile sind an der Mahloberfläche mit Hartmetall ausgekleidet. Durch den Drehimpuls der Mühle kommt es im Mahlbehälter zu einer azentrischen Rotation des Rings und des Zylinders, wodurch das Mahlgut zerkleinert wird.



Abbildung 43: Mühle der Firma KHD Humboldt Wedag AG

6.1.1 Mahlvorgang: Charge 1

Der erste Mahlvorgang der ersten Charge mit der Probenrnr.1 wurde mit reinem Hydralloy C5 durchgeführt. Die eingewogene Menge betrug 20,59g und die Mahlzeit wurde auf 5 Minuten angesetzt. Während des Mahlens kam es zu keinen Besonderheiten. Beim Herausheben des Mahlbehälters, Abb.: 40 wurde jedoch

6. Vorversuche

festgestellt, dass es zu einer fühlbaren Erwärmung des gesamten Troges kam. Durch das Abheben des Deckels und dem damit verbundenem Öffnen des Mahlraumes kam es mit dem aus der Umgebung zur Verfügung stehenden Luftsauerstoff zu einer Oxidation des Mahlgutes, welche durch ein schnelles und kurzes Aufflammen zu erkennen war. Somit konnte auch die Erwärmung des Troges, die während des Mahlvorganges stattfand, auf etwaige nicht beobachtbare Oxidationsvorgänge, durch den in der Mahlkammer befindlichen Restsauerstoff, zurück geführt werden.

Bei der zweiten Mahlung mit der Probenr.2 wurde nun 20,24 g Hydralloy mit einem Graphitanteil von 5 Gew% (1,12 g) vermennt und in den Mahlkörper eingebracht. Der Mahlvorgang und das Öffnen des Mahlbehälters war unauffällig.

Die dritte Mahlung (Probenr.3) wurde mit 20,22 g Hydralloy und einem Graphitanteil von 12,5 Gew% (2,53 g) durchgeführt und verlief ebenso unauffällig.

Bei der letzten Mahlung der ersten Charge (Porbenr.4) wurde der Mahlbehälter mit 20,78 g Hydralloy und einem Graphitanteil von 25 Gew% (5,2 g) beschickt. Wie bei den zwei vorherigen Versuchen verlief die Mahlung unauffällig.

Charge 1							
Charge	Probe	t _M [min]	m _H [g]	m _C [g]	m _{Ges} [g]	m _{Ges} ^M [g]	C [Gew%]
1	1	5	20,59	0	20,59	17,35	0
	2	5	20,24	1,12	21,36	21,16	5
	3	5	20,22	2,53	22,75	22,82	12,5
	4	5	20,78	5,2	25,98	25,81	25

Tabelle 11: Mahlaufzeichnungen der Charge 1

6.1.2 Mahlvorgang: Charge 2

Zwischen der Mahlung von Charge 1 und Charge 2 wurden erste Pressversuche mit den Mischungen aus Charge 1 vorgenommen. Jedoch konnte mit der 5 Gew%-Mischung und teilweise mit der 12,5 Gew%-Mischung keine stabilen Pellets hergestellt werden. Es wurde vermutet, dass sich die Verpressungseigenschaften des ENG mit dem Mahlen verschlechterten und deshalb keine festen Strukturen ausgebildet werden konnten. Da es jedoch ohne Graphit zu einer Oxidation des Hydralloys kommen würde, veranlasste uns diese Vermutung dazu die folgenden Mahlvorgänge mit einer kleinen Menge an Graphit (1,25 Gew%) durchzuführen und den Restanteil nach dem Mahlen beizumengen. Der geringe Graphitanteil sollte sich auf die, durch die Mahlung neu entstandenen, Oberflächen legen und somit die Oxidation mit dem Luftsauerstoff hemmen.

6. Vorversuche

Da eine Mahlzeit von 5 min. ein gutes Ergebnis bezüglich Korngröße und Feinheit ergab wurden diese 5 Minuten beibehalten.

Die erste Mahlung (Probennr. 1) der Charge 2 verlief unauffällig. Es wurden dabei 20,00 g Hydralloy und 0,25 g Graphit vermahlen.

Bei der zweiten Mahlung (Probennr. 2) kam es mit einer Füllmenge von 20,22g Hydralloy und 0,25g Graphit zu einer Erwärmung des Mahlbehälters. Das Öffnen und das Entleeren verliefen wiederum unauffällig.

Die dritte Mahlung (Probennr. 3) wurde mit 20,25g Hydralloy und 0,25g Graphit durchgeführt. Beim Öffnen des Mahltroges brannte jedoch das gesamte Mahlgut ab.

Charge 2								Mischung*	
Charge	Probe	t _M [min]	m _H [g]	m _C [g]	m _{Ges} [g]	m _{Ges} ^M [g]	C [Gew%]	C* [Gew%]	m _{C ges} * [g]
2	1	5	20,00	0,25	20,25	19,00	1,25	5,00	0,70
	2	5	20,22	0,25	20,47	19,95	1,23	12,50	2,21
	3	5	20,25	0,25	20,50		1,23		
	4	5	20,32	0,50	20,82	19,97	2,46	25,00	4,80
3	1	5	20,06	0,41	20,47	19,91	1,98	12,50	2,79
4	1	5	20,33	0,41	20,74	20,09	1,96	12,50	2,81

Tabelle 12: Mahlaufzeichnungen der Chargen 2,3 und 4; da es bei diesen Charge erst nach der Mahlung zu der Vermischung mit ENG kam sind die Mischungsmengen (grün) auf der rechten Seite der Tabelle dargestellt

Daraus resultierend wurde bei Mahlvorgang 4 (Probennr. 4) der Charge 2 die doppelte Menge an Graphit (2,46 Gew%) in den Mahltrog gegeben. Der Trog erwärmte sich wiederum während der 5 Minuten Mahlzeit, jedoch konnte beim Öffnen kein Aufflammen bzw. keine oxidierten Oberflächen festgestellt werden.



Abbildung 44: Mahlgut nach der Entleerung des Mahlbehälters; Mahlzeit 5 min.

6. Vorversuche

6.1.3 Mahlvorgang: Charge 3 und Charge 4

Vor dem Mahlen der Charge 3 und Charge 4 wurden wieder Pressversuche unternommen auf deren Ergebnisse und Abläufe jedoch in den folgenden Abschnitte eingegangen wird.

Mahlzeit: 5min

Bei Charge 3 wurde 20,06 g Hydralloy und 0,41 g (1,98 Gew%) Graphit in den Mahltrog eingefüllt. Der Mahlvorgang, sowie das Öffnen verliefen unauffällig.

Bei Charge 4 wurden 20,33 g Hydralloy und 0,41 g (1,96 Gew%) Graphit vermischt und vermahlen. Gleich wie bei der Mahlung von Charge 3 kam es zu keinen Auffälligkeiten während des Mahlens bzw. des Öffnens.

6.2 Pressversuche

Die Pressversuche wurden ebenfalls unter der Leitung von Univ.Ass. Dr. DI Christian Gierl-Mayer durchgeführt. Für die Pressungen der Chargen 1 und 2 wurde eine Hydraulikpresse der Firma Alfred J. Amsler und Co. verwendet. Aufgrund des Alters dieser Anlage können hier keine genaueren Produktangaben gemacht werden.



Abbildung 45: Hydraulik der Presse; Alfred J. Amsler und Co.



Abbildung 46: Pressvorrichtung mit Pellet-Matrize; Alfred J. Amsler und Co.

Charge 3 und Charge 4 wurden anschließend auf einer Zwick 1474, einer elektromechanischen, Universalprüfmaschine durchgeführt. Diese bringt einen maximale Druckkraft von 100kN auf. Die Prüfgeschwindigkeit reicht von 0,001 bis 600 mm/min.

6. Vorversuche

Es wurde bei allen hier behandelten Pressversuchen eine Stahl-Matrize verwendet. Die Pressform besitzt eine Fläche von 1 cm^2 und ist ca. 5 cm hoch. Bei der Pressung selbst wurde diese Matrize mit rund 5 g einer Hydralloy / Graphit-Mischung befüllt und anschließend mit zwei Stempeln in die Pressvorrichtung eingespannt.

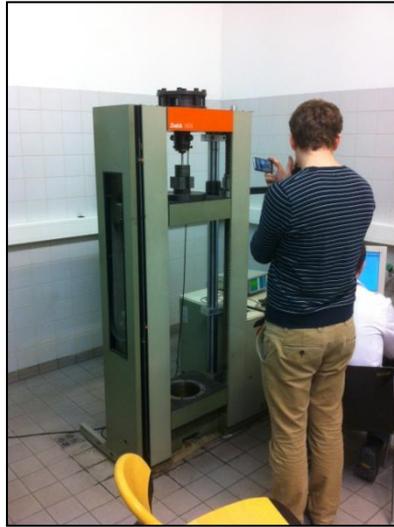


Abbildung 47: Elektromechanische Universalprüfmaschine Zwick 1474

6.2.1 Pressvorgang: Charge 1

Die Pressversuche von Charge 1 wurden mit den Hydralloy / Graphit-Mischungen zu 5 Gew %, 12,5 Gew % und 25 Gew % durchgeführt. Es wurde dabei je eine Probe mit 100 MPa und 200 MPa Pressdruck verpresst.



Abbildung 48: Schichtweise zerfallener Pellet der Charge 1; Beim Ausspannen war ein leises Knacksen wahr zu nehmen, das auf eine radiale Ausdehnung beim Ausspannen hindeutet

Die Pellets der 5 Gew % Mischungen zerfielen sowohl bei 100 MPa als auch bei 200 MPa Pressdruck nach dem Ausspannen aus der Matrize „schichtweise“. Man konnte beim

6. Vorversuche

Ausspannen ein leises Knackgeräusch hören das auf eine radiale Ausdehnung beim Ausspannvorgang hindeutet.

Die Pellets der 12,5 Gew % Mischung wiesen schon höhere Verfestigungen auf. Bei 100 MPa Pressdruck blieb das Pellet komplett und machte optisch einen stabilen Eindruck. Das Pellet, das mit eine Pressdruck von 200 MPa gefertigt wurde zerfiel jedoch, ähnlich wie die 5 Gew % Mischung zuvor, nach seinen Schichten.

Mit der 25 Gew % Mischung konnten schließlich zwei stabile Pellets hergestellt werden. Das 200 MPa-Stück wies zwar feine Risse am unteren Einspannende auf, zerfiel aber bei Einwirkung leichter mechanischer Belastung - durch Abtasten - nicht.

6.2.2 Pressvorgang: Charge 2

Da bei Charge 1 der höhere Pressdruck nicht zu einer besseren Verpressung führte, wurde bei Charge 2 ausschließlich mit einem Pressdruck von 100 MPa gepresst.

Vor der Pressung der Charge 2 wurden die Hydralloy/Graphit-Mischungen (5 Gew %, 12,5 Gew % und 25 Gew %) fertiggestellt indem der restliche ungemahlene Graphit beigemischt wurde.

Bei Charge 2 wurde auch aus der 5 Gew % Mischung ein stabiles Pellet hergestellt. Damit wurde die Vermutung von der besseren Verpressungseigenschaft des ungemahlene Graphits bestätigt. Aus den anderen Mischungen (12,5 Gew % und 25 Gew %) wurden ebenfalls stabile Pellets gepresst. Jedoch konnte man wiederum feine Risse an den unteren Einspannenden erkennen.

6. Vorversuche

Pressaufzeichnungen			
Charge	Probe/Pressung	F _P [MPa]	C [Gew%]
1	2/1	200	5
	2/2	100	5
	3/1	100	12,5
	3/2	200	12,5
	4/1	100	25
	4/2	200	25
2	1/1	100	5
	2/1	100	12,5
	3/1	100	25
3	1/1	50	12,5
	1/2	75	12,5
	1/3	100	12,5
	1/4	125	12,5
	1/5	150	12,5
4	1/1	200	12,5

Tabelle 13: Pressaufzeichnungen der Chargen 1-4

6.2.3 Pressvorgang: Charge 3 und 4

Charge 3 und 4 wurden für die Aufnahme des Pressdruckverlaufs verwendet. Wie oben schon angeführt, wurden diese Pressungen auf der mechanischen Universalprüfmaschine Zwick 1474 durchgeführt. Da die 12,5 Gew % Hydrallooy/Graphit-Mischung als die aussagekräftigste in Bezug auf die Verpressungseigenschaften bestätigt worden ist, wurden aus dieser Pellets mit unterschiedlichen Pressdrücken hergestellt. Die Pressdrücke befanden sich in einem Bereich von 50 bis 200 MPa.

Aus Charge 3 wurden insgesamt 5 Mischungen mit je 5 g und einem Graphitanteil von 12,5 Gew % hergestellt. Anschließend wurde jeweils eine Mischung in die Matrize eingefüllt und zur Pressung eingespannt. Die erste Pressung erfolgte mit 50 MPa. Die folgenden wurden mit einer Steigerung des Pressdrucks von 25 MPa zu je 75, 100, 125 und 150 MPa durchgeführt und dabei wurde der Pressdruckverlauf aufgenommen.

Aus Charge 4 wurde eine 5g Mischung mit einem Graphitanteil von 12,5Gew% hergestellt und der Pressdruckverlauf bis zu einem Maximaldruck von 200 MPa aufgenommen.

Anschließend wurden weitere Mischungen mit 12,5 Gew % hergestellt, um größere stabförmige Pellets (Matrizenabmessung: L: 10,4mm und B: 55mm) zu pressen. Dabei wurden erfolgreich zwei Stück mit einem Pressdruck von 100 MPa erzeugt.

6. Vorversuche

Alle auf der Zwick 1474 hergestellten Pellets inkl. der letzten zwei größeren blieben stabil und zeigten nur sehr geringe Deformationen nach dem Auspressvorgang. Außerdem wurden keine Fehlstellen (z.B.: leichte Risse an den unteren Einspannenden), wie sie bei den Pressungen von Charge 1 und 2 vorkamen, festgestellt.

6.3 Pressdatenauswertung und Vergleich mit Literatur

Um einen Bezug zu den, aus den Pressversuchen, erhaltenen Werten zu bekommen und die Möglichkeit einer Reproduzierbarkeit zu gewährleisten, wurden diese Daten mit einer Arbeit vom Institut für Materialforschung der Technischen Universität Dresden in Kooperation mit einer Außenstelle des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und angewandte Materialien verglichen. In dieser Arbeit wurde aus 3 Mischungen zu je 2,5 Gew %, 5 Gew % und 12,5 Gew % Graphitanteil und Pressdrücken von 75 MPa bis 600 MPa Pellets mit einem Durchmesser von ca. 1,5 cm hergestellt. Das eingesetzte Hydralloy hatte die gleiche Zusammensetzung wie das von uns verwendete, (Pohlmann, Röntzsch, Heubner, Weißgräber, & Kieback, 2013).

6.3.1 Auswertung der Pressdaten

Die aus den Pressversuchen erhaltenen Daten setzten sich, wie in Tabelle 14 dargestellt, zusammen. Die Massen der einzelnen Materialien (Hydralloy und Graphit) wogen wir entweder vor, oder nach dem Mahlvorgang ein.

Charge	Probe/ Pressung.	F _P [Mpa]	C [Gew%]	m _c [g]	m _H [g]	m _{Pellet} [g]	D [cm]	L [cm]	Vol _{Pellet} [cm ³]
1	3/1	100,00	12,50	0,62	4,36	4,98	1,14	1,19	1,22
	4/1	100,00	25,00	1,25	3,76	5,01	1,14	1,27	1,31
	4/2	200,00	25,00	1,24	3,71	4,95	1,14	1,23	1,26
2	1/1	100,00	5,00	0,25	4,74	4,99	1,14	1,20	1,21
	2/1	100,00	12,50	0,58	4,06	4,64	1,14	1,22	1,24
	3/1	100,00	25,00	0,60	1,81	2,41	1,14	0,69	0,70
3	1/1	50,00	12,50	0,50	3,50	4,00	1,14	1,18	1,20
	1/2	75,00	12,50	0,50	3,51	4,01	1,14	1,13	1,15
	1/3	100,00	12,50	0,50	3,49	3,99	1,14	1,11	1,13
	1/4	125,00	12,50	0,50	3,50	4,00	1,14	1,09	1,11
	1/5	150,00	12,50	0,50	3,50	4,00	1,14	1,07	1,09
4	1/1	200,00	12,50	0,50	3,50	4,00	1,14	1,06	1,07

Tabelle 14: Messwerte der Pellets aus Charge 1-4

6. Vorversuche

Nach der Pressung wurde dann die Masse der Pellets gewogen und ihre geometrischen Abmessungen notiert um anschließend daraus die Volumina zu berechnen. Aus diesen Basisdaten konnten die weiteren Parameter mit folgenden Gleichungen errechnet werden.

Für die Dichte folgt:

$$\rho \left[\frac{g}{cm^3} \right] = \frac{m_{Pellet} [g]}{Vol_{Pellet} [cm^3]} \quad (15)$$

Die Porosität wird definiert durch:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho \left[\frac{g}{cm^3} \right]}{\rho^{th} \left[\frac{g}{cm^3} \right]} \quad (16)$$

Für den Volumenprozentanteil an Graphit und Hydralloy folgt:

$$C [Vol\%] = \frac{Vol C [cm^3]}{Vol_{Pellet} [cm^3]} \quad (17)$$

$$Ha [Vol\%] = \frac{Vol Ha [cm^3]}{Vol_{Pellet} [cm^3]} \quad (18)$$

Neben diesen wurden auch noch die gravimetrische (19) und volumetrische (20) Speicherdichte pro Pellet berechnet:

$$\rho_{grav(Pellet)}^{H_2} [Gew\%] = \frac{m_H [g]}{m_{Pellet} [g]} * \rho_{grav}^{H_2} [Gew\%] \quad (19)$$

$$\rho_{vol(Pellet)}^{H_2} \left[\frac{g H_2}{l} \right] = \rho_{grav}^{H_2} [Gew\%] * \rho_H^{th} \left[\frac{g}{cm^3} \right] * \frac{Ha [Vol\%]}{100} * 1000 \quad (20)$$

Die aus den Gleichungen 15 bis 20 erhaltenen Werte sind in Tabelle 15 abgebildet.

6. Vorversuche

Charge	Probe/Pressung	F _P [Mpa]	C [Gew%]	ρ [g/cm ³]	ε	C [Vol%]	Ha [Vol%]	ρ ^{H₂} _{grav Pellet} [Gew%]	ρ ^{H₂} _{vol Pellet} [g-H ₂ l ⁻¹]
1	3/1	100,00	12,50	4,08	0,18	23,81	58,46	1,31	53,49
	4/1	100,00	25,00	3,83	0,08	44,78	47,13	1,13	43,12
	4/2	200,00	25,00	3,94	0,06	46,02	48,44	1,13	44,32
2	1/1	100,00	5,00	4,11	0,26	9,61	64,07	1,43	58,62
	2/1	100,00	12,50	3,75	0,24	21,92	53,84	1,31	49,26
	3/1	100,00	25,00	3,44	0,18	40,13	42,23	1,13	38,64
3	1/1	50,00	12,50	3,34	0,33	19,48	47,84	1,31	43,78
	1/2	75,00	12,50	3,48	0,30	20,33	49,93	1,31	45,69
	1/3	100,00	12,50	3,53	0,29	20,60	50,58	1,31	46,28
	1/4	125,00	12,50	3,61	0,27	21,08	51,76	1,31	47,36
	1/5	150,00	12,50	3,66	0,26	21,41	52,57	1,31	48,10
4	1/1	200,00	12,50	3,73	0,25	21,76	53,44	1,31	48,89

Tabelle 15: Berechnete Werte der Parameter für Charge 1-4

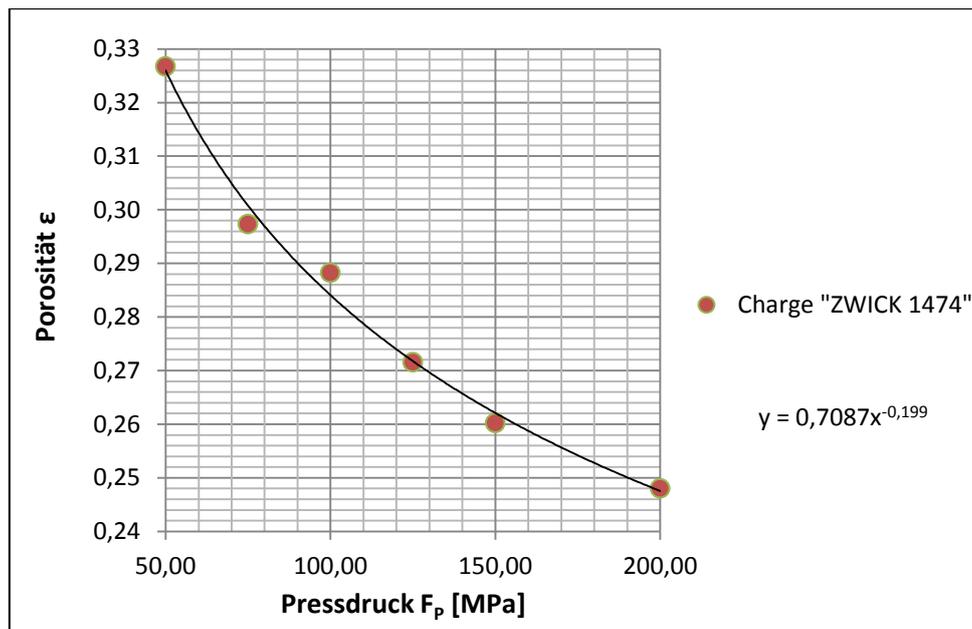


Abbildung 49: Darstellung der Porosität ε über den Pressdruck F_P [MPa]

6. Vorversuche

Zur besseren Darstellung wurden auch zwei charakteristische Kurven berechnet. Zum einen stellt Abbildung 50 die Porosität über dem Pressdruck dar und zum anderen wird in Abbildung 51 die volumetrische über der gravimetrischen Speicherdichte pro Pellet abgebildet.

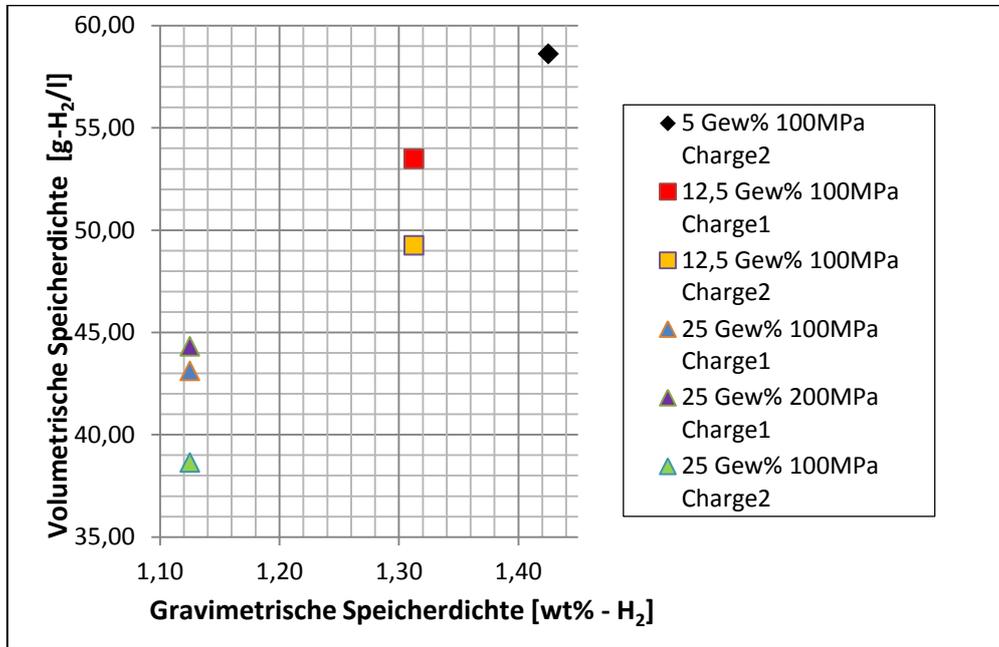


Abbildung 50: Volumetrische Speicherdichte [g-H₂/l] über der gravimetrischen Speicherdichte [Gew%-H₂] auf ein Pellet bezogen

6.3.2 Vergleich mit Literaturquellen

Wie schon im vorherigen Abschnitt angesprochen, wurden die Daten mit denen aus Dresden, (Pohlmann, Röntzsch, Heubner, Weißgräber, & Kieback, 2013) verglichen. Grundlegend ist zu sagen, dass wir sehr nahe an die Literaturwerte aus Dresden gekommen sind. Die folgende Tabelle zeigt die bestehenden Werte aus der Forschungsarbeit von Herrn Pohlmann und seinen Kollegen.

C [Gew%]	F _P [MPa]	ϵ	C [Vol%]	Ha [Vol%]
2,5	75	0,349	4,40	60,60
	150	0,306	4,70	64,60
	300	0,267	5,00	68,30
	600	0,222	5,30	72,50
5	75	0,311	9,00	59,90
	150	0,259	9,70	64,40
	300	0,223	10,20	67,60
	600	0,194	10,50	70,10
12,5	75	0,3	20,30	49,70
	150	0,235	22,20	54,30
	300	0,193	23,40	57,30
	600	0,157	24,40	59,90

Tabelle 16: Messdaten aus (Pohlmann, Röntzsch, Heubner, Weißgräber, & Kieback, 2013); Die Gew%-ENG liegen bei 2,5; 5 und 12,5. Des Weiteren wurden auch größere Pressdrücke angewandt. Sie liegen zwischen 75 und 600 MPa (Pohlmann, Röntzsch, Heubner, Weißgräber, & Kieback, 2013)

Betrachtet man Abbildung 52 so fällt zunächst auf, dass sich die Punkte bei 75 MPa Pressdruck beinahe überlappen, was auf eine gewisse Reproduzierbarkeit hindeutet. Die Datenpunkte (Wien) der höheren Pressdrücke, welche im Vergleich eine größere Porosität wiedergeben, könnten aufgrund von unterschiedlicher Kornfeinheiten zustande gekommen sein. Es finden sich in der Literatur keine Angaben bezüglich der Mühle, der Mahlzeit bzw. anderen Zerkleinerungsvorgängen. Des Weiteren sind auch keine Informationen in Bezug auf die verwendete Presse und den Pressdruckverlauf zu finden.

Abschließend ist festzustellen, dass die erste Versuchsreihe ziemlich nahe an die Werte der Literatur heran gekommen ist. Bei weiteren Versuchen könnte man den Mahlgrad bzw. die Mahlzeit variieren, um diese Einflussgrößen auch mit einzubeziehen.

6. Vorversuche

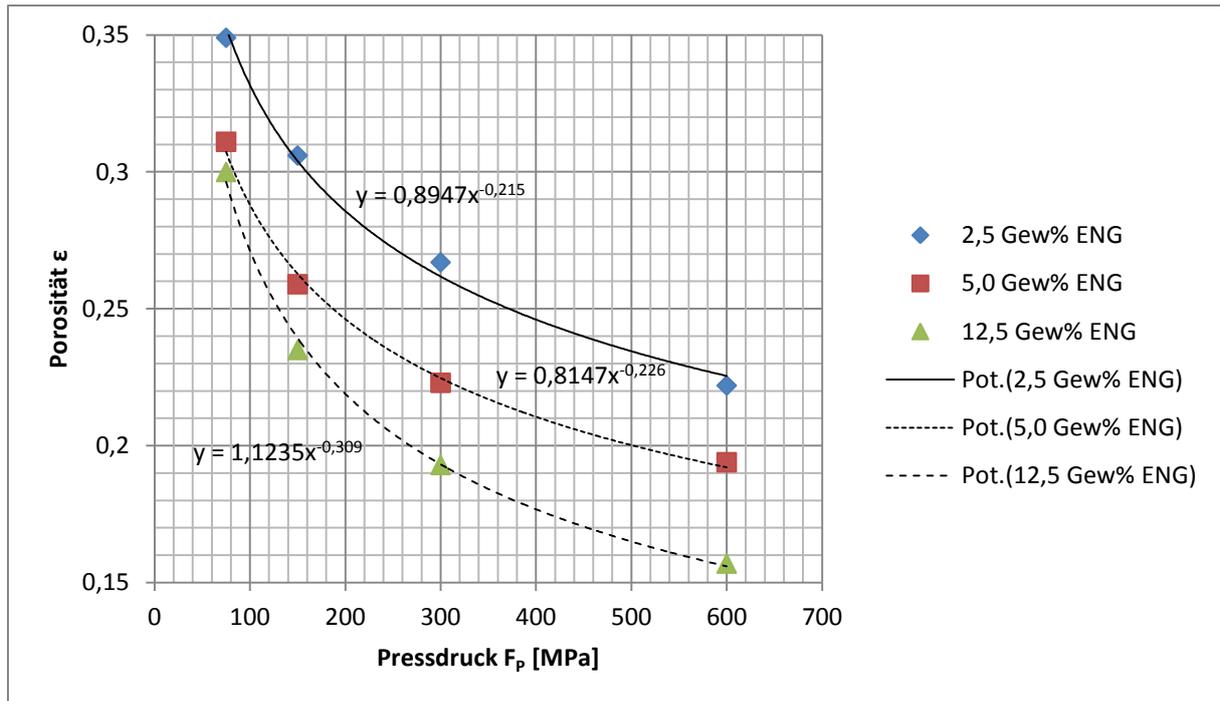


Abbildung 51: Werte aus Dresden; Es wird wie in Abbildung 49 für verschiedene Mischungen (Hydralloy-ENG 2,5Gew%; 5,0Gew% und 12,5 Gew%) die Porosität ϵ über dem Pressdruck aufgetragen, (Pohlmann, Röntzsch, Heubner, Weißgräber, & Kieback, 2013).

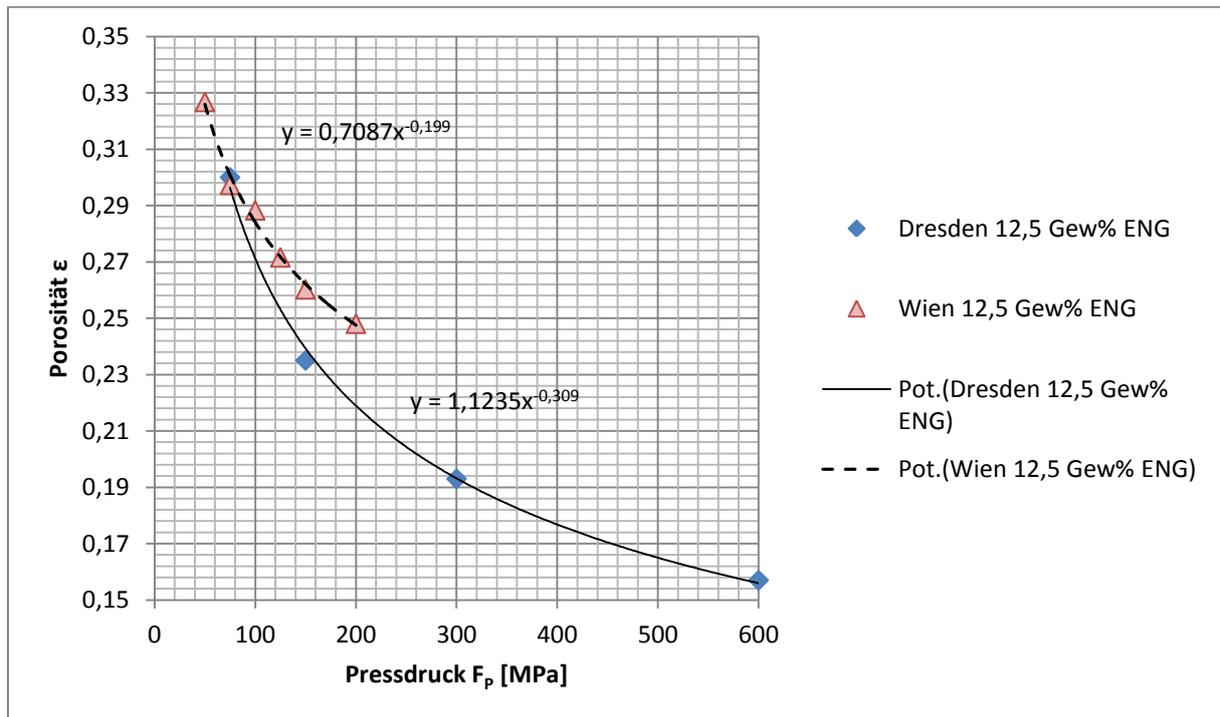


Abbildung 52: Vergleich der Werte aus Dresden mit denen aus Wien. Es werden nur die Mischungen mit 12,5 Gew% betrachtet, da es mit anderen Mischungsverhältnissen noch nicht zu solchen Pressungen gekommen ist.

7. Aufbau des Prüfstandes

Der Aufbau des Prüfstands wurde in den Kalenderwochen 19 bis 21 im Labor des Instituts für Thermodynamik und Energietechnik E 302 durchgeführt. Wie bereits in Abschnitt 5 erwähnt, wurde ein Rahmen mit einer innenliegenden Platte als Montagefläche vorgesehen. Im Verlauf der Montage wurde diesem Rahmen als Erweiterung ein Standblech (2000 mm x 700 mm) und ein Unterstellwagen hinzugefügt um die gesamten Armaturen und Anlagenteile benutzerfreundlich zu montieren.

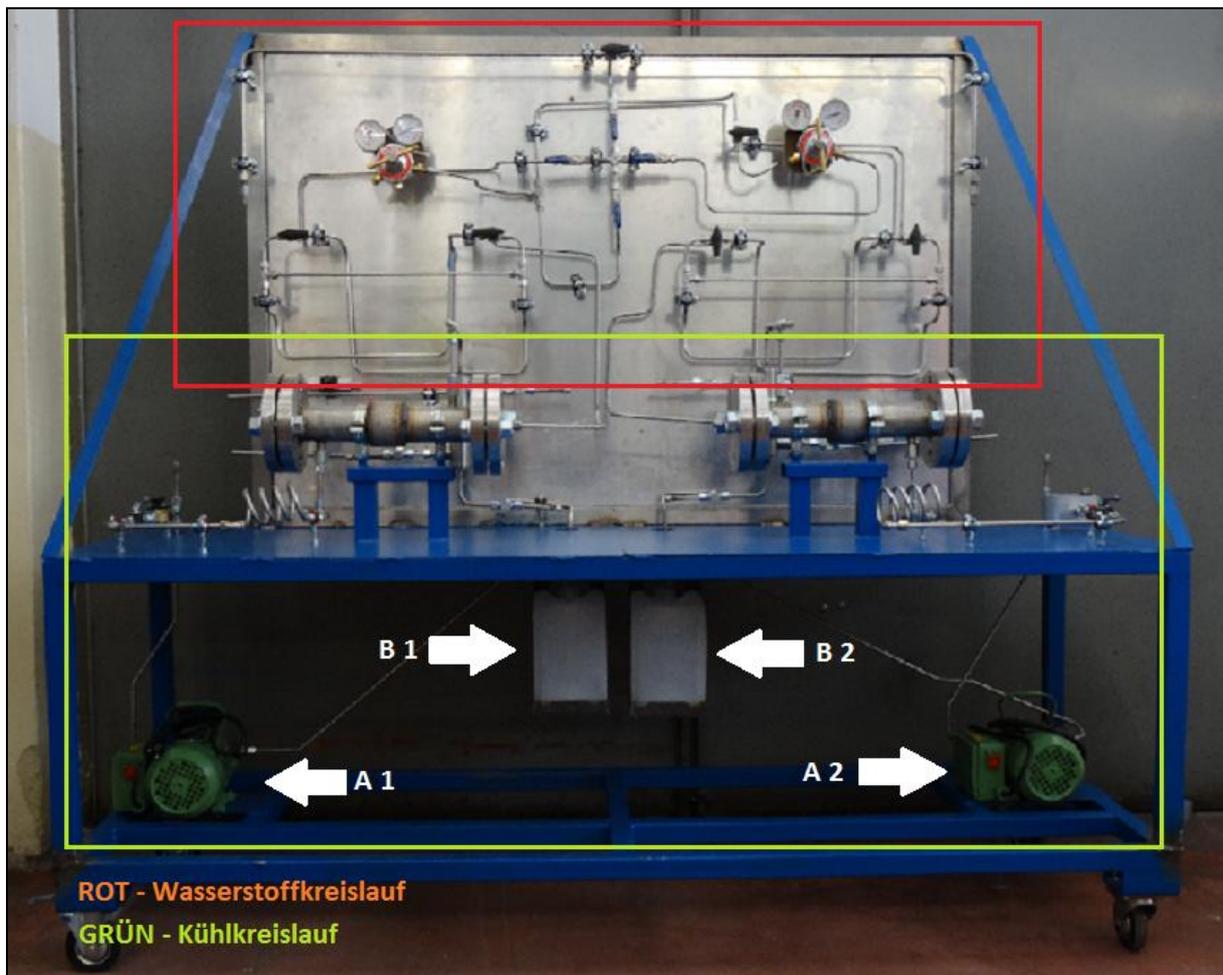


Abbildung 53: Prüfstandaufbau; Der obere Bereich (rot – umrahmt) kennzeichnet den Wasserstoffkreislauf. Der untere Bereich (grün – umrahmt) kennzeichnet die Kühlkreisläufe. In den unteren Ecken des Unterstellwagens befinden sich die Pumpen. Die Pumpe A 1 fördert das Glykol/Wasser-Gemisch; die Pumpe A 2 fördert das Thermoöl. Die Kühlmittelvorratsbehälter (B 1 und B 2) befinden sich zentriert an der Unterseite des Standbleches

Zuerst wurde der Wasserstoffkreislauf und anschließend die Kühlkreisläufe aufgebaut. Wie in Abbildung 53 dargestellt befindet sich der Wasserstoffkreislauf (rot - umrahmt) im oberen Bereich des Prüfstandes. Die Kühlkreisläufe (grün – umrahmt) inklusive der

7. Aufbau des Prüfstandes

Pumpen sind am Unterstellwagen befestigt. Aufgrund des Leitungsverlaufes wurden die Kühlmittelbehälter an die Unterseite des Standbleches montiert.

Die anschließenden Abbildungen zeigen die verschiedenen Stoffkreisläufe bei der Be- und Entladung der Tanks:

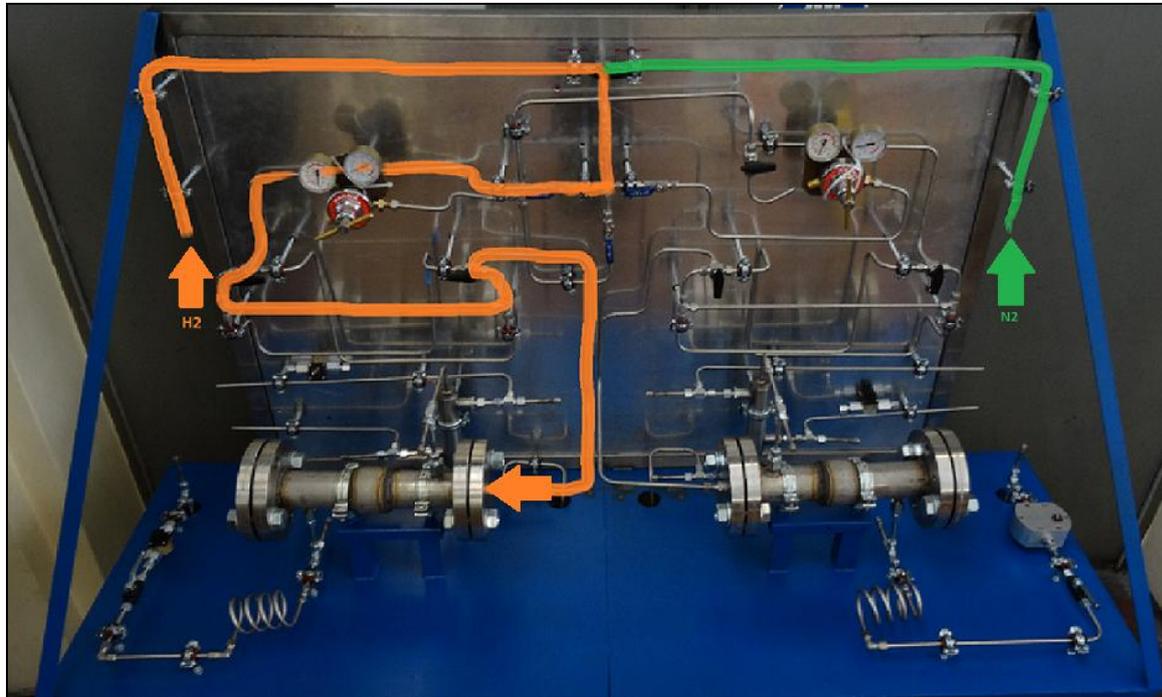


Abbildung 54 zeigt den Wasserstoff- (orange) bzw. den Stickstoff- (grün) Verlauf bei der Beladung des Hochdrucktanks.

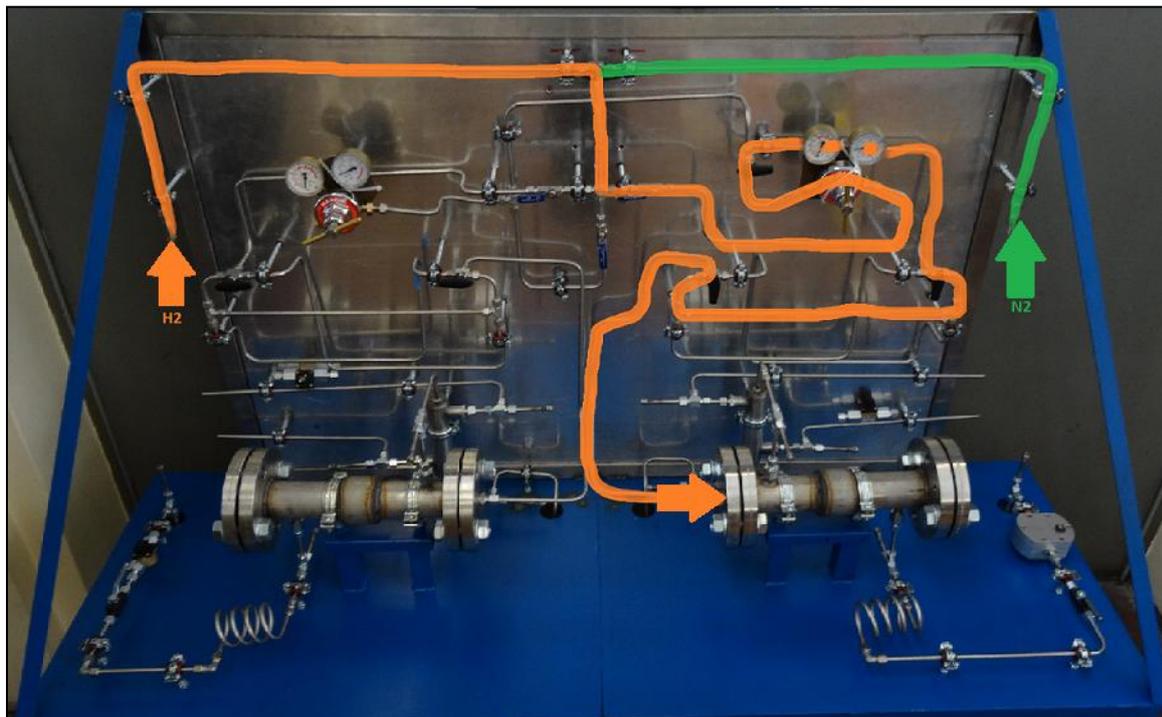


Abbildung 55: zeigt den Stoffkreislauf (Wasserstoff-orange; Stickstoff-grün) bei der Beladung des Niederdrucktanks.

7. Aufbau des Prüfstandes

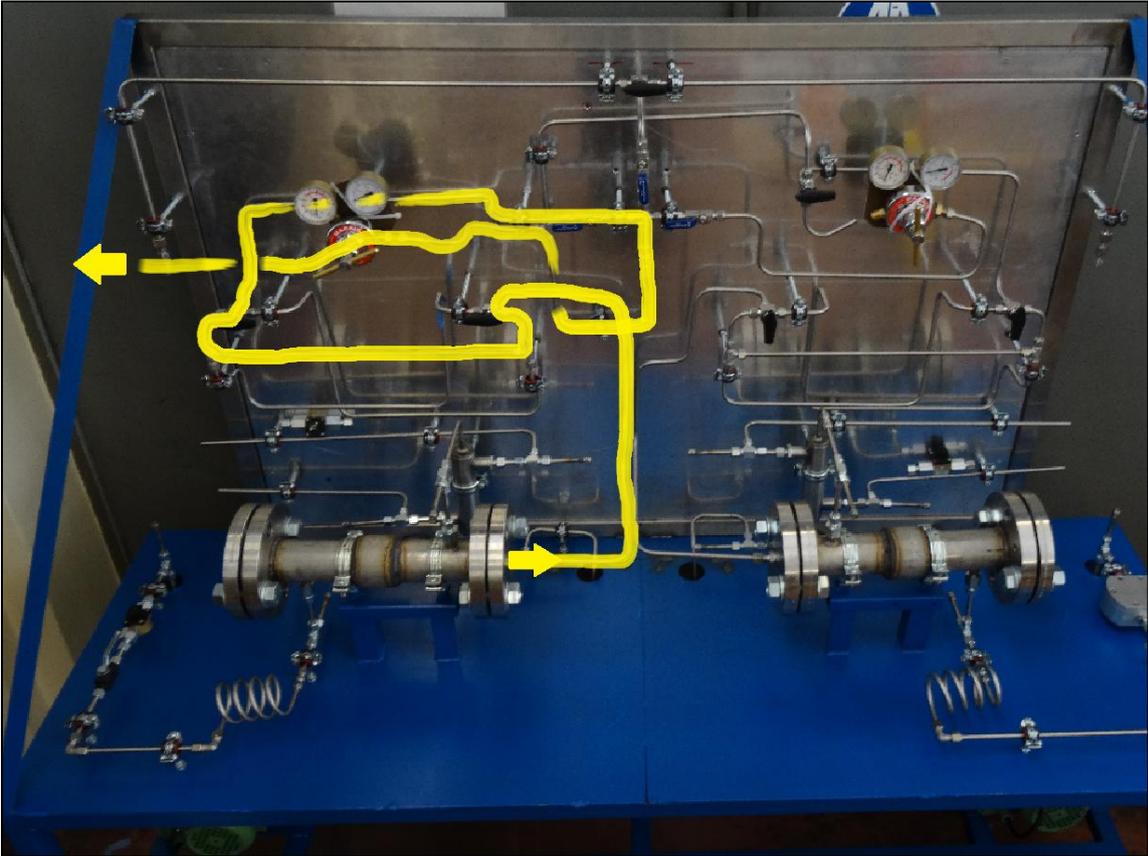


Abbildung 56: zeigt den Gasverlauf bei der Entladung des Hochdrucktanks.

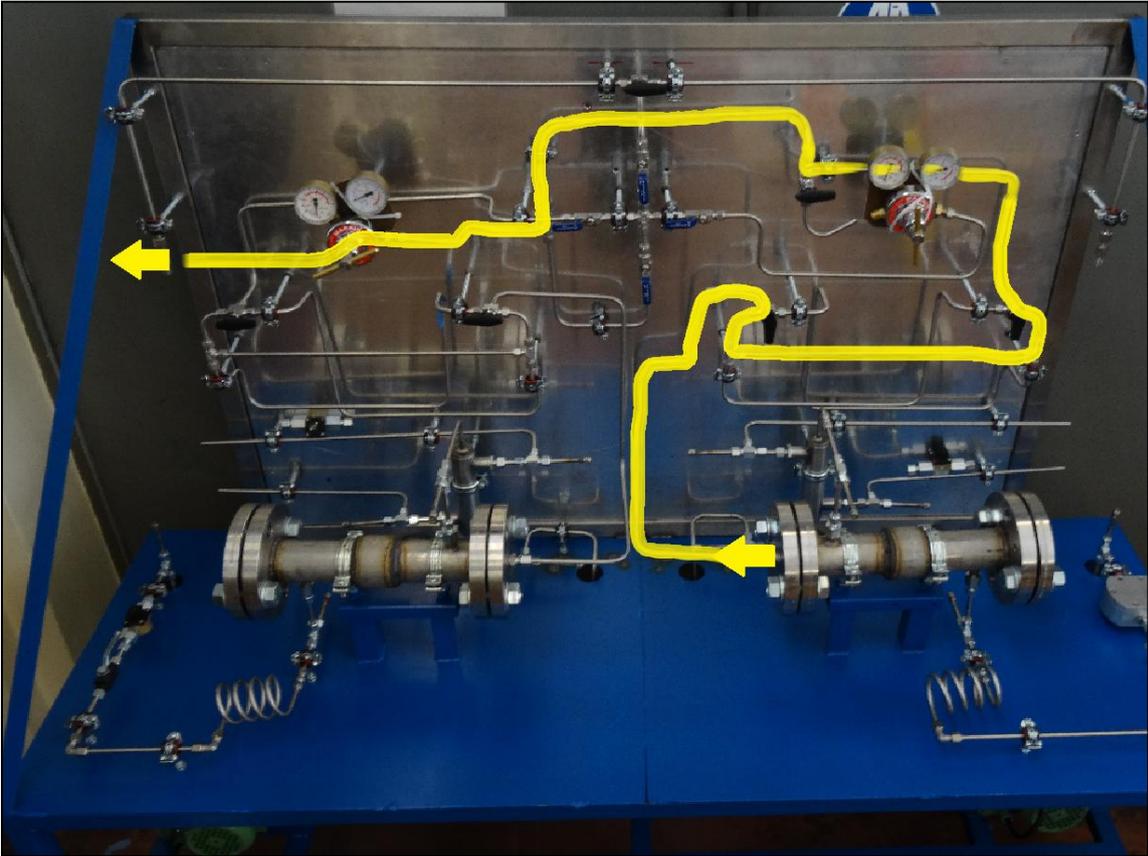


Abbildung 57: zeigt den Wasserstoff- bzw. Stickstoffverlauf bei der Entladung des Niederdrucktanks.

8. Weiterführende Arbeiten

Da die vollständige Fertigstellung dieses Projekts nicht mehr in dieser Arbeit ausgeführt wird, folgt eine Auflistung der nächsten durchzuführenden Arbeiten.

8.1 Bestellungen

Als erstes möchte ich aufgrund der längeren Lieferzeiten mit den anstehenden Bestellungen beginnen:

- **Wasserstoffdurchflussmesser**

Aufgrund des kleinen Budgets für diese Arbeit wurde im Vorfeld noch kein Wasserstoffdurchflussmesser gekauft, jedoch wurden mehrere Kostenvoranschläge eingeholt. Ansprechperson: Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Andreas Werner

- **Heizdraht**

Wie schon in Punkt 5.3.2/Heizdraht in dieser Arbeit angeführt wurde, sind noch keine Heizdrähte bestellt. Das in dem Abschnitt beschriebene Produkt sollte jedoch für die gebrauchten Anwendungen ausreichen. Die Produktspezifikationen und die Kontaktfirma sind ebenfalls in diesem Unterpunkt angeführt.

- **Thermoelementeinschraubungen Tank**

An dem Niedertemperaturtank sind diese bereits montiert. Jedoch fehlen sie für den Hochtemperaturtank. Ansprechperson: Roswitha Steiner

- **Thermoöl**

In der Bachelor Arbeit, (Ullrich, 2013) wurde kurz auf dieses Thema eingegangen und auch ein erster Kostenvoranschlag eingeholt. Das Produktdatenblatt wird im Anhang angeführt.

- **Wasser-Glykol-Gemisch**

Noch keine Informationen vorhanden

8. Weiterführende Arbeiten

- **Isolierung**

Noch keine Informationen vorhanden. Beim Aufbau wurde jedoch mit einer Dämmschicht von rund 15 cm Steinwolle am Tank und einer 5-10 cm Steinwollschicht an den Wärmetauschern und anderen erwärmten Anlagenteilen gerechnet.

- **Gasflaschen N₂ und H₂**

Noch keine Informationen vorhanden

8.2 Praktische Arbeiten

Als zweiten Punkt sind nun die, an diese Arbeit anschließenden, Arbeitsschritte aufgelistet:

- **2-Wege-Kugelhähne Tank**

Wie in Abschnitt 5.3.1/ 2-Wege-Kugelhähne beschrieben, sind diese Nadelventile bereits bei der Firma *Parcom Ventile und Fittings GesmbH* bestellt. (Stand 18.05.2014) Die Lieferzeit beträgt 8 Wochen. Diese Ventile sind für den Anbau an den Tank geplant. Ansprechperson: Michael Obermaier

- **Beschriftung der Anlage**

- **Isolierung der Anlage**

- **Abdrucktest**

Nach fertiger Zusammenstellung kommt es zu einer Dichtheitsprüfung und einem Abdrucktest der Anlage. Ansprechperson: Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing Dr. Andreas Werner

- **LabVIEW-Datenerfassung**

8. Weiterführende Arbeiten

- **Matrize für 6cm Pellets**

Es soll eine Matrize zur Pressung großer Metallhydridpellets konstruiert werden.

Ansprechperson: Univ. Ass. Dipl.-Ing. Dr. Christian Gierl-Mayer

- **Mahlvorgang für große Mengen an Hydralloy optimieren**

Da für die Fertigung großer Pellets auch eine dementsprechend größere Menge an Hydrid benötigt wird, sollte man den Mahlvorgang optimieren. Ansprechperson:

Univ. Ass. Dipl.-Ing. Dr. Christian Gierl-Mayer

- **Pressung der 6cm Pellets**

Ansprechperson: Univ. Ass. Dipl.-Ing. Dr. Christian Gierl-Mayer

9. Zusammenfassung

Diese Arbeit umfasst im ersten Abschnitt den Stand der Technik der Wasserstoffspeicherung und behandelt in weiterer Folge die Speicherungsform von Wasserstoff in Metallhydriden. Es werden dabei sowohl die Reaktionsmechanismen als auch die thermodynamischen Aspekte der Hydridbildung dargelegt. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurde im zweiten Teil dieser Arbeit ein Prüfstand zum Test von Metallhydrid-Legierung ausgelegt und aufgebaut. Die Auslegung und die Bestellung der Komponenten (Pumpen, Durchflussmesser, Ventile etc.) wurde durch einen Brand im technischen Labor des Institutes für Thermodynamik und Energietechnik E 302 verzögert. Dieser Vorfall fand Ende Jänner 2014 statt. Aufgrund der dabei zerstörten Geräte und den damit verbundenen Maßnahmen, konnte ein Teil der angestrebten Arbeit (Inbetriebnahme des Prüfstandes und etwaige Vorversuche) in dieser wissenschaftlichen Arbeit nicht behandelt werden. Neben der Auslegung und der Konstruktion wurde mit dem Niedertemperaturhydrid Hydralloy C5 versucht, geeignete Pellets für den Prüfstand herzustellen. Die dafür notwendige Mahlung des Hydralloy C5 erwies sich aufgrund der reaktiven Verbindung als aufwendig und bedarf sicherlich noch einiger Verbesserungen im Bezug auf Oxidation der Legierung bezüglich Mahlung und Mahlgrad. Die Verpressung der anschließend erzeugten Mischungen aus Hydralloy und ENG konnte jedoch problemlos durchgeführt werden. Der Graphitanteil bei diesen Mischungen lag bei 5 Gew %; 12,5 Gew % und 25 Gew %. Die, bei der Mahlung und Pressung erhaltenen Messdaten wurden daraufhin mit Werten aus der Literatur verglichen. Als Grundlage für den Vergleich stellte sich die Arbeit vom Institut für Materialforschung der Technischen Universität Dresden unter der Leitung von Carsten Pohlmann und Lars Röntzsch als am besten geeignet heraus. Ein Teil dieses Artikels behandelt nämlich ebenfalls verpresste Pellets mit unterschiedlichen ENG-Anteilen sowie deren Porosität und Volumenanteile. Bei dem Vergleich der Werte aus Wien und denen aus Dresden wurden keine größeren Abweichungen festgestellt. Dazu möchte ich jedoch hinzufügen, dass es sich bei den Daten in dieser Arbeit (Wien) um die erste Versuchsreihe handelt. Außerdem sind, wie oben schon angeführt Verbesserungen bei der Herstellung der Pellets möglich.

Beim abschließenden Aufbau des Prüfstandes wurden Erweiterungen und Adaptionmöglichkeiten für Durchflussmesser (Wasserstoff) eingeplant. Die Ergänzungen inkludierten neben einer Vergrößerung des Rahmens, in Form eines

9. Zusammenfassung

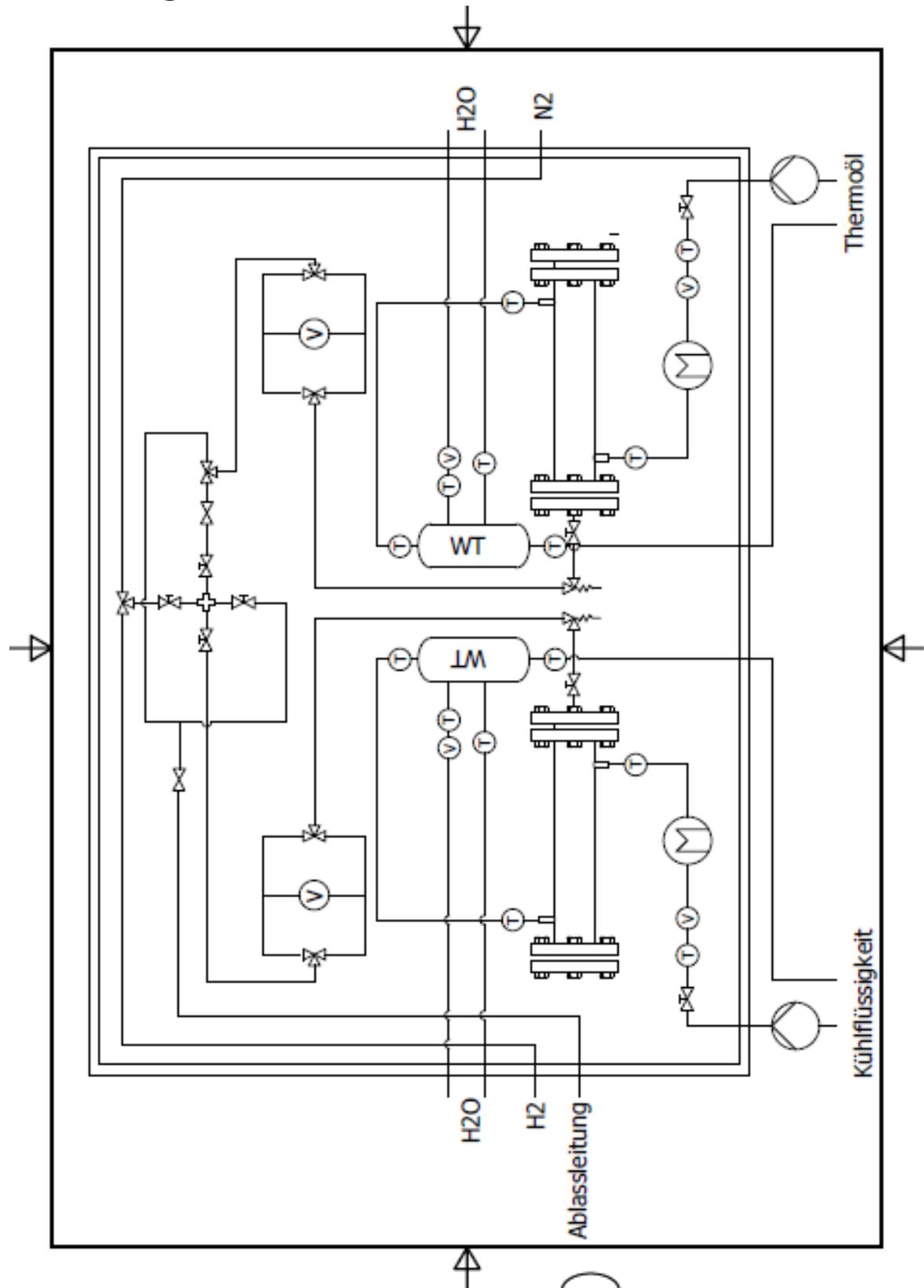
Standbleches, auch den Aufbau eines Unterstellwagens der einerseits als Stand- und Liegefläche für Anlagenteile (Pumpen, Kühlmittelbehälter und Gasflaschen) und andererseits aus Mobilitätsgründen konstruiert und gebaut worden ist.

Als Abschluss wurde für folgende Arbeiten eine „To-Do“-Liste erstellt, die zum einen weitere Bestellung von Anlagenteilen und zum anderen die weiterführenden praktischen Arbeiten an dem Prüfstand anleitet.

10. Anhang

Anhang	Inhalt	Seite
A.1-Anlagenschema	Anlagenschema	75
A.2-Inventarliste	Inventarliste	76
A.3-Datenblätter	Stickstoffdruckschlauch	77
	Wasserstoffdruckschlauch	78
	Druckminderer	79
	Impellerpumpe Unistar/V	80
	Impellerpumpe Unistar	81
	T-Stück Fittings	82
	Gerade Fittings	83
	4-Fachverteiler	84
	Knie-Fittings	85
	Nadelventil 2-Wege	86
	Kugelventile 2-Wege	87
	Kugelventil 3-Wege	89
	Sicherheitsventil	91
	Öldurchflussmesser	93
	Einschraubungen-Öldurchflussmesser	94
	Wasserdurchflussmesser	95
	Aufschraubstutzen-Wasserdurchflussmesser	96
	Wärmetauscher	97
	Einschraubungen-Wärmetauscher	98
	Kugelhahn 2-Wege-Kühlkreislauf	99
	Tankeinschraubungen	100
	Tankkühlmanschette-Aufschraubungen	101
	Thermoelemente-Kühlkreislauf	102
	Thermoelementverschraubung	104
	Thermoelement-T-Fittings	105
	Thermoöl	106

A.1 Anlagenschema



A.2 Inventarliste

Bezeichnung	Artikelnr.	Firma
Gaskreislauf		
Druckschlauch H2		Rinnert
Druckschlauch N2		Rinnert
Sicherheitsventil 33 bar	V66-MF-4N	Parcom
Sicherheitsventil 55 bar	V66-MF-4N	Parcom
gerade Rohrverschraubung 8mm auf 8mm	DU-8M-S	Parcom
T-Verschraubungen 8mm	DT-8M-S	Parcom
2-Wege Kugelhahn 8mm	KH08L71	Tecalto
3-Wege Kugelhahn 8mm	V82-3B-D-8M-S	DK-Lok
4-Fachverteiler 8mm	DX-8M-S	Parcom
2-Wege Kugelhahn 8mm	V81A-D-8M-S	DK-Lok
Flaschendruckminderer H2	925	Harris
Flaschendruckminderer N2	925	Harris
Druckminderer H2	925	Harris
Tankeinschraubungen 3/8" AG auf 8mm	GE08SR3/871	Tecalto
Tankthermoelementeinschraubungen 1/8" 3mm	SS-2M0-R-3M	Swagelok
Rohr-Einschraubstutzen (Druckschlauch) 8mm-1/4" RG		
Rohr-Einschraubstutzen (Druckschlauch) 8mm-1/4" LG		
Rohr-Aufschraubstutzen (Druckminderer) 8mm-3/8"LG		
Kühlkreisläufe		
Wärmetauscher		
Wärmetauschereinschraubungen 1/2" AG auf 8mm	GE08LR1/2CF	Tecalto
Reaktorkühlmanschettenverschraubungen 3/8" IG auf 8mm	GAI08LR3/8CF	Tecalto
Thermöldurchflussmesser	VZB-10-ALU	BIOTECH
Thermöldurchflussmesser Einschraubungen 3/8" auf 8mm	GE08LR3/8CF	Tecalto
Thermoelemente-T-Stücke 8mm	T08LCF	Tecalto
Thermoelementeinschraubungen	SS-2M0-R-3M	Swagelok
Durchflussmesser Wasser	FCH-C-Ms-N	BIOTECH
Durchflussmesser Wasser Verschraubungen 1/2" 8mm	GAI 08 LR 1/2	Tecalto
Wasserpumpe	Zuwa Zumpe	Sinntec
Wasserpumpe-Verschraubungen 3/4" AG 22mm	GAI22LRCF	Tecalto
Ölpumpe	Zuwa Zumpe	Sinntec
Thermoelemente 200mm/2mm/3m	MT1/S-2200-3.0	Sensorshop24
2 Wege-Hahn 8mm	KH08L	Tecalto

A.3 Datenblätter



GmbH & Co. KG
RINNERT
Drehteile · Armaturen · Gasschläuche · Zentrale Gasversorgung

RINNERT GMBH & CO. KG · LUDWIG-ERHARD-STR. 6 · 41564 KAARST

Prüfbescheinigung für Schlauchleitung

nach Druckgeräte Richtlinie EN 97/23 EG, DIN EN ISO 14113, EN ISO 10380

Prüfung vor erster Inbetriebnahme
 Wiederkehrende Prüfung
 Reparatur

1.a Prüfdatum	06.03.2014	1.b Prüfort	Solingen
2. Prüfer	AP	1.c Kunde	Rinnert GmbH & Co.KG

3. Art und Kennzeichnung der geprüften Leitung

3.1a Schlauch	PA/ND	3.1b Artikel-Nr.:	264324320200
3.2a Eingangsanschluss	Ü-Mutter G1/4"RH, DKR	3.2b Ausgangsanschluss	Ü-Mutter G1/4"RH, DKR
3.3a DN	06	3.3b PN	50
3.4a Länge in mm	2.000	3.4b Anzahl	01
3.5 Auftragsnummer	EB 1433009	ff. Nummer	03/14 - 84

4. Prüfung

4.1. Prüfmedium	Sauerstoff <input type="checkbox"/>	Stickstoff <input checked="" type="checkbox"/>	oder
4.1. Prüfung durch Inaugenscheinnahme der Außenseite, soweit wie möglich der Innenseite und der Anschlussverschraubungen/-kupplungen mit Verbindung zum Schlauch			
	in Ordnung <input type="checkbox"/>	nicht in Ordnung	<input type="checkbox"/>
4.2. Druckprüfung mit Wasser mit dem 1,5 fachen des höchsten Betriebsdrucks. (Haltezeit min. 10 min.)			
	geprüft in eingebautem Zustand <input type="checkbox"/>	geprüft in nicht eingebautem Zustand	<input type="checkbox"/>
	in Ordnung <input type="checkbox"/>	nicht in Ordnung	<input type="checkbox"/>
4.3. Druckprüfung mit Gas ¹⁾ mit dem 1,5 fachen des höchsten Betriebsdrucks. (Haltezeit min. 10 min.)			
	geprüft in eingebautem Zustand <input type="checkbox"/>	geprüft in nicht eingebautem Zustand	<input checked="" type="checkbox"/>
	in Ordnung <input checked="" type="checkbox"/>	nicht in Ordnung	<input type="checkbox"/>
4.4. Prüfung auf elektrische Leitfähigkeit ²⁾			
	Widerstand zwischen den Anschlussenden im mediumführenden Teil < 10 ⁶ Ohm		
	in Ordnung <input type="checkbox"/>	nicht in Ordnung	<input type="checkbox"/>
4.5. Prüfung des Fangseils (wenn vorhanden)			
	in Ordnung <input type="checkbox"/>	nicht in Ordnung	<input type="checkbox"/>
5. Festgestellte Mängel und Bemerkungen zur Mängelbeseitigung			

1) Aufgrund örtlicher Gegebenheiten kann auch eine Gasdruckprüfung durchgeführt werden, sofern eine Gasbezugsliche Ausnahmegenehmigung von der benannten Stelle erteilt wurde. In diesem Fall gelten die mit der Genehmigung erteilten Auflagen und dem darin festgelegten Protokoll.
 2) Die Prüfung der elektrischen Leitfähigkeit gilt nur für die Prüfung von beweglichen Leitungen ohne Metallisole, für trennbare Gase. Es gelten die „Richtlinien für die Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladung“ der IEC der Chemischen Industrie.

Die Schlauchleitung hat der Beanspruchung sicher widerstanden, zeigte keine Undichtigkeit und ist für die genannte Gasart geeignet. Sie erfüllt die Anforderungen aus der Bestellspezifikation.

Ludwig-Erhard-Str. 6
 41564 Kaarst
 E-Mail: info@rinnert.de
 Internet: www.rinnert.de

Telefon 02131-40300-0
 Telex 02131-40300-30
 Ust.-ID-Nr.: DE 814568874
 Amtsgericht Neuss HRA 2443
 GasM&P@rinnert; R. H. Rinnert

Commerzbank Düsseldorf
 BLZ 300 400 00
 Kto. 716 009 600
 IBAN: DE36 3004 0000 0716 0096 00
 SWIFT: COBADE33XXX

PE = Preiseinheit
 0 = 1 Stück
 1 = 10 Stück
 2 = 100 Stück
 3 = 1000 Stück



GmbH & Co. KG
RINNERT
 Drehteile Armaturen Gasschläuche Zentrale Gasversorgung

RINNERT GMBH & CO. KG - LUDWIG-ERHARD-STR. 6 - 41564 KAARST

Prüfbescheinigung für Schlauchleitung

nach Druckgeräterichtlinie EN 97/23 EG, DIN EN ISO 14113, EN ISO 10380

Prüfung vor erster Inbetriebnahme X
 Wiederkehrende Prüfung □
 Reparatur □

1.a Prüfdatum	06.03.2014	1.b Prüfort	Solingen
2. Prüfer	AP	1.c Kunde	Rinnert GmbH & Co.KG
3. Art und Kennzeichnung der geprüften Leitung			
3.1a Schlauch	ES/ND	3.1b Artikel-Nr.:	440440460200
3.2a Eingangsanschluss	U-Mutter G1/4"LH, DKR	3.2b Ausgangsanschluss	U-Mutter G3/8"LH, DKR
3.3a DN	06	3.3b PN	50
3.4a Länge in mm	2 000	3.4b Anzahl	01
3.5 Auftragsnummer	EB 1433008	ff. Nummer	03/14 - 65
4. Prüfung			
4.1. Prüfmedium	Sauerstoff <input type="checkbox"/> □	Stickstoff <input checked="" type="checkbox"/> X	oder
4.1. Prüfung durch Inaugenscheinnahme der Außenseite, soweit wie möglich der Innenseite und der Anschlussverschraubungen/-kupplungen mit Verbindung zum Schlauch			
in Ordnung <input type="checkbox"/> □		nicht in Ordnung <input type="checkbox"/> □	
4.2. Druckprüfung mit Wasser mit dem 1,5 fachen des höchsten Betriebsdrucks. (Haltezeit min. 10 min.)			
geprüft in eingebautem Zustand <input type="checkbox"/> □		geprüft in nicht eingebautem Zustand <input type="checkbox"/> □	
in Ordnung <input type="checkbox"/> □		nicht in Ordnung <input type="checkbox"/> □	
4.3. Druckprüfung mit Gas ¹⁾ mit dem 1,5 fachen des höchsten Betriebsdrucks. (Haltezeit min. 10 min.)			
geprüft in eingebautem Zustand <input type="checkbox"/> □		geprüft in nicht eingebautem Zustand <input checked="" type="checkbox"/> X	
in Ordnung <input checked="" type="checkbox"/> X		nicht in Ordnung <input type="checkbox"/> □	
4.4. Prüfung auf elektrische Leitfähigkeit ²⁾			
Widerstand zwischen den Anschlüssen im mediumführenden Teil < 10 ⁶ Ohm			
in Ordnung <input type="checkbox"/> □		nicht in Ordnung <input type="checkbox"/> □	
4.5. Prüfung des Fangseils (wenn vorhanden)			
in Ordnung <input type="checkbox"/> □		nicht in Ordnung <input type="checkbox"/> □	
5. Festgestellte Mängel und Bemerkungen zur Mängelbeseitigung			

1) Aufgrund früherer Gegebenheiten kann auch eine Gasdruckprüfung durchgeführt werden, sofern eine diesbezügliche Ausnahmegenehmigung vor der beantragten Stelle erteilt wurde. In diesem Fall gelten die mit der Genehmigung erteilten Auflagen und dem dann festgelegten Prüfdruck.

2) Die Prüfung der elektrischen Leitfähigkeit gilt nur für die Prüfung von beweglichen Leitungen ohne Metallumlage. Es können die „Richtlinien für die Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladung“ der DG der Chemischen Industrie.

Die Schlauchleitung hat der Beanspruchung sicher widerstanden, zeigte keine Undichtigkeit und ist für die genannte Gasart geeignet. Sie erfüllt die Anforderungen aus der Bestellspezifikation.

Ludwig-Erhard-Str. 6
 41564 Kaarst
 E-Mail: info@rinnert.de
 Internet: www.rinnert.de

Telefon 021 31-40 300-0
 Telefax 021 31-40 300-30
 USt-Id-Nr.: DE 814598874
 Amtsgericht Neuss HR 9A 8443
 Geschäftsführer: R. H. Rinnert

Commerzbank Düsseldorf
 BLZ 300 400 00
 Kto. 718 009 600
 IBAN: DE38 3034 0000 0718 0096 00
 SWIFT: COBADE33XXX

PE = Preiseinheit
 0 = 1 Stück
 1 = 10 Stück
 2 = 100 Stück
 3 = 1000 Stück



PROFESSIONAL PRODUCTS...
SUPERIOR RESULTS

THE HARRIS PRODUCTS GROUP

Modell 925

Beschreibung: Flaschendruckminderer 300 bar

Typische Anwendung: für anspruchsvolle Schneid-, Anwärm- und Schweißarbeiten



Modell 925GW-20

DETAILS

Features:

- Körper aus geschmiedetem Messing für höchste Festigkeit
- maximaler Vordruck von 300 bar
- gekapselter Hochdruck-Ventilsitz mit Kel-F(CTFE) beschichteter Dichtung
- breite Membran mit 70 Ø mm stabilisiert den Arbeitsdruck
- ausreichend Durchflussmenge zum Schneiden von Stahl bis zu 400 mm
- Eingang seitlich (vertikal optional)

Artikelnummer	Stufen	Gasart	Eingang	Ausgang	Zertifizierungen
925V-20	einstufig	Argon CO2 Mischgas	W30x2RH	G1/4RH	EN ISO 2503
925V-50	einstufig	Argon CO2 Mischgas	W30x2RH	G1/4RH	EN ISO 2503
925PL-20	einstufig	Druckluft	W30x2RH	G1/4RH	EN ISO 2503
925PL-50	einstufig	Druckluft	W30x2RH	G1/4RH	EN ISO 2503
925OX-20	einstufig	Sauerstoff	W30x2RH	G1/4RH	EN ISO 2503
925OX-50	einstufig	Sauerstoff	W30x2RH	G1/4RH	EN ISO 2503
925GN-20	einstufig	Stickstoff	W30x2RH	G1/4RH	EN ISO 2503
925GN-50	einstufig	Stickstoff	W30x2RH	G1/4RH	EN ISO 2503
925H2-20	einstufig	Wasserstoff	W30x2LH	G3/8LH	EN ISO 2503
925H2-50	einstufig	Wasserstoff	W30x2LH	G3/8LH	EN ISO 2503

TECHNICAL

Artikelnummer	Maximaler Eingangsdruck	Ausgangsdruck	Gewicht
925GN-20	300 bar	0-20 bar	1,5 kg
925H2-20	300 bar	0-20 bar	1,5 kg
925OX-20	300 bar	0-20 bar	1,5 kg
925PL-20	300 bar	0-20 bar	1,5 kg
925V-20	300 bar	0-20 bar	1,5 kg
925GN-50	300 bar	0-50 bar	1,8 kg
925H2-50	300 bar	0-50 bar	1,6 kg
925OX-50	300 bar	0-50 bar	1,5 kg
925PL-50	300 bar	0-50 bar	1,6 kg
925V-50	300 bar	0-50 bar	1,6 kg

**Impellerpumpe Unistar/V 2000-A, 230V,
1400 U/min, 15 L/min**



Art.Nr.: ST-11131136322

- Für Wasser, Schmutzwasser sowie alle Öle ohne Abriebstoffe
- Medientemperatur: max. 90 Grad
- Motor: 230V, 1400 U/min
- Förderleistung: 15 L/min
- Anschlüsse: 3/4 Zoll Außengewinde
- Ansaughöhe max.: 7 m (trocken bis 3 m)
- Druck max.: 3 bar
- Gehäuse & Deckel: Al Mg Si 1
- Welle: Niro 1.4404
- Impeller & Dichtung: Viton
- ohne Gewindemuffe, Schlauchtülle und Schlauch

Impellerpumpe zur Förderung von schmutzigen und sauberen Flüssigkeiten ohne Abriebstoffe, für alle Öle, Kraftstoffe, Schmutzwasser und Seewasser.

Preis:

300,67 EUR, zzgl. 19 % MwSt. zzgl. Versandkosten

Sinntec Schmiersysteme GmbH

Neue Strasse 6

29690 Grethem

Deutschland

Tel: 05164-80 20 50

Fax: 05164-80 20 60

**Impellerpumpe Unistar 2000-A, 230V,
1400 U/min, 15 L/min**



Art.Nr.: ST-1111116322

- für Wasser, Schmutzwasser sowie alle Öle ohne Abriebstoffe
- Medientemperatur: max. 90 Grad
- Motor: 230 V, 1400 U/min
- Förderleistung: 15 L/min
- Anschlüsse: 3/4 Zoll Außengewinde
- Ansaughöhe max.: 7 m (trocken bis 3 m)
- Druck max.: 5 bar
- Gehäuse & Deckel: AlMg Si 1
- Welle: Niro 1.4104
- Impeller & Dichtung: Perbunan (NBR)
- ohne Gewindemuffe, Schlauchtülle und Schlauch

Impellerpumpe für alle Öle, Kraftstoffe, Schmutzwasser und Seewasser.

Preis:

275,04 EUR, zzgl. 19 % MwSt. zzgl. Versandkosten

Sinntec Schmiersysteme GmbH

Neue Strasse 6

29690 Grethem

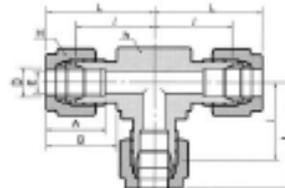
Deutschland

Tel: 05164-80 20 50

Fax: 05164-80 20 60

Dk-Lok Tube Fittings

Union Tee DT



Connects fractional tube

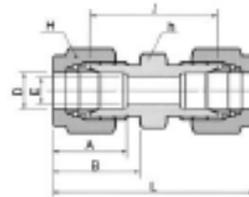
Part No.	Tube O.D.		E Min.	Width across flat				A	B	I	L
	D			h	H						
	In	mm		In	mm	In	mm				
DT-1	1/16	1.50	1.27	3/8	9.52	5/16	7.93	8.63	10.92	14.00	17.88
DT-2	1/8	3.17	2.28	3/8	9.52	7/16	11.11	12.70	15.24	15.74	22.35
DT-3	3/16	4.76	3.04	1/2	12.70	1/2	12.70	13.71	16.00	17.78	24.38
DT-4	1/4	6.35	4.82	1/2	12.70	9/16	14.28	15.24	17.78	19.55	26.92
DT-5	5/16	7.93	6.35	9/16	14.28	5/8	15.87	15.87	18.25	18.54	21.33
DT-6	3/8	9.52	7.11	5/8	15.87	11/16	17.46	16.76	19.30	23.11	30.48
DT-8	1/2	12.70	10.41	13/16	20.64	7/8	22.22	22.86	21.84	25.90	36.06
DT-10	5/8	15.87	12.70	15/16	23.81	1	25.40	24.38	21.84	28.70	38.80
DT-12	3/4	19.05	15.74	1-1/16	26.98	1-1/8	28.58	24.38	21.84	29.71	39.87
DT-14	7/8	22.22	18.28	1-3/8	34.92	1-1/4	31.75	25.90	21.84	34.54	44.70
DT-16	1	25.40	22.35	1-3/8	34.92	1-1/2	38.10	31.24	26.41	36.83	49.02
DT-20	1-1/4	31.75	27.68	1-11/16	42.86	1-7/8	47.63	41.14	38.86	44.50	66.54
DT-24	1-1/2	38.10	33.90	2	50.80	2-1/4	57.15	50.03	45.21	50.80	77.97
DT-32	2	50.80	45.97	2-3/4	69.85	3	76.20	67.56	62.73	69.80	107.16

Connects metric tube

Part No.	Tube O.D.		E Min.	Width across flat		A	B	I	L
	D			h	H				
DT - 2M	2	1.7	9.5	12	12.9	15.3	15.7	22.3	
DT - 3M	3	2.4	9.5	12	12.9	15.3	15.7	22.3	
DT - 4M	4	2.4	12.7	12	13.7	16.1	18.8	25.4	
DT - 6M	6	4.8	12.7	14	15.3	17.7	19.6	27.0	
DT - 8M	8	6.4	14.3	16	16.2	18.6	21.3	28.8	
DT - 10M	10	7.9	17.5	19	17.2	19.5	23.9	31.5	
DT - 12M	12	9.5	20.6	22	22.8	22.0	25.9	36.0	
DT - 15M	15	11.9	25.4	25	24.4	22.0	28.7	38.8	
DT - 16M	16	12.7	25.4	25	24.4	22.0	28.7	38.8	
DT - 18M	18	15.1	27.0	30	24.4	22.0	29.7	39.8	
DT - 20M	20	15.9	34.92	32	26.0	22.0	32.5	42.6	
DT - 22M	22	18.3	34.92	32	26.0	22.0	32.5	42.6	
DT - 25M	25	21.8	34.92	38	31.3	26.5	36.8	49.1	
DT - 28M	28	21.8	41.0	46	36.6	36.6	43.2	64.0	
DT - 32M	32	28.6	46.0	50	42.0	41.6	49.3	72.3	
DT - 38M	38	33.7	55.0	60	49.4	47.9	56.4	84.0	

Dk-Lok Tube Fittings

Union DU



Connects fractional tube

Part No.	Tube O.D.		E Min.	Width across flat				A	B	I	L
	D In	D mm		h In	h mm	H In	H mm				
DU-1	1/16	1.59	1.27	5/16	7.93	5/16	7.93	8.63	10.92	17.50	25.15
DU-2	1/8	3.17	2.28	7/16	11.11	7/16	11.11	12.70	15.24	22.35	35.56
DU-3	3/16	4.76	3.04	7/16	11.11	1/2	12.70	13.71	16.00	24.13	37.33
DU-4	1/4	6.35	4.82	1/2	12.70	9/16	14.28	15.24	17.78	26.16	40.89
DU-5	5/16	7.93	6.35	9/16	14.28	5/8	15.87	16.25	18.54	28.19	42.92
DU-6	3/8	9.52	7.11	5/8	15.87	11/16	17.46	16.76	19.30	30.22	44.95
DU-8	1/2	12.70	10.41	13/16	20.64	7/8	22.22	22.86	21.84	30.98	51.30
DU-10	5/8	15.87	12.70	15/16	23.81	1	25.40	24.38	21.84	31.75	52.07
DU-12	3/4	19.05	15.74	1-1/16	26.98	1-1/8	28.58	24.38	21.84	33.27	53.59
DU-14	7/8	22.22	18.28	1-3/16	30.16	1-1/4	31.75	25.90	21.84	35.05	55.37
DU-16	1	25.40	22.35	1-3/8	34.92	1-1/2	38.10	31.24	26.41	40.38	64.77
DU-20	1-1/4	31.75	27.88	1-3/4	44.45	1-7/8	47.63	41.14	38.86	48.00	92.20
DU-24	1-1/2	38.10	33.90	2-1/8	53.97	2-1/4	57.15	50.03	45.21	53.60	107.95
DU-32	2	50.80	45.97	2-3/4	69.85	3	76.20	67.56	62.73	74.70	149.35

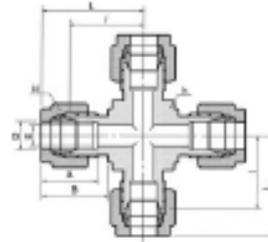
Connects metric tube

Part No.	Tube O.D.		E Min.	Width across flat		A	B	I	L
	D	D		h	H				
DU-2M	2	1.7	1.7	12	12	12.9	15.3	22.4	35.6
DU-3M	3	2.4	2.4	12	12	12.9	15.3	22.1	35.3
DU-4M	4	2.4	2.4	12	12	13.7	16.1	24.1	37.3
DU-6M	6	4.8	4.8	14	14	15.3	17.7	28.2	41.0
DU-8M	8	6.4	6.4	15	16	16.2	18.6	28.2	43.2
DU-10M	10	7.9	7.9	18	19	17.2	19.5	31.0	48.2
DU-12M	12	9.5	9.5	22	22	22.8	22.0	31.0	51.2
DU-15M	15	11.9	11.9	24	25	24.4	22.0	31.8	52.0
DU-16M	16	12.7	12.7	24	25	24.4	22.0	31.8	52.0
DU-18M	18	15.1	15.1	27	30	24.4	22.0	33.3	53.5
DU-20M	20	15.9	15.9	30	32	26.0	22.0	34.8	55.0
DU-22M	22	18.3	18.3	30	32	26.0	22.0	34.8	55.0
DU-25M	25	21.8	21.8	35	38	31.3	26.5	40.4	65.0
DU-28M	28	21.8	21.8	41	46	36.6	36.6	43.4	65.0
DU-32M	32	26.6	26.6	46	50	42.0	41.6	51.3	97.3
DU-38M	38	33.7	33.7	55	60	49.4	47.9	58.4	113.6

Dk-Lok Tube Fittings

Union Cross DX

Note:
Cross may be made out of
bar stock.



Connects fractional tube

Part No.	Tube O.D. D		E Min.	Width across flat				A	B	I	L
	in	mm		h	mm	H	mm				
DX-1	1/16	1.50	1.27	3/8	9.52	5/16	7.93	8.63	10.92	14.00	17.88
DX-2	1/8	3.17	2.28	3/8	9.52	7/16	11.11	12.70	15.24	15.74	22.35
DX-3	3/16	4.78	3.04	1/2	12.70	1/2	12.70	13.71	16.00	17.78	24.38
DX-4	1/4	6.35	4.82	1/2	12.70	9/16	14.28	15.24	17.78	19.55	26.92
DX-5	5/16	7.93	6.35	9/16	14.28	5/8	15.87	16.25	18.54	21.33	28.70
DX-6	3/8	9.52	7.11	5/8	15.87	11/16	17.46	16.76	19.30	23.11	30.48
DX-8	1/2	12.70	10.41	13/16	20.64	7/8	22.22	22.86	21.84	25.90	36.06
DX-10	5/8	15.87	12.70	15/16	23.81	1	25.40	24.38	21.84	28.70	38.80
DX-12	3/4	19.05	15.74	1-1/16	26.98	1-1/8	28.58	24.38	21.84	29.71	39.67
DX-14	7/8	22.22	18.28	1-3/8	34.92	1-1/4	31.75	25.90	21.84	34.54	44.70
DX-16	1	25.40	22.35	1-3/8	34.92	1-1/2	38.10	31.24	26.41	36.83	49.02
DX-20	1-1/4	31.75	27.88	1-11/16	42.86	1-7/8	47.63	41.14	38.86	44.50	66.54
DX-24	1-1/2	38.10	33.90	2	50.80	2-1/4	57.15	50.03	45.21	50.80	77.97
DX-32	2	50.80	45.97	2-3/4	69.85	3	76.20	67.56	62.73	69.80	107.18

Connects metric tube

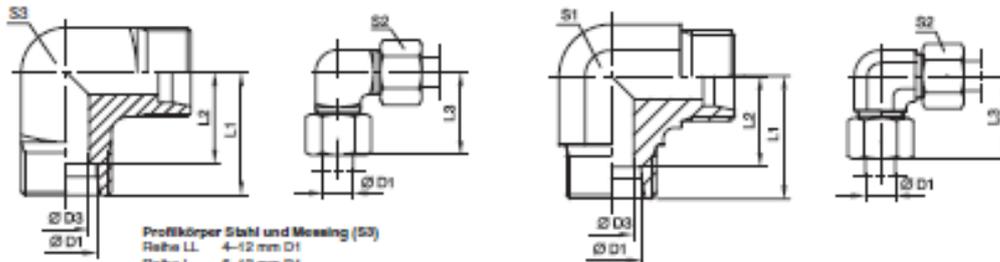
Part No.	Tube O.D. D	E Min.	Width across flat		A	B	I	L
			h	H				
DX-3M	3	2.4	9.5	12	12.9	15.3	15.7	22.3
DX-4M	4	2.4	12.7	12	13.7	16.1	18.8	25.4
DX-6M	6	4.8	12.7	14	15.3	17.7	19.6	27.0
DX-8M	8	6.4	14.3	16	16.2	18.6	21.3	28.8
DX-10M	10	7.9	17.5	19	17.2	19.5	23.9	31.5
DX-12M	12	9.5	20.6	22	22.8	22.0	25.9	36.0
DX-15M	15	11.9	25.4	25	24.4	22.0	28.7	38.8
DX-16M	16	12.7	25.4	25	24.4	22.0	28.7	38.8
DX-18M	18	15.1	27.0	30	24.4	22.0	29.7	39.8
DX-20M	20	15.9	34.92	32	26.0	22.0	32.5	42.6
DX-22M	22	18.3	34.92	32	26.0	22.0	32.5	42.6
DX-25M	25	21.8	34.92	38	31.3	26.5	36.8	49.1
DX-28M	28	21.8	41.0	46	36.6	36.6	43.2	64.0
DX-32M	32	26.6	46.0	50	42.0	41.6	49.3	72.3
DX-38M	38	33.7	55.0	60	49.4	47.9	56.4	84.0



DIN-Verschraubungen

W Winkel-Stutzen

EO 24°-Anschluss



Profilkörper Stahl und Messing (50)
 Reihe LL 4-12 mm D1
 Reihe L 6-12 mm D1
 Reihe S 6-12 mm D1

Bau-Reihe	D1	D3	L1	L2	L3	S1	S2	S3	Gewicht g/1 St.	Bestellzeichen*	PN (bar ¹⁾)			
											CF	71	MS	
LL ²⁾	04	3,0	15	11,0	21	9	10	9	13	W04LL	100	100	63	
	06	4,5	15	9,5	21	9	12	11	15	W06LL	100	100	63	
	08	6,0	17	11,5	23	12	14	12	23	W08LL	100	100	63	
	10	8,0	18	12,5	24	12	17	14	32	W10LL	100	100	63	
	12	10,0	19	13,0	25	14	19	17	41	W12LL	100	100	63	
L ²⁾	06	4,0	19	12,0	27	12	14	12	29	W06L	500	315	200	
	08	6,0	21	14,0	29	12	17	14	43	W08L	500	315	200	
	10	8,0	22	15,0	30	14	19	17	54	W10L	500	315	200	
	12	10,0	24	17,0	32	19	22		80	W12L	400	315	200	
	15	12,0	28	21,0	36	19	27		81	W15L	400	315	200	
	18	15,0	31	23,5	40	24	32		140	W18L	400	315	200	
	22	19,0	35	27,5	44	27	36		178	W22L	250	160	100	
	28	24,0	38	30,5	47	36	41		340	W28L	250	160	100	
	35	30,0	45	34,5	56	41	50		458	W35L	250	160	100	
	42	36,0	51	40,0	63	50	60		776	W42L	250	160	100	
	S ²⁾	06	4,0	23	16,0	31	12	17	14	52	W06S	800	630	400
		08	5,0	24	17,0	32	14	19	17	74	W08S	800	630	400
10		7,0	25	17,5	34	19	22		97	W10S	800	630	400	
12		8,0	29	21,5	38	17	24	22	137	W12S	630	630	400	
14		10,0	30	22,0	40	19	27		145	W14S	630	630	400	
16		12,0	33	24,5	43	24	30		162	W16S	630	400	250	
20		16,0	37	26,5	48	27	36		221	W20S	420	400	250	
25		20,0	42	30,0	54	36	46		424	W25S	420	400	250	
30		25,0	49	35,5	62	41	50		603	W30S	420	400	250	
38		32,0	57	41,0	72	50	60		1010	W38S	420	315	200	

¹⁾ Druckwert genannt = Artikel lieferbar

²⁾ LL = Sehr leichte Baureihe; ¹⁾ L = Leichte Baureihe; ²⁾ S = Schwere Baureihe

PN (bar) = PN (MPa)
 10

Lieferung ohne Mutter und Schneidring. Hinweise zum Bestellen von Komplettverschraubungen siehe Seite 17.

Bestellzeichen-Ergänzungen		
Material	Kennbuchstaben Oberfläche und Material	Beispiel
Stahl, verzinkt, Cr(VI)-frei	CF	W16SCFX
Edelstahl	71	W16S71X
Messing	MS	W16SMSX

*Ergänzen Sie bitte die Bestellzeichen mit den Kennbuchstaben für das gewünschte Material.





V46A series Hex. Body Needle Valves

Pressure rating up to 10 000 psig

Catalog No. V46A-1
Aug. 2009

Features

- Packing bolt permits packing adjustment externally.
- Chevron PTFE packing design provides for improved sealing integrity.
- Packing below stem threads is to isolate threads from system fluid and lubricant washout.
- Non-rotating stem tip at closure for long-life and leak-tight shutoff.
- Lock plate ensures the valve fastened to the body.
- NACE MR0175/ISO 15156-3 applicable.
- Designed to ASME B16.34 class 2500.

Pressure-Temperature Ratings

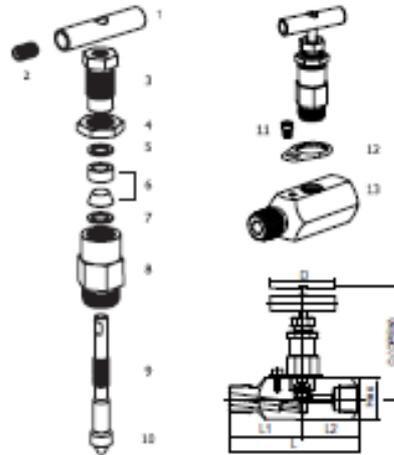
Body Material	Packing material	Temperature Rating	Pressure Rating @ 38 C (100 F)	Pressure Rating @ Max. Temp.
Stainless steel	PTFE	-54 to 232 °C (-65 to 450 °F)	689 bar (10 000 psig)	285 bar @ 232 °C (41.30 psig @ 450 °F)
	Graphit	-54 to 648 °C (-65 to 1200 °F)		118 bar @ 648 °C (1.715 psig @ 1200 °F)
Carbon steel	PTFE	-29 to 176 °C (-20 to 350 F)	689 bar (10 000 psig)	390 bar @ 176 °C (5.230 psig @ 350 °F)
	Graphit	-29 to 176 °C (-20 to 350 F)		

Materials of Construction

Component	Valve Body Materials	
	Stainless Steel	Carbon steel
	Grade / ASTM Specification	
1. Handle	Stainless Steel	Carbon steel
2. Set screw		Carbon steel
3. Packing bolt	SS316/A276 or A479	C.Steel/ JIS G4051
4. Lock nut		
5. Upper gland		SS316/A276 or A479
6. Packing	Standard chevron PTFE packing. Optional Grafal.	
7. Lower gland		SS316/A276 or A479
8. Bonnet	SS316/A276 or A479	C.Steel/ JIS G4051
9. Stem		SS316/A276 or A479
10. Non-rotating stemdisc	SS630/A564	
11. Lock bolt	Stainless steel	
12. Lock plate		
13. Body	SS316/A276 or A479	C.Steel/ JIS G4051, White zinc galvanized.

Wetted components listed in blue.

Grafal: TMUCAR



Ordering Information and Dimensions

Basic Ordering No.	End Connection		Orifice In. (mm)	CV	Dimensions Inch (mm)						
	Inlet	Outlet			L	L1	L2	Hex	D	O	
V46A	F09	1/4 Female NPT	0.185 (4.7)	0.83	3.00 (76.2)	1.50 (38.1)	1.50 (38.1)	1.25 (31.75)	2.52 (64.0)	3.48 (88.5)	
	F09	3/8 Female NPT									
	F09	1/2 Female NPT									
	MF09	1/2 Male NPT			1/2 Female NPT	3.50 (88.9)	2.21 (56.1)				1.29 (32.8)
	MF12x09	1/2 Male NPT			1/2 Female NPT	2.00 (50.8)	1.50 (38.1)				

Dimensions shown are for reference only and subject to change.

How to order

- To complete ordering number, add material designator S for stainless steel or C for carbon steel. Example V46A-F09-S
- To order optional Grafal packing, insert GF to the ordering number. Example V46A-F09-GF-S
- To order NACE applicable valve, insert SG to the ordering number. Example V46A-F09-GF-SG-S



Factory test, cleaning and packaging

- Every valve is factory tested with nitrogen @ 69 bar (1000 psig) for leakage at the seat to a maximum allowable leak rate of 0.1 SCCM.
- Stem packing is tested for no detectable leakage.
- Every valve is cleaned and packaged in accordance with DK Tech Corporation cleaning standard DC-01. Optional DC-11 cleaning for oxygen application is available on request.

Packing adjustment and Actuation Torque

- Extreme or rapid temperature cycle while valve in service may require packing adjustment.
- Valves that have not been actuated for a period of time may have a higher initial actuation torque.

Safe Valve Selection

The selection of a valve for any application or system design must be considered to ensure safe performance. Valve function, valve rating, material compatibility, proper installation, operation and maintenance remain the sole responsibility of the system designer and the user. DK Tech accepts no liability for any improper selection, installation, operation or maintenance.





V81 Series Ball Valve

Pressures rating of 68.9 bar (1000 psig) and 137 bar (2000 psig)

Catalog No. V81-5
May 2008



Valve with lever handle
Working pressure:
● PTFE seats: 68.9 bar (1000 psig)
● TRM seats: 137 bar (2000 psig)



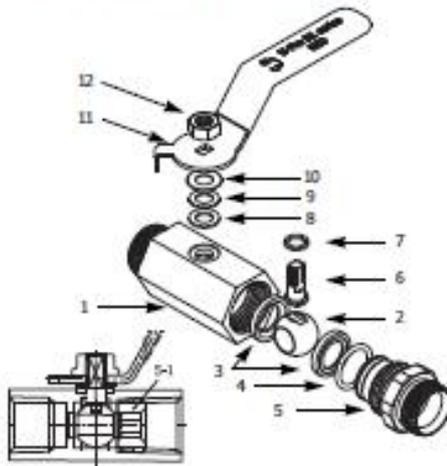
Valve with butterfly handle
Working pressure:
● PTFE seats: 68.9 bar (1000 psig)
● TRM seats: not applicable

Design Features

- Compact barstock construction for high integrity
- Blow-out proof design with internally loaded stem
- Floating Ball design providing seat wear compensation
- Micro-finished ball ensures a leak-tight shut-off on pressure
- Standard lever handle, optional butterfly handle.

Applications

V81 series ball valve offers a safe and reliable performance for a wide range of onshore and offshore applications: water, oil, gas, petrochemical and general duty applications.

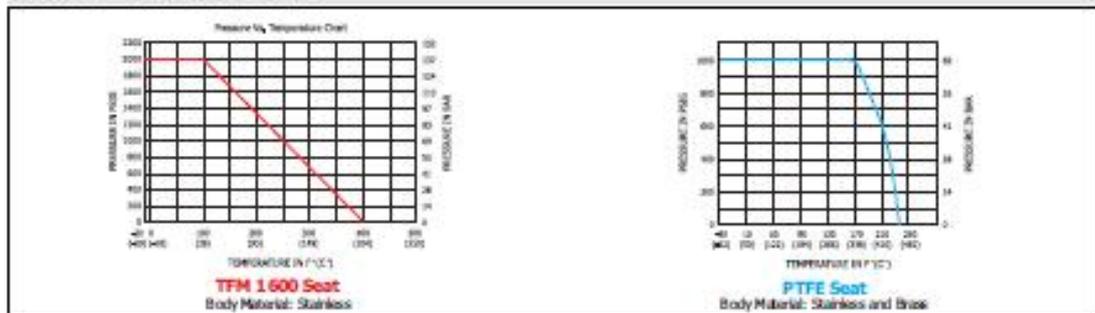


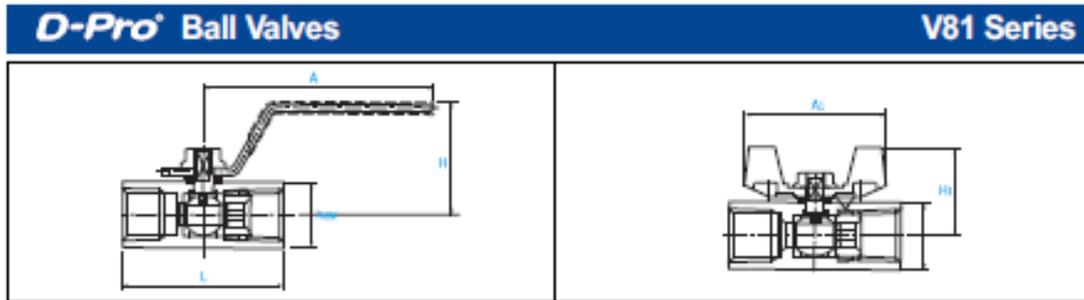
Materials of Construction

Component	Valve Body Materials	
	Stainless Steel	Brass
1. Body	SS316(ASTM A276 or A479)	ASTM B16 or BS H3250
2. Ball	SS316 / ASTM A276	
3. Seat (2)	PTFE / D1710 for pressure 68.9 bar (1000 psig) TRM 1600 for pressure 137 bar (2000 psig)	
4. O-Ring (2)	RM	NBR
5. End Connector (2)	SS316/ ASTM A276 or A479	ASTM B16 or BS H3250
5-1. Inset		
6. Ball Valve Stem	SS316/ ASTM A276 or A479	
7. Lower Packing	PTFE / D1710	
8. Upper Packing	PTFE / D1710	
9. Gland Washer	SS304 / ASTM A276 or A479	
10. Spring Washer	Stainless Steel	
11. Handle	SS304 Lever handle with vinyl sleeve ZINC/ ASTM B240 Butterfly handle, Nickel-plated	
12. Lock Nut	SS 304	SS 304

4. O-Ring is applicable to DK-LOK end connection
5. End Connector is for DK-LOK end connection
5-1. Inset is for Pipe Thread end connection

Pressure - Temperature Curves





Ordering Information and Table of Dimensions

Basic Ordering Number	End Connection Inlet / Outlet	Cv	Offset mm (in.)	Dimensions, mm (in.)						
				L	H	hex	A	Ai	Hi	
V81A	D-6M	6mm DK-LOK	1.25	5 (0.20)	79 (3.11)	31	17	59.5 (2.34)	30.50 (1.20)	23.50 (0.93)
	D-4T	1/4 in. DK-LOK	1.25		79 (3.11)	(1.22)	(11/16)			
	F-4N	1/4 in. Female NPT	1.35		41.9 (1.65)					
V81B	D-10M	10mm DK-LOK	2.6	7.50 (0.30)	90 (3.54)	40	20.64 (13/16)	81 (3.19)	42.00 (1.65)	30.00 (1.18)
	D-6T	3/8 in. DK-LOK	2.5		90 (3.54)	(1.57)				
	F-6N	3/8 in. Female NPT	2.6		45 (1.77)					
V81C	D-12M	12mm DK-LOK	9.25	9.00 (0.35)	98 (3.86)	42	27 (1-1/16)	81 (3.19)	46.00 (1.81)	35.70 (1.41)
	D-8T	1/2 in. DK-LOK	9.25		98 (3.86)	(1.65)				
	F-8N	1/2 in. Female NPT	9.25		56.15 (2.21)					
V81D	D-16M	16mm DK-LOK	10.6	12.50 (0.49)	108 (4.25)	51	32 (1-1/4)	102.5 (4.04)	49.50 (1.95)	38.10 (1.50)
	D-10T	5/8 in. DK-LOK	10.6		108 (4.25)	(2.00)				
	F-12N	3/4 in. Female NPT	12.65		60 (2.36)					
	D-12T	3/4 in. DK-LOK	12.65		109 (4.29)					
V81E	D-16T	1 in. DK-LOK	17.35	16.00 (0.63)	133 (5.23)	55	38 (1-1/2)	102.5 (4.04)	68.00 (2.68)	45.00 (1.77)
	F-16N	1 in. Female NPT	17.35		78.1 (3.07)	(2.66)				

Dimensions shown are for reference only, subject to change. Dimensions with DK-LOK nuts are in finger-tight position.

Factory Test

Every valve is factory tested with nitrogen gas @41 bar (600 psig) for leakage at the seat to a maximum allowable leak rate of 0.1 SCOM. The packing is tested with nitrogen for no detectable leakage.

How-to-order

Select valve ordering number, applicable option(s) from designator tables listed below.

Examples

V81A-D-6M-

V81A-D-6M-

O-ring	Seat Material	Handle	Body material
<ul style="list-style-type: none"> ● Nil: FKM O-ring is standard for SS316 body. ● Nil: NBR O-ring is standard for Brass body. ● VT: FKM O-ring for Brass body ● BN: NBR O-ring for SS316 <p>NOTE: O-ring is required for DK-LOK end connection.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Nil: Standard PTFE seats for 68.9 bar (1000 psig) working pressure. ● TF: Optional TPM1600 for 137 bar (2000 psig) working pressure. <p>NOTE: TPM1600 seat is not applicable to Brass valve.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Nil: Standard lever handle ● BF: Optional butterfly handle <p>NOTE: BF option is not applicable to the valve with TF seats.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● S: SS316 ● B: Brass

Safe Valve Selection

The selection of a valve for any application or system design must be considered to ensure safe performance.

Valve function, valve rating, material compatibility, proper installation, operation and maintenance remain the sole responsibility of the system designer and the user. Dk Tech accepts no liability for any improper selection, installation, operation or maintenance.

<p>THE POWER OF RELIABILITY DK TECH CORPORATION www.dktech.com</p>	<p>DK TECH Trademarks</p>		<p>DK TECH contact information</p> <p>Tel. (82) 55-338-0114 Fax (82) 55-338-6745 E-mail: sales@dktech.com</p>	<p>For International customers</p> <p>Tel. (82) 55-338-0031/2 Fax (82) 55-338-6746 E-mail: dktech@dktech.com</p>
	<p>Mailing Address</p> <p>826, Naesam-Ri, Juchon-Myeon, Gimhae-City, Gyeong Nam, Korea 621-841</p>			



V82 Series Ball Valves

Pressure Rating up to 3000psig

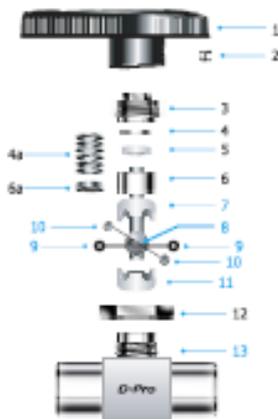
Catalog No. V82-3
April 2008

Features of V82 Series

- Sealing is achieved without system pressure
- Pressure up to 3000 psig (206 bar)
- Bi-directional flow
- Lowest dead space design



- Nylon Directional handle - indicates the flow through the valve.
- Panel mounting nut - is standard and permits valve to panel or actuator.
- Top-loaded packing - allows packing adjustment with the valve in-line.
- Capsule packing - fills voids in the valve body and prevents fluid entrapment. - allows lowest dead space.
- Support rings and discs - retains the capsule packing and prevent cold flow.
- Integral ball stem - machined from single piece bar stock. - eliminates the backlash during handle actuation.
- One-piece body - reduces the number of potential leak points.



Materials of Construction

Component	Valve Body Materials	
	Stainless Steel	Brass
	Grade/ASTM Specification	
1. Handle	Nylon with brass insert	
2. Set Screw	17-4PH/A564	
3. Packing bolt (1)	SS316/A276 or A479	Brass B16
4. Upper Gland	SS316/A276 or A479	
4a. Packing Spring (V82 series)	17-4PH/A564	
5. Bushing	PTFE/D1710 type 1, Grade 1, Class B	
6. Lower gland	SS316/A276	Brass B16
6a. Packing Gland (V82 series)	SS316/A276	
7 & 11. Upper & Lower Packing	PTFE/D1710 type 1	
8. Ball stem	SS316/A276	
9. Support rings	SS316 powdered metal (B783 (fluorocarbon coating))	
10. Side discs		
12. Panel nut	SS316/A276	Brass B16
13. Body	SS316/A276 or A479	

(1) Molybdenum disulfide with hydrocarbon coating.

- Note: 1. Wetted parts and lubricants are listed in [Table 1](#).
- 2. Lubricant is Fluorinated-based. Lubricants are available for a specific application.

Operation & Packing Adjustment

- V82 valves are designed to control fluid in full open and closed position; using V82 valves to throttle the flow may reduce the valve life.
- Valves that have not been actuated for a period of time may have a higher initial actuation torque.
- Every valve working pressure is adjusted for factory test at 3000 psig (68.9 bar) @ 21 °C (70 °F). For use in higher pressure, the valve packing may be required for re-adjustment.
- Packing adjustment may be required during the valve in service.

Application

- Analytical market requiring a valve with lowest dead volume to prevent fluid entrapment which can cause contamination.
- Control Sampling Systems, and Process Instrumentation market requiring a valve with compact size, high flow capacity and directional indication of flow.

Factory Test and Packaging

- Every valve is factory tested with nitrogen gas at 3000 psig (68.9 bar) for leakage at seat to a maximum allowable leak rate of 0.1 SCCM. The packing is tested with nitrogen gas for no detectable leakage.
- Every valve is cleaned and packaged in accordance with DK cleaning standard DC-01.



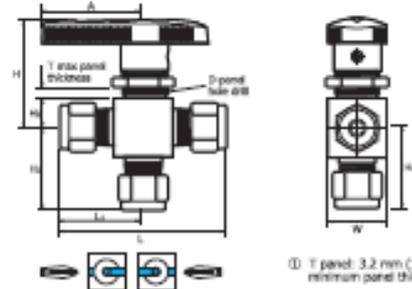
D-Pro Ball Valves

V82 Series

3-way Switching Valves

Technical Data for valves with standard PTFE seat

Valve Series	Pressure Rating		Temperature Range
	psig	bar	PTFE seat
V82A-3B, V82B-3B	2500	172	10 °C to 65 °C
V82C-3B, V82D-3B	1500	103	(50 °F to 150 °F)



① T panel: 3.2 mm (1/8 inch) minimum panel thickness.

Ordering Information and Table of Dimensions

Basic Ordering Number	End Connectors	Orifice		Cv	Dimensions mm (inches)									
		mm	inch		L	L1	H1	H2	A	T ^①	D	H	W	
V823A	D1T- 1/16" Di-Lok	1.3	0.052	0.08	42.7(1.68)	21.3(0.84)	20.6(0.81)	8.6(0.34)	28.7(1.13)	6.4(1/4)	15.0(19/32)	34.5(1.36)	14.7(0.58)	
	D2T- 1/8" Di-Lok	2.4	0.093	0.15	51.1(2.01)	25.7(1.01)	24.6(0.97)	8.6(0.34)	28.7(1.13)	6.4(1/4)	15.0(19/32)	34.5(1.36)	14.7(0.58)	
	D4T- 1/4" Di-Lok	3.2	0.125	0.35	56.1(2.21)	27.9(1.10)	27.2(1.07)	8.6(0.34)	28.7(1.13)	6.4(1/4)	15.0(19/32)	34.5(1.36)	14.7(0.58)	
	D3M- 3mm Di-Lok	2.4	0.093	0.15	51.1(2.01)	25.7(1.01)	24.6(0.97)	8.6(0.34)	28.7(1.13)	6.4(1/4)	15.0(19/32)	34.5(1.36)	14.7(0.58)	
	D5M- 5mm Di-Lok	3.2	0.125	0.35	56.1(2.21)	27.9(1.10)	27.2(1.07)	8.6(0.34)	28.7(1.13)	6.4(1/4)	15.0(19/32)	34.5(1.36)	14.7(0.58)	
V823B	F2N- 1/8" Female NPT	3.2	0.125	0.3	41.4(1.63)	20.6(0.81)	20.6(0.81)	8.6(0.34)	28.7(1.13)	6.4(1/4)	15.0(19/32)	34.5(1.36)	14.7(0.58)	
	D4T- 1/4" Di-Lok	4.8	0.187	0.90	60.7(2.39)	30.5(1.20)	29.7(1.17)	11.2(0.44)	38.9(1.53)	4.8(3/16)	19.8(25/32)	39.6(1.56)	19.8(0.78)	
	D6M- 6mm Di-Lok	4.8	0.187	0.90	60.7(2.39)	30.5(1.20)	29.7(1.17)	11.2(0.44)	38.9(1.53)	4.8(3/16)	19.8(25/32)	39.6(1.56)	19.8(0.78)	
	D8M- 8mm Di-Lok	4.8	0.187	0.80	62.5(2.46)	31.2(1.23)	30.5(1.20)	11.2(0.44)	38.9(1.53)	4.8(3/16)	19.8(25/32)	39.6(1.56)	19.8(0.78)	
	F4N- 1/4" Female NPT	4.8	0.187	0.75	52.3(2.06)	26.2(1.03)	26.2(1.03)	11.2(0.44)	38.9(1.53)	4.8(3/16)	19.8(25/32)	39.6(1.56)	19.8(0.78)	
V823C	D6T- 3/8" Di-Lok	7.1	0.281	2.0	73.4(2.89)	36.8(1.45)	36.3(1.43)	14.2(0.56)	50.8(2.00)	9.3(3/8)	28.7(1-1/8)	52.6(2.07)	28.4(1.12)	
	D10M- 10mm Di-Lok	7.1	0.281	2.0	73.4(2.89)	36.8(1.45)	36.3(1.43)	14.2(0.56)	50.8(2.00)	9.3(3/8)	28.7(1-1/8)	52.6(2.07)	28.4(1.12)	
	F4N- 1/4" Female NPT	7.1	0.281	1.7	63.5(2.50)	31.8(1.25)	31.8(1.25)	14.2(0.56)	50.8(2.00)	9.3(3/8)	28.7(1-1/8)	52.6(2.07)	28.4(1.12)	
	F6N- 3/8" Female NPT	7.1	0.281	1.5	63.5(2.50)	31.8(1.25)	31.8(1.25)	14.2(0.56)	50.8(2.00)	9.3(3/8)	28.7(1-1/8)	52.6(2.07)	28.4(1.12)	
	F8N- 1/2" Female NPT	7.1	0.281	1.5	63.5(2.50)	31.8(1.25)	31.8(1.25)	14.2(0.56)	50.8(2.00)	9.3(3/8)	28.7(1-1/8)	52.6(2.07)	28.4(1.12)	
V823D	D8T- 1/2" Di-Lok	10.3	0.406	4.6	88.4(3.48)	44.2(1.74)	44.2(1.74)	17.5(0.69)	76.2(3.00)	9.3(3/8)	38.1(1-1/2)	61.7(2.43)	38.1(1.50)	
	D12T- 1 1/4" Di-Lok	10.3	0.406	3.8	88.4(3.48)	44.2(1.74)	44.2(1.74)	17.5(0.69)	76.2(3.00)	9.3(3/8)	38.1(1-1/2)	61.7(2.43)	38.1(1.50)	
	D12M- 12mm Di-Lok	9.5	0.375	4.6	88.4(3.48)	44.2(1.74)	44.2(1.74)	17.5(0.69)	76.2(3.00)	9.3(3/8)	38.1(1-1/2)	61.7(2.43)	38.1(1.50)	
	F8N- 1/2" Female NPT	10.3	0.406	3.5	79.5(3.13)	39.6(1.56)	39.6(1.56)	17.5(0.69)	76.2(3.00)	9.3(3/8)	38.1(1-1/2)	61.7(2.43)	38.1(1.50)	
	F8N- 1/2" Female NPT	10.3	0.406	3.5	79.5(3.13)	39.6(1.56)	39.6(1.56)	17.5(0.69)	76.2(3.00)	9.3(3/8)	38.1(1-1/2)	61.7(2.43)	38.1(1.50)	

All dimensions shown are for reference only and are subject to change. Dimensions with Di-Lok nuts are in finger-tight position.

Flow Data

2-way

Cv	Water US GPM (l/min.) @21°C (70°F)			Air SCFM (Nm ³ /min.) @21°C (70°F)		
	Pressure Drop to Atmosphere (Δp) psi (bar)					
	10(0.7)	50(3.5)	100(7.0)	10(0.7)	50(3.5)	100(7.0)
0.1	0.3(1.1)	0.7(2.4)	1.0(3.6)	1.1(3.1)	3.0(8)	5.3(15)
0.2	0.6(2.3)	1.4(5.3)	2.0(7.6)	2.3(7.6)	6.0(21)	11.0(39)
0.3	1.6(5.7)	3.5(13.2)	5.0(18.3)	5.6(19.8)	15.0(53)	27.0(96)
0.6	1.9(7.2)	4.2(15.9)	6.0(22.7)	6.8(25)	20(80)	32.0(116)
0.9	2.8(10.6)	6.4(23.8)	9.0(34.0)	10.0(34)	27(96)	48.0(173)
1.2	3.8(14.0)	8.5(31.8)	12.0(45.4)	14.0(48)	36.0(130)	64.0(236)
1.5	4.7(17.8)	11.0(41.6)	15.0(56.8)	17.0(59)	45.0(161)	80.0(292)
2.4	7.6(28.4)	17.0(64.3)	26.0(96.8)	27.0(93)	72.0(260)	120(433)
2.6	8.2(31.0)	18.0(66.1)	26.0(96.8)	28.0(100)	76.0(280)	140(500)
3.0	9.5(35.6)	21.2(79.5)	30.0(113.6)	30.0(109)	90.0(315)	160(566)
6.0	19.0(71.9)	42.0(159.0)	60.0(227.1)	60.0(216)	180(654)	300(1100)
6.3	19.9(75.5)	44.5(166.3)	63.0(237.0)	71.0(256)	190(697)	300(1100)
6.4	20.2(76.7)	45.3(168.3)	64.0(242.2)	71.0(256)	190(697)	300(1100)
12.0	37.9(143.8)	84.9(312.7)	120.0(452.2)	130.0(483)	360(1302)	600(2200)

2-way angle pattern and 3-way

Cv	Water US GPM (l/min.) @21°C (70°F)			Air SCFM (Nm ³ /min.) @21°C (70°F)		
	Pressure Drop to Atmosphere (Δp) psi (bar)					
	10(0.7)	50(3.5)	100(7.0)	10(0.7)	50(3.5)	100(7.0)
0.08	0.5(1.1)	0.6(2.3)	0.8(3.0)	0.9(2.6)	2.4(8)	4.5(12)
0.15	0.8(1.5)	1.0(3.8)	1.5(5.7)	1.7(5.7)	4.5(16)	8.0(28)
0.30	0.9(3.6)	2.1(7.9)	3.0(11.4)	3.4(11.6)	9.0(31)	16.0(56)
0.35	1.1(4.2)	2.4(9.1)	3.5(13.3)	4.0(13.6)	10.0(36)	19.0(68)
0.75	2.3(8.7)	5.3(20.1)	7.5(28.4)	8.5(28)	22.0(82)	40.0(144)
0.80	2.5(9.5)	5.6(21.2)	8.0(30.3)	9.0(31)	24.0(87)	42.0(150)
0.90	2.8(10.6)	6.3(23.8)	9.0(34.0)	10.0(34)	27.0(96)	48.0(173)
1.5	4.7(17.8)	11.0(41.6)	15.0(56.8)	17.0(59)	45.0(161)	80.0(292)
1.7	5.3(20.1)	12.0(45.4)	17.0(64.3)	19.0(68)	51.0(184)	90.0(315)
2.0	6.3(23.8)	14.0(53.0)	20.0(75.7)	22.0(79)	60.0(216)	100(360)
3.5	11.0(41.6)	25.0(94.6)	35.0(130.5)	39.0(139)	100.0(360)	200(679)
3.8	12.0(45.4)	27.0(102.3)	38.0(140.8)	43.0(150)	110.0(395)	200(679)
4.6	15.0(56.8)	33.0(124.9)	46.0(171.1)	52.0(181)	140.0(500)	260(870)





V63/V66 Series Relief Valves

Working pressure 3000 psig (206 bar) and 6000 psig (413 bar)

Catalog No. V63/V66-5
Jan 2007

V63 Series for working pressure 3000 psig (206 bar)

Technical Data



V63 Series Technical Data

- Maximum working pressure: 3000 psig (206 bar)
- Cracking pressure range: 10 to 250 psig (0.68 to 17.2 bar)

Table 1. V63 Series Spring Designator

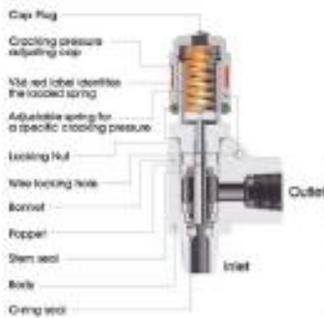
Spring Designator	Cracking Pressure psig	Cracking Pressure bar	Color Code
RVS-1	10 to 250	0.68 to 17.2	Red

- Orifice: 4.9 mm (0.19 in.)
- Cv = 0.60

V63/V66 Series Temperature Rating

Seal Material	Temperature Rating °C (°F)
Viton (Standard)	-20 - 204 (-4 - 400)
Buna N	-30 - 165 (-4 - 321)
Ethylene Propylene (EPDM)	-35 - 131 (-49 - 275)

V66 Series for working pressure 6000 psig (413 bar)

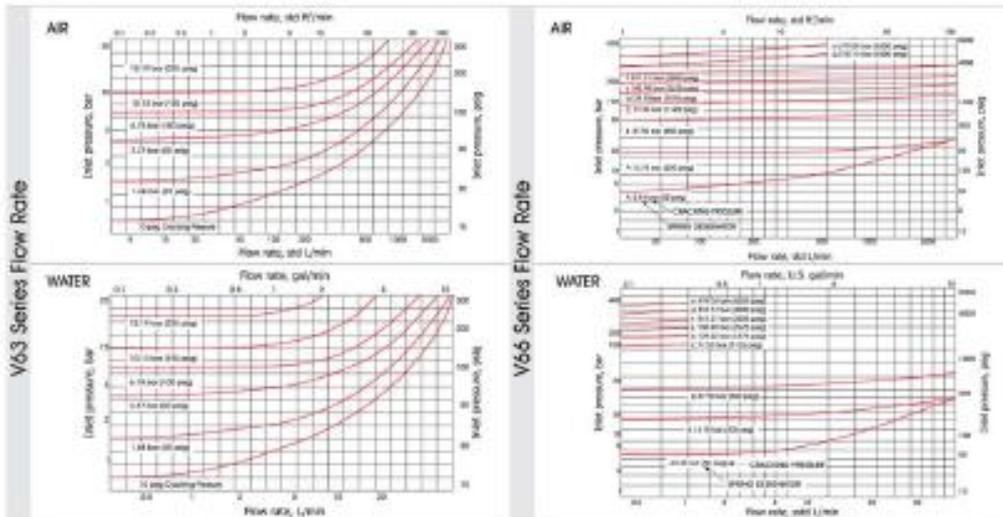


V66 Series Technical Data

- Maximum working pressure: 6000 psig (413 bar)
- Orifice size: 4.8 mm (0.19 in.)
- Cv = 0.41
- Cracking pressure range: 50 to 6000 psig (3.4 to 413 bar)

Table 2. V66 Series Spring Designator

Spring Designator	Cracking Pressure psig	Cracking Pressure bar	Color Code	Spring Designator	Cracking Pressure psig	Cracking Pressure bar	Color Code
RVS-A	50 to 350	3.4 to 24	White	RVS-E	2250 to 3000	155 to 206	Green
RVS-B	350 to 750	24 to 51.6	Blue	RVS-F	3000 to 4000	206 to 275	Yellow
RVS-C	750 to 1500	51.6 to 103	Clear	RVS-G	4000 to 5000	275 to 344	Brown
RVS-D	1500 to 2250	103 to 155	Black	RVS-H	5000 to 6000	344 to 413	Orange



Factory Test

- Every valve is factory tested for cracking and reset performance.



D-Pro® Relief Valves

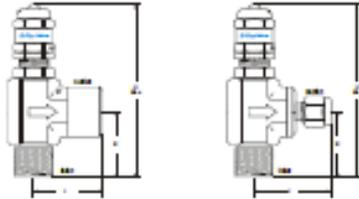
V63/V66 Series

How To Adjust Valve Cracking Pressure

- The valve user shall set a specific cracking pressure of the valve supplied.
- To increase the cracking pressure of the valve, turn the adjusting cap clockwise to compress the spring.
 - To reduce the pressure, turn counterclockwise.
 - Start the pump with the spring relaxed (eight threads showing with the Locking Nut at bottom), with the discharging port open, check the gauge pressure as you turn the adjusting cap clockwise to increase the pressure to the desired operating range.
 - If the system has more than one outlet, set the valve pressure with one outlet open, and then check again with all outlets open to make sure that the set pressure is within the desired operating range.
 - Set the Locking Nut and the wire to maintain the set cracking pressure.

Operation

- Install the valve between the pump outlet as close as possible, and any shut-off device in the discharge line. The preferable mounting position is vertical with the adjusting cap at the top.
- D-Pro relief valve bypasses the system fluid to prevent instrument or sensitive gauge in the system from excess pressure.
- When the inlet pressure overcomes the set spring pressure on the poppet, the poppet lifts off the valve seat, allowing flow to bypass and thereby balance the system pressure.
- If the valve has not been actuated for a long time, it may initially crack above the set cracking pressure.
- Cracking pressure is only sensitive to inlet pressure, and is not affected by outlet pressure.
- Cv reduction: Valve flow may be reduced by the restriction of pipe and tubing connected.



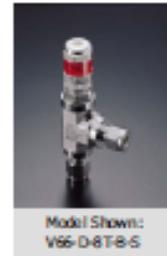
Materials of Construction

Cap Plug	Polymethylene
Adjusting Cap	S316/ ASTM A276, A479
Spring	17-7 PH/SS/ AMS 5678 D
Locking Nut	
Bonnet	S316/ ASTM A479, A276
Poppet	
Stem & O-ring seal	Standard Viton®, optional EPDM and Buna N
Body	F316/ ASTM A182

*Viton: TM of DUPONT

Ordering Information and Table of Dimensions

Basic Ordering Number	End Connections		Orifice mm (in.)	Dimensions mm (in.)				
	Inlet	Outlet		H	B	L		
V63	D-4T-	1/4 Di-Lok	4.8 (0.19)	100 (3.93)	37 (1.45)	39 (1.53)		
	D-6H-	6 mm Di-Lok			38 (1.49)	40 (1.57)		
	D-8H-	8 mm Di-Lok		105 (4.13)	44 (1.73)	42 (1.65)		
	D-8T-	1/2 Di-Lok			98 (3.85)	36 (1.41)	42 (1.65)	
	D-12H-	12 mm Di-Lok				94 (3.70)	32 (1.25)	30 (1.18)
V66	MF-4N-	1/4 Male NPT		1/4 Female NPT	98 (3.85)		36 (1.41)	38 (1.49)
	MF-4S-	1/4 Male ISO 7/1		1/4 Female ISO 7/1			35 (1.37)	38 (1.49)
MF-6N-	3/8 Male NPT	3/8 Female NPT						
MF-6S-	3/8 Male ISO 7/1	3/8 Female ISO 7/1						
MF-8N-	1/2 Male NPT	1/2 Female NPT						
MF-8S-	1/2 Male ISO 7/1	1/2 Female ISO						



Model Shown:
V66-D-8T-8-S

All dimensions shown are for reference only and are subject to change. Dimensions with Di-Lok nuts are in finger-tight position.

How To Order

Please select the desired valve basic ordering number, the applicable seal, spring designator and CE certified option from the table below.

Example: V66-D-4T- **BN** - **B** - **S** - **CE**

Seal Material Designator	Spring Designator	Body Material	CE certified
• NI: Standard "Viton" • BN: Buna N • EP: EPDM	Refer to Table 1, Table 2 for spring designator	• S: S316 • T: Titanium	• CE: valve to 97/23/EC

Body pressure relief valve

To order, specify the set pressure on the valve ordering number.
Example: V66-D-4T-60 bar-S, or V66-D-4T-60 psi-S

Warning Pressure Relief Valve Note: The label is on the adjusting cap.

Valve without spring installed

To order, do not specify spring designator on the ordering number.
Example: V66-D-4T-S

CAUTION: NO SPRING INSTALLED Note: The label is on the adjusting cap.

Spring for field assembly

To order, select an applicable spring from the spring designator table 1 & 2. Example: K66-A

Safe Valve Selection

The selection of a valve for any application or system design must be considered to ensure safe performance. Valve function, valve rating, material compatibility, proper installation, operation and maintenance remain the sole responsibility of the system designer and the user. Dk Tech accepts no liability for any improper selection, installation, operation or maintenance.

<p>THE POWER OF RELIABILITY DK TECH CORPORATION www.dktech.com</p>	<p>DK TECH Trademarks</p>		<p>DK TECH contact information</p> <p>Tel. (82) 55-338-0134</p> <p>Fax. (82) 55-338-6745</p> <p>E-mail: sales@dktech.com</p>	<p>For International customers</p> <p>Tel. (82) 55-338-0031/2</p> <p>Fax. (82) 55-338-6746</p> <p>E-mail: dkidk@dktech.com</p>
	<p>Global Address</p> <p>826, Namsan-R, Juchon-Myeon, Gimhae-G'gy, Gyeong Nam, Korea 621-841</p>			



Öldurchflussmesser
Oil flowmeter

Technische Daten

Messprinzip

Abtastsystem

Ausgangssignal

Durchflussrichtung

Durchflussbereich L/min.

Düse

Impulszahl/ Liter

Viskosität der Medien ν

Messgenauigkeit ($\nu < 3 \text{ mPas}$)

Wiederholgenauigkeit

Betriebs/ Berstdruck

Betriebstemperatur

Einbaulage

Anschluss

Material / Rotor / O-Ring

Achse / Lagerung

Spannungsversorgung

Strombelastung I_{max}

Gebergewicht

Abmessung in mm

Technical specification

Measurement principle

Sensing principle

Output: square wave

Flow direction

Flow range LPM

Nozzle

Pulses output / Litre

Viscosity ν

Accuracy ($\nu < 3 \text{ mPas}$)

Repeatability of frequency response

Continuous / Burst in pressure

Running temperature

Installation position

Port Connection

Material/ Rotor/ Gasket

Axle / Bearing

Voltage supply

Output current I_{max}

Weight

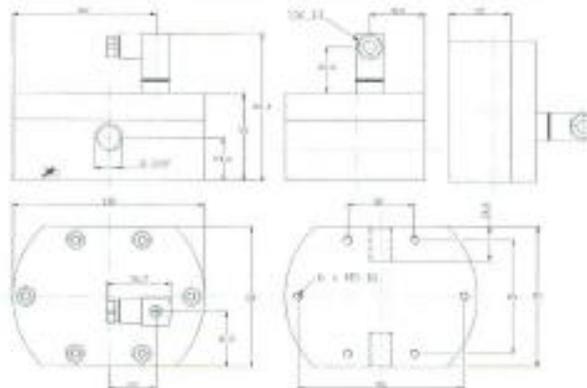
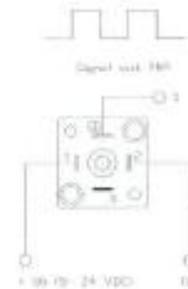
Dimensions in mm

Anwendung: 1500- bis hoch viskose Flüssigkeiten, Mineralöl Öl, Hydrauliköl
Application: Vapors, Diesel, Oil, Hydraulic oil

Serie: VZB-10-ALU
Art.-Nr: 97478508



Steckerbelegung /
Electrical connection
PIN 1: +4,5 to 24 VDC
PIN 2: GND (0V)
⊕ - Masse-PIN: Signal



97478508-VZB-10-ALU.doc

Technische Änderungen vorbehalten. Stand 3.2013

We reserve the right to make technical changes without notice.

B.I.O-TECH e.K. | Zellamer Str. 32 | D- 94474 Vilshofen | Germany
Tel: +49 (0) 8541-91 00 47 | Fax: +49 (0) 8541-96 89 86 0
E-Mail: info@bioflowmeter.com | Internet: www.bioflowmeter.com

DIN-Verschraubungen



GE-R Gerader Einschraubstutzen

Zöll. Einschraubzapfen – Dichtkante (ISO 1179) / EO 24° Anschluss



Bau- Reihe	D1	T	D3	D4	L1	L2	L3	L4	S1	S2	Gewicht g/1 St.	Bestellzeichen*	PN (bar) ¹⁾			
													CF	71	MS	
L3)	06	G1/8A	4	14	23,5	8,5	8	23,0	14	14	14	14	GE08LR	315	315	200
	06	G1/4A	4	18	29,0	10,0	12	25,0	19	14	60	60	GE08LR1/4	315	315	200
	06	G3/8A	4	22	30,5	11,5	12	26,0	22	14	45	45	GE08LR3/8	315	315	200
	06	G1/2A	4	26	33,0	12,0	14	27,0	27	14	60	60	GE08LR1/2	315	315	200
	06	G1/4A	6	18	29,0	10,0	12	25,0	19	17	26	26	GE08LR	315	315	200
	08	G1/8A	4	14	24,5	8,5	8	23,0	14	17	16	16	GE08LR1/8	315	315	200
08	G3/8A	6	22	30,5	11,5	12	26,0	22	17	44	44	GE08LR3/8	315	315	200	
08	G1/2A	6	26	33,0	12,0	14	27,0	27	17	74	74	GE08LR1/2	315	315	200	
10	G1/4A	6	18	30,0	11,0	12	26,0	19	19	31	31	GE10LR	315	315	200	
10	G1/8A	4	14	25,5	10,5	8	25,0	17	19	21	21	GE10LR1/8	315	315	200	
10	G3/8A	8	22	31,5	12,5	12	27,0	22	19	44	44	GE10LR3/8	315	315	200	
10	G1/2A	8	26	34,0	13,0	14	28,0	27	19	72	72	GE10LR1/2	315	315	200	
12	G3/8A	9	22	31,5	12,5	12	27,0	22	22	43	43	GE12LR	315	315	200	
12	G1/8A	4	14	26,5	11,5	8	26,0	19	22	27	27	GE12LR1/8	315	315	200	
12	G1/4A	6	18	31,0	12,0	12	27,0	19	22	32	32	GE12LR1/4	315	315	200	
12	G1/2A	10	26	34,0	13,0	14	28,0	27	22	67	67	GE12LR1/2	315	315	200	
12	G3/4A	10	32	37,0	14,0	16	29,0	32	22	120	120	GE12LR3/4	315	315	200	
15	G1/2A	11	26	35,0	14,0	14	29,0	27	27	72	72	GE15LR	250	250	160	
15	G3/8A	9	22	32,5	13,5	12	29,0	24	27	56	56	GE15LR3/8	250	250	160	
15	G3/4A	12	32	38,0	15,0	16	30,0	32	27	118	118	GE15LR3/4	250	250	160	
18	G1/2A	14	26	36,0	14,5	14	31,0	27	32	72	72	GE18LR	250	250	160	
18	G3/8A	9	22	33,5	14,0	12	29,5	27	32	69	69	GE18LR3/8	250	250	160	
18	G3/4A	15	32	38,0	14,5	16	30,0	32	32	112	112	GE18LR3/4	250	250	160	
22	G3/4A	18	32	40,0	16,5	16	33,0	32	36	103	103	GE22LR	160	160	100	
22	G1/2A	14	26	36,0	16,5	14	33,0	32	36	91	91	GE22LR1/2	160	160	100	
22	G1A	19	39	43,0	17,5	18	33,5	41	36	184	184	GE22LR1	160	160	100	
28	G1A	23	39	43,0	17,5	18	34,0	41	41	168	168	GE28LR	160	160	100	
28	G1/2A	14	26	39,0	17,5	14	34,0	41	41	141	141	GE28LR1/2	160	160	100	
28	G3/4A	18	32	41,0	17,5	16	34,0	41	41	156	156	GE28LR3/4	160	160	100	
28	G11/4A	24	50	46,0	18,3	20	35,0	50	41	314	314	GE28LR11/4	160	160	100	
35	G11/4A	30	49	48,0	17,5	20	39,0	50	50	276	276	GE35LR	160	160	100	
35	G1/2A	14	26	42,0	17,5	14	39,0	46	50	194	194	GE35LR1/2	160	160	100	
35	G3/4A	18	32	44,0	17,5	16	39,0	46	50	202	202	GE35LR3/4	160	160	100	
35	G1A	23	39	46,0	17,5	18	39,0	46	50	234	234	GE35LR1	160	160	100	
35	G11/2A	30	55	52,0	19,5	22	41,0	55	50	355	355	GE35LR11/2	160	160	100	
42	G11/2A	36	55	52,0	19,0	22	42,0	55	60	349	349	GE42LR	160	160	100	
42	G1A	23	39	48,0	19,0	18	42,0	55	60	327	327	GE42LR1	160	160	100	
42	G11/4A	30	49	50,0	19,0	20	42,0	55	60	336	336	GE42LR11/4	160	160	100	

¹⁾ Druckwert genannt = Artikel lieferbar

²⁾ L = Leichtbaureihe

PN (bar) = PN (MPa) / 10

Lieferung ohne Mutter und Schneidring. Hinweise zum Bestellen von Komplettverschraubungen siehe Seite 17.

*Ergänzen Sie bitte die Bestellzeichen mit den Kennbuchstaben für das gewünschte Material.

Bestellzeichen-Ergänzungen		
Material	Kennbuchstaben Oberfläche und Material	Beispiel
Stahl, verzinkt, Cr(VI)-frei	CF	GE18LRCPF
Edelstahl	71	GE18LR71X
Messing	MS	GE18LRMSX





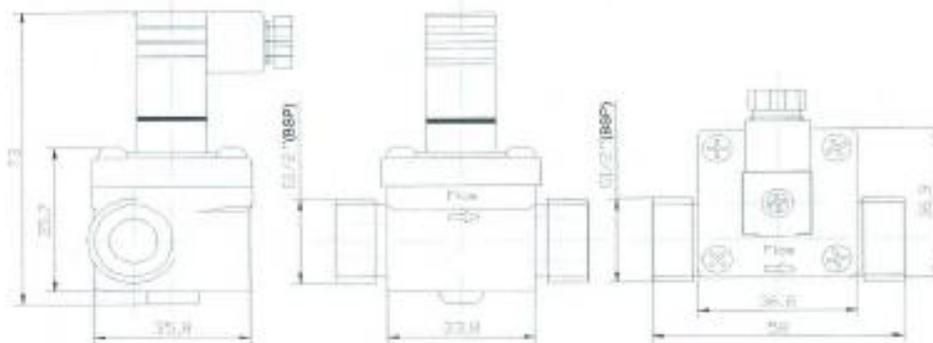
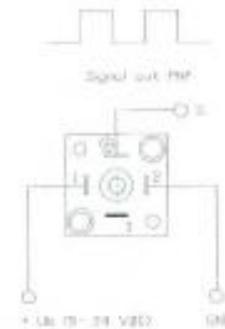
Kompakter Wasserdurchflussmesser / Compact Water Flow meter

Technische Daten	Technical specification	Anwendung: Wasser und Flüssigkeiten Usage: water and aqueous solutions Applications: water and aqueous solutions
Messprinzip	Measurement principle	Turbine
Abtastsystem	Sensing principle	Hall-Effekt / berührunglos / non contacting
Ausgangssignal	Output: square wave	PNP (Pull-up R= 1kΩ (integrated))
Durchflussrichtung	Flow direction	in Pfeilrichtung / as arrow-direction
Durchflussbereich L/min	Flow range LPM	0,50- 30,0 L/ min (H ₂ O bei / at 20°C)
Düse	Nozzle	D= 8 mm integriert/ integrated
Impulszahl/ Liter	Pulses output/ Litre	ca. 350 Imp./L bei / at H ₂ O 20°C
Viskosität der Medien v	Viscosity v	1... 20 mPas
Messgenauigkeit (v = 1 mPas)	Accuracy (v = 1 mPas)	± 2% (bei gleichen Betriebsbedingungen)
Wiederholgenauigkeit	Repeatability of frequency response	± 0,5 % (bei gleichen Betriebsbedingungen) ± 0,5 % (at the same operating conditions)
Betriebs/ Berstdruck/ Druckverlust bei Q _{max}	Continuous-/ Burst in pressure / pressure loss	-0,7- 10 bar / 20 bar (bei / at 20°C) max. 0,3 bar
Betriebstemperatur	Running temperature	-10°C... + 60°C
Einbaulage	Installation position	beliebig / any
Anschluss	Port Connection	2x G 1/2" AG/ male thread BSP
Material / Rotor / O-Ring	Materials/ Rotor/ Gasket	Messing / brass/ POM / O-Ring: NBR
Achse / Lagerung	Axis/ Bearing	Achse / Axle: V4A (316L)
Spannungsversorgung	Voltage supply	5... 24 VDC
Strombelastung I _{max}	Output current	13 mA _{max}
Gewicht	Weight	105 Gramm
Abmessung in mm	Dimensions in mm	s. Zeichnung / see drawing

Serie: FCH-C-Ms-N
Art.-Nr. 97478387



Steckerbelegung /
Electrical connection
PIN 1: +4,5 to 24 VDC
PIN 2: GND (0V)
⊖ - Masse-PIN: Signal



27478387-FCH-C-Ms.doc

Technische Änderungen vorbehalten, Stand 11.2010

We reserve the right to make technical changes without notice.

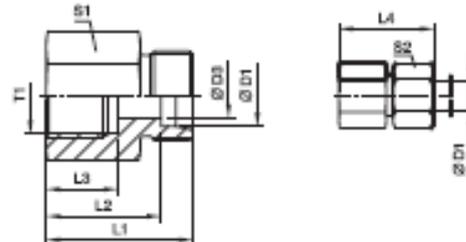
BIOTECH a.K. | Zellamer Str. 32 | D-94474 Vilshofen | Germany
Tel: +49 (0) 8541-81 00 47 | Fax: +49 (0) 8541-96 89 98 0
E-Mail: info@biflowmeter.com | Internet: www.biflowmeter.com

DIN-Verschraubungen



GAI-R Gerader Aufschraubstutzen

Zöll. Innengewinde (ISO 1179-1) / EO 24° Anschluss



Bau-Reihe	D1	T1	D3	L1	L2	L3	L4	S1	S2	Gewicht g/1 St.	Bestellzeichen*	PN (bar) ¹⁾		
												CF	71	MS
L ²⁾	06	G1/8	4	26,0	19,0	12,0	34	14	14	18	GAI06LR	315	315	200
	06	G1/4	4	31,0	24,0	17,0	30	19	14	30	GAI06LR1/4	315	315	200
	08	G1/4	6	31,0	24,0	17,0	30	19	17	30	GAI08LR	315	315	200
	08	G3/8	6	32,0	25,0	17,0	40	24	17	61	GAI08LR3/8	315	315	200
	08	G1/2	6	36,0	29,0	20,0	44	27	17	80	GAI08LR1/2	315	315	200
	10	G1/4	8	32,0	25,0	17,0	40	19	19	40	GAI10LR	315	315	200
	10	G3/8	8	33,0	26,0	17,0	41	24	19	63	GAI10LR3/8	315	315	200
	10	G1/2	8	37,0	30,0	20,0	45	27	19	81	GAI10LR1/2	315	315	200
	12	G3/8	10	33,0	26,0	17,0	41	24	22	64	GAI12LR	315	315	200
	12	G1/2	10	37,0	30,0	20,0	45	27	22	83	GAI12LR1/2	315	315	200
	15	G1/2	12	38,0	31,0	20,0	46	27	27	87	GAI15LR	315	315	200
	18	G1/2	15	38,0	30,5	20,0	47	27	32	89	GAI18LR	315	315	200
	18	G3/8	15	34,0	26,5	17,0	43	27	32	95	GAI18LR3/8	315	315	200
	22	G3/4	19	43,0	35,5	22,0	52	36	36	173	GAI22LR	160	160	100
	28	G1	24	45,5	38,0	24,5	55	41	41	211	GAI28LR	160	160	100
	35	G1 1/4	30	51,5	41,0	26,5	63	55	50	469	GAI35LR	160	160	100
	42	G1 1/2	36	53,5	42,5	28,5	65	60	60	540	GAI42LR	160	160	100
	S ²⁾	06	G1/4	4	33,0	26,0	17,0	41	19	17	43	GAI06SR	400	400
08		G1/4	5	33,0	26,0	17,0	41	19	19	47	GAI08SR	400	400	
10		G3/8	7	34,0	26,5	17,0	43	24	22	68	GAI10SR	400	400	
12		G3/8	8	34,0	26,5	17,0	43	24	24	71	GAI12SR	400	400	
12		G1/2	8	36,0	30,5	20,0	47	30	24	121	GAI12SR1/2	400	400	
14		G1/2	10	40,0	32,0	20,0	50	30	27	125	GAI14SR	400	400	
16		G1/2	12	40,0	31,5	20,0	50	30	30	126	GAI16SR	400	400	
20		G3/4	16	45,0	34,5	22,0	56	36	36	196	GAI20SR	315	315	
25		G1	20	49,5	37,5	24,5	62	41	46	246	GAI25SR	315	315	
30		G1 1/4	25	55,5	42,0	26,5	69	55	50	537	GAI30SR	315	315	
38	G1 1/2	32	59,5	43,5	28,5	74	60	60	640	GAI38SR	250	250		

1) Druckwert gerannt = Artikel lieferbar

2) L = Leichte Baureihe; S = Schwere Baureihe

$$\frac{PN \text{ (bar)}}{10} = PN \text{ (MPa)}$$

Lieferung ohne Mutter und Schneidring. Hinweise zum Bestellen von Komplettverschraubungen siehe Seite 17.

*Ergänzen Sie bitte die Bestellzeichen mit den Kennbuchstaben für das gewünschte Material.

Bestellzeichen-Ergänzungen		
Material	Kennbuchstaben Oberfläche und Material	Beispiel
Stahl, verzinkt, Cr(VI)-frei	CF	GAI16SRCFX
Edelstahl	71	GAI16SR71X
Messing	MS	GAI16SRMSX



DIN-Verschraubungen



GE-R Gerader Einschraubstutzen

Zöll. Einschraubzapfen – Dichtkante (ISO 1179) / EO 24° Anschluss



Bau- Reihe	D1	T	D3	D4	L1	L2	L3	L4	S1	S2	Gewicht g/1 St.	Bestellzeichen*	PN (bar) ¹⁾		
													CF	71	MS
L ²⁾	06	G1/8A	4	14	23,5	8,5	8	23,0	14	14	14	GE08LR	315	315	200
	06	G1/4A	4	18	29,0	10,0	12	25,0	19	14	60	GE08LR1/4	315	315	200
	06	G3/8A	4	22	30,5	11,5	12	26,0	22	14	45	GE08LR3/8	315	315	200
	06	G1/2A	4	26	33,0	12,0	14	27,0	27	14	60	GE08LR1/2	315	315	200
	06	G1/4A	6	18	29,0	10,0	12	25,0	19	17	26	GE08LR	315	315	200
	08	G1/8A	4	14	24,5	8,5	8	23,0	14	17	16	GE08LR1/8	315	315	200
	08	G3/8A	6	22	30,5	11,5	12	26,0	22	17	44	GE08LR3/8	315	315	200
	08	G1/2A	6	26	33,0	12,0	14	27,0	27	17	74	GE08LR1/2	315	315	200
	10	G1/4A	6	18	30,0	11,0	12	26,0	19	19	31	GE10LR	315	315	200
	10	G1/8A	4	14	25,5	10,5	8	25,0	17	19	21	GE10LR1/8	315	315	200
10	G3/8A	8	22	31,5	12,5	12	27,0	22	19	44	GE10LR3/8	315	315	200	
10	G1/2A	8	26	34,0	13,0	14	28,0	27	19	72	GE10LR1/2	315	315	200	
12	G3/8A	9	22	31,5	12,5	12	27,0	22	22	43	GE12LR	315	315	200	
12	G1/8A	4	14	26,5	11,5	8	26,0	19	22	27	GE12LR1/8	315	315	200	
12	G1/4A	6	18	31,0	12,0	12	27,0	19	22	32	GE12LR1/4	315	315	200	
12	G1/2A	10	26	34,0	13,0	14	28,0	27	22	67	GE12LR1/2	315	315	200	
12	G3/4A	10	32	37,0	14,0	16	29,0	32	22	120	GE12LR3/4	315	315	200	
15	G1/2A	11	26	35,0	14,0	14	29,0	27	27	72	GE15LR	250	250	160	
15	G3/8A	9	22	32,5	13,5	12	29,0	24	27	56	GE15LR3/8	250	250	160	
15	G3/4A	12	32	38,0	15,0	16	30,0	32	27	118	GE15LR3/4	250	250	160	
18	G1/2A	14	26	36,0	14,5	14	31,0	27	32	72	GE18LR	250	250	160	
18	G3/8A	9	22	33,5	14,0	12	29,5	27	32	69	GE18LR3/8	250	250	160	
18	G3/4A	15	32	38,0	14,5	16	30,0	32	32	112	GE18LR3/4	250	250	160	
22	G3/4A	18	32	40,0	16,5	16	33,0	32	36	103	GE22LR	160	160	100	
22	G1/2A	14	26	36,0	16,5	14	33,0	32	36	91	GE22LR1/2	160	160	100	
22	G1A	19	39	43,0	17,5	18	33,5	41	36	184	GE22LR1	160	160	100	
28	G1A	23	39	43,0	17,5	18	34,0	41	41	168	GE28LR	160	160	100	
28	G1/2A	14	26	39,0	17,5	14	34,0	41	41	141	GE28LR1/2	160	160	100	
28	G3/4A	18	32	41,0	17,5	16	34,0	41	41	156	GE28LR3/4	160	160	100	
28	G1 1/4A	24	50	46,0	18,3	20	35,0	50	41	314	GE28LR1 1/4	160	160	100	
35	G1 1/4A	30	49	48,0	17,5	20	39,0	50	50	276	GE35LR	160	160	100	
35	G1/2A	14	26	42,0	17,5	14	39,0	46	50	194	GE35LR1/2	160	160	100	
35	G3/4A	18	32	44,0	17,5	16	39,0	46	50	202	GE35LR3/4	160	160	100	
35	G1A	23	39	46,0	17,5	18	39,0	46	50	234	GE35LR1	160	160	100	
35	G1 1/2A	30	55	52,0	19,5	22	41,0	55	50	355	GE35LR1 1/2	160	160	100	
42	G1 1/2A	36	55	52,0	19,0	22	42,0	55	60	349	GE42LR	160	160	100	
42	G1A	23	39	48,0	19,0	18	42,0	55	60	327	GE42LR1	160	160	100	
42	G1 1/4A	30	49	50,0	19,0	20	42,0	55	60	336	GE42LR1 1/4	160	160	100	

¹⁾ Druckwert genannt – Artikel lieferbar

²⁾ L – Leichtes Bauteile

PN (bar) = PN (MPa) / 10

Lieferung ohne Mutter und Schneidring. Hinweise zum Bestellen von Komplettverschraubungen siehe Seite 17.

*Ergänzen Sie bitte die Bestellzeichen mit den Kennbuchstaben für das gewünschte Material.

Bestellzeichen-Ergänzungen		
Material	Kennbuchstaben Oberfläche und Material	Beispiel
Stahl, verzinkt, Cr(VI)-frei	CF	GE18LRCPF
Edelstahl	71	GE18LR71X
Messing	MS	GE18LRMSX

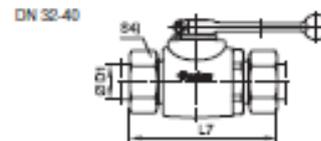
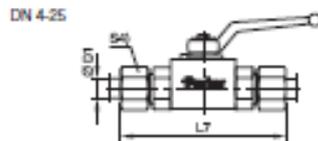
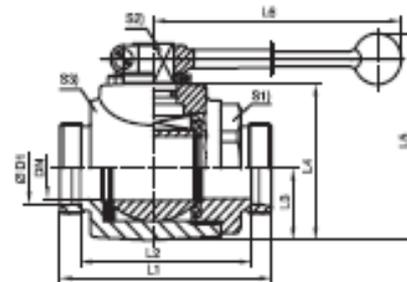
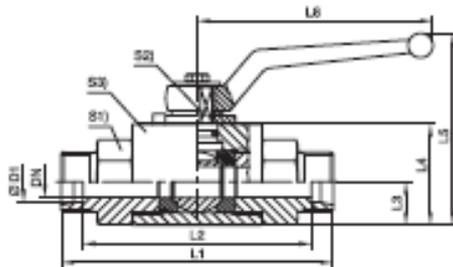


Ventile



KH 2/2-Wege Kugelhahn Stahl

EO 24° Anschluss / EO 24° Anschluss



Bau- Reihe	D1	DN	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	S1	S2	S3	S4	Gewicht g/1 St.	Bestellzeichen*	PN (bar) ¹⁾
L ²⁾	06	4	67	53	10,0	25	55,0	76	82	19	7	20	14	195	KH06LX	500
	08	6	67	53	10,0	25	55,0	76	82	19	7	20	17	190	KH08LX	500
	10	8	75	61	14,5	35	68,0	100	90	24	8	30	19	420	KH10LX	500
	12	10	75	61	14,5	35	68,0	100	90	24	8	30	22	410	KH12LX	500
	15	12	80	69	17,0	40	92,0	112	99	30	10	35	27	631	KH15LX	500
	18	16	82	67	20,0	45	105,0	166	99	36	11	45	32	850	KH18LX	400
	22	20	90	84	24,0	55	113,0	187	116	41	14	45	36	1210	KH22LX	400
	28	25	108	93	26,0	60	118,0	187	126	50	14	55	41	1750	KH28LX	400
	35	25	116	95	26,0	60	118,0	187	138	50	14	55	50	1820	KH35LXDN25	400
	35	32	121	100	36,5	80	180,5	320	143	60	17	73	50	3158	KH35LX	315
42	25	121	99	26,0	60	118,0	187	144	55	14	55	60	1940	KH42LXDN25	400	
42	40	118	96	42,5	90	190,5	320	141	70	17	85	60	3788	KH42LX	315	
S ²⁾	08	4	73	59	10,0	25	55,0	76	88	19	7	20	19	214	KH08SX	500
	10	6	73	58	10,0	25	55,0	76	90	19	7	20	22	220	KH10SX	500
	12	8	77	62	14,5	35	68,0	100	94	24	8	30	24	430	KH12SX	500
	14	10	81	65	14,5	35	68,0	100	100	24	8	30	27	440	KH14SX	500
	16	12	87	70	17,0	40	92,0	112	106	30	10	35	30	649	KH16SX	500
	20	16	90	80	20,0	45	105,0	166	112	36	11	45	36	900	KH20SX	400
	25	20	107	83	24,0	55	113,0	187	131	41	14	45	46	1290	KH25SX	400
	30	25	120	93	26,0	60	118,0	187	146	50	14	55	50	1880	KH30SX	400
	38	25	134	102	26,0	60	118,0	187	163	55	14	55	60	1950	KH38SXDN25	400
	38	32	127	95	36,5	80	180,5	320	156	60	17	73	60	3266	KH38SX	315

¹⁾ Druckwert genannt = Artikel lieferbar

²⁾ L = Leichtes Baureihe; ³⁾ S = Schwere Baureihe

PN (bar) = PN (MPa)
10

Lieferung ohne Mutter und Schneidring. Hinweis zum Bestellen von Komplettverschraubungen bzw. alternativen Dichtungsmaterialien siehe Seite 07.

*Standard-Oberfläche: brüniert
Für Cr(VI)-frei bitte CF ergänzen
Beispiel: KH06LXCFX

Bestellzeichen-Ergänzungen			
Material	Kernbuchstaben Oberfläche und Material	Beispiel	Standard-Dichtungswerkstoff (falls zusätzl. Kernbuchstaben erforderlich)
Stahl	DIN 50938-PE/A/T4	KH06LX	PCM / NBR





GE-R Gerader Einschraubstutzen

Zöll. Einschraubzapfen – Dichtkante (ISO 1179) / EO 24° Anschluss



Bau- Reihe	D1	T	D3	D4	L1	L2	L3	L4	S1	S2	Gewicht g/1 St.	Bestellzeichen*	PN (bar) ¹⁾		
													CF	71	MS
S ²⁾	06	G1/4A	4	18	32,0	13,0	12	28	19	17	35	GE06SR	400	400	250
	06	G1/8A	3	14	27,5	12,5	8	27	14	17	22	GE06SR1/8	400	400	
	06	G3/8A	4	22	34,5	15,5	12	30	22	17	57	GE06SR3/8	400	400	
	06	G1/2A	4	26	39,0	18,0	14	33	27	17	83	GE06SR1/2	400	400	
	06	G1/4A	5	18	34,0	15,0	12	30	19	19	41	GE06SR	400	400	250
	08	G3/8A	5	22	34,5	15,5	12	30	22	19	59	GE08SR3/8	400	400	
	08	G1/2A	5	26	39,0	18,0	14	33	27	19	100	GE08SR1/2	400	400	
	10	G3/8A	7	22	34,5	15,0	12	31	22	22	56	GE10SR	400	400	250
	10	G1/4A	5	18	34,0	14,5	12	31	19	22	43	GE10SR1/4	400	400	
	10	G1/2A	7	26	39,0	17,5	14	34	27	22	97	GE10SR1/2	400	400	
	12	G3/8A	8	22	36,5	17,0	12	33	22	24	62	GE12SR	400	400	250
	12	G1/4A	5	18	36,0	16,5	12	33	22	24	57	GE12SR1/4	400	400	
	12	G1/2A	8	26	39,0	17,5	14	34	27	24	57	GE12SR1/2	400	400	
	14	G1/2A	10	26	41,0	19,0	14	37	27	27	96	GE14SR	400	400	250
	14	G3/8A	8	22	38,5	18,5	12	36	24	27	74	GE14SR3/8	400	400	
	16	G1/2A	12	26	41,0	18,5	14	37	27	30	92	GE16SR	400	400	250
	16	G3/8A	8	22	38,5	18,0	12	36	27	30	83	GE16SR3/8	400	400	
	16	G3/4A	12	32	45,0	20,5	16	39	32	30	157	GE16SR3/4	400	400	
	20	G3/4A	16	32	47,0	20,5	16	42	32	36	151	GE20SR	400	400	250
	20	G1/2A	12	26	45,0	20,5	14	42	32	36	142	GE20SR1/2	400	400	
	20	G1A	16	39	51,0	22,5	18	44	41	36	273	GE20SR1	250	250	
	20	G11/4A	16	49	53,0	22,5	20	44	50	36	387	GE20SR11/4	160	160	
	25	G1A	20	39	53,0	23,0	18	47	41	46	267	GE25SR	250	250	160
	25	G3/4A	16	32	51,0	23,0	16	47	41	46	245	GE25SR3/4	250	250	
	25	G11/4A	20	49	55,0	23,0	20	47	50	46	422	GE25SR11/4	160	160	
	30	G11/4A	25	49	57,0	23,5	20	50	50	50	422	GE30SR	160	160	100
	30	G1A	20	39	55,0	23,5	18	50	46	50	337	GE30SR1	160	160	
	38	G11/2A	32	55	64,0	26,0	22	57	55	60	560	GE38SR	160	160	100
	38	G11/4A	25	49	62,0	26,0	20	57	55	60	578	GE38SR11/4	160	160	

¹⁾ Druckwert genannt = Artikel lieferbar

²⁾ S = Schwere Baureihe

PN (bar) = PN (MPa) / 10

Lieferung ohne Mutter und Schneidring. Hinweise zum Bestellen von Komplettverschraubungen siehe Seite 17.

Bestellzeichen-Ergänzungen		
Material	Kennbuchstaben Oberfläche und Material	Beispiel
Stahl, verzinkt, Cr(VI)-frei	CF	GE16SRCFX
Edelstahl	71	GE16SR71X
Messing	MS	GE16SRMSX

*Ergänzen Sie bitte die Bestellzeichen mit den Kennbuchstaben für das gewünschte Material.

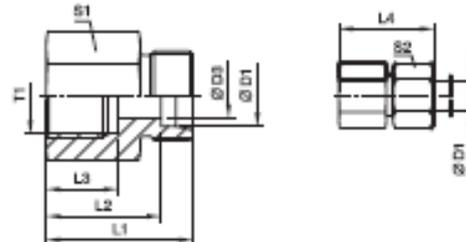


DIN-Verschraubungen



GAI-R Gerader Aufschraubstutzen

Zöll. Innengewinde (ISO 1179-1) / EO 24° Anschluss



Bau-Reihe	D1	T1	D3	L1	L2	L3	L4	S1	S2	Gewicht g/1 St.	Bestellzeichen*	PN (bar ¹⁾)		
												CF	71	MS
L ²⁾	06	G1/8	4	26,0	19,0	12,0	34	14	14	18	GAI06LR	315	315	200
	06	G1/4	4	31,0	24,0	17,0	30	19	14	30	GAI06LR1/4	315	315	200
	08	G1/4	6	31,0	24,0	17,0	30	19	17	30	GAI08LR	315	315	200
	08	G3/8	6	32,0	25,0	17,0	40	24	17	61	GAI08LR3/8	315	315	200
	08	G1/2	6	36,0	29,0	20,0	44	27	17	80	GAI08LR1/2	315	315	200
	10	G1/4	8	32,0	25,0	17,0	40	19	19	40	GAI10LR	315	315	200
	10	G3/8	8	33,0	26,0	17,0	41	24	19	63	GAI10LR3/8	315	315	200
	10	G1/2	8	37,0	30,0	20,0	45	27	19	81	GAI10LR1/2	315	315	200
	12	G3/8	10	33,0	26,0	17,0	41	24	22	64	GAI12LR	315	315	200
	12	G1/2	10	37,0	30,0	20,0	45	27	22	83	GAI12LR1/2	315	315	200
	15	G1/2	12	38,0	31,0	20,0	46	27	27	87	GAI15LR	315	315	200
	18	G1/2	15	38,0	30,5	20,0	47	27	32	89	GAI18LR	315	315	200
	18	G3/8	15	34,0	26,5	17,0	43	27	32	95	GAI18LR3/8	315	315	200
	22	G3/4	19	43,0	35,5	22,0	52	36	36	173	GAI22LR	160	160	100
	28	G1	24	45,5	38,0	24,5	55	41	41	211	GAI28LR	160	160	100
	35	G1 1/4	30	51,5	41,0	26,5	63	55	50	469	GAI35LR	160	160	100
	42	G1 1/2	36	53,5	42,5	28,5	65	60	60	540	GAI42LR	160	160	100
	S ²⁾	06	G1/4	4	33,0	26,0	17,0	41	19	17	43	GAI06SR	400	400
08		G1/4	5	33,0	26,0	17,0	41	19	19	47	GAI08SR	400	400	
10		G3/8	7	34,0	26,5	17,0	43	24	22	68	GAI10SR	400	400	
12		G3/8	8	34,0	26,5	17,0	43	24	24	71	GAI12SR	400	400	
12		G1/2	8	38,0	30,5	20,0	47	30	24	121	GAI12SR1/2	400	400	
14		G1/2	10	40,0	32,0	20,0	50	30	27	125	GAI14SR	400	400	
16		G1/2	12	40,0	31,5	20,0	50	30	30	126	GAI16SR	400	400	
20		G3/4	16	45,0	34,5	22,0	56	36	36	196	GAI20SR	315	315	
25		G1	20	49,5	37,5	24,5	62	41	46	246	GAI25SR	315	315	
30		G1 1/4	25	55,5	42,0	26,5	69	55	50	537	GAI30SR	315	315	
38		G1 1/2	32	59,5	43,5	28,5	74	60	60	649	GAI38SR	250	250	

1) Druckwert gerundet – Artikel lieferbar

2) L = Leichte Bauweise; S = Schwere Bauweise

$$\frac{PN \text{ (bar)}}{10} = PN \text{ (MPa)}$$

Lieferung ohne Mutter und Schneidring. Hinweise zum Bestellen von Komplettverschraubungen siehe Seite 17.

*Ergänzen Sie bitte die Bestellzeichen mit den Kennbuchstaben für das gewünschte Material.

Bestellzeichen-Ergänzungen		
Material	Kennbuchstaben Oberfläche und Material	Beispiel
Stahl, verzinkt, Cr(VI)-frei	CF	GAI16SR71X
Edelstahl	71	GAI16SR71X
Messing	MS	GAI16SRMSX



    	
Datenblatt: vertrieb@temperaturecontrol.de	
Mantelthermoelement ☎ 0771/89655 - 50	
MT2/G / MT2/S	
<p>Anwendung Unser Mantelthermoelement MT ist bestens geeignet für Temperaturmessungen für hohe Temperaturen. Die Mantelthermoelemente können in gasförmigen sowie in flüssigen Medien eingesetzt werden. Durch den speziellen Innenaufbau sind Mantelthermoelemente für Einsätze mit hohen Drücken und Vibrationen geeignet. Das Mantelthermoelement ist biegsam und verfügt über eine sehr schnelle Ansprechzeit. Mittels einer Klemmverschraubung können unsere MT verbaut werden.</p>	
Technische Daten	
Allgemein:	
Thermoelement:	NiCr-Ni, Typ K Klasse 1 Isoliert aufgebaut
Anschlussleitung:	Glasseide mit VA-Mantel Silikon
Länge Anschlussleitung:	ab 1Meter
Einzeladern:	grün/weiß 2x0,22m ² (grün + / weiß -)
Elektr. Anschluss:	Miniaturstecker Typ K Gelb
Material Fühlerhülse:	Inconel 600
Einbaulänge:	3x250mm und 3x400mm
Übergangshülse:	100,150,200,250,350 und 500
Schutzart:	IP65
Temperaturbereich	
Fühlerspitze:	-200°C...+1150°C
Prüfdruck:	Prüfung auf Dichtheit an der Messstelle bei 40 bar (Helium)
Ansprechzeit:	t _{0,5} ab 0,15s
Genauigkeit:	+/- 0,15 Kelvin bei 0°C
Messstrom:	Typ. <1mA
Isolationswiderstand:	Thermopaar gegen Mantel bei Raumtemperatur und Längen < 1m 200MΩm
Anschluss:	freie Enden mit Aderendhülsen versehen
 	
Montagehinweise	
Die Montage erfolgt in der Regel durch eine Klemmverschraubung.	
<p>HINWEIS: </p> <p>Der Einbau und die Montage darf nur durch eine ausgebildete Elektrofachkraft erfolgen. Die Fühler dürfen nicht in Verbindung mit Geräten verwendet werden, die bei Mensch, Tier und Sachanlagen direkt oder indirekt zu lebens- oder gesundheitssichernden Maßnahmen dienen oder durch deren Betrieb Gefahr für Mensch, Tier und Sachanlagen entstehen können.</p>	
www.sensorshop24.de	
Temperature Control GmbH Johann-Peter-Nebel-Strasse 10 78166 Donaueschingen	Tel. 0771/89655 -50 Fax 0771/89655-30 www.sensorshop24.de
Stand: 17.02.2009, Änderungen vorbehalten und können jederzeit ohne Ankündigung durchgeführt werden!	

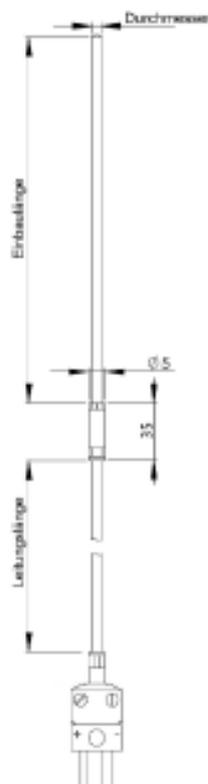
made in GermanyCE

vertrieb@temperaturecontrol.de
0771/89655 - 50

Normen und Standards

EMV:	EN60730-1 (2000) Störfestigkeit EN60730-1 (2000) Störaussendung
CE-Konformität:	89/336/EWG Elektromagnetische Verträglichkeit

Maßzeichnung



The drawing shows a vertical sensor probe. At the top, a dimension line indicates the diameter, labeled 'Durchmesser'. Below this, a long dimension line indicates the 'Einbaulänge' (installation length). A small diameter section is shown with a diameter of 0.5. Below that, a dimension of 35 is indicated. The bottom section is labeled 'Leitungslänge' (cable length) and shows a connector with two pins.

www.sensorshop24.de

<p>Temperature Control GmbH Johann-Peter-Hebel-Strasse 10 78166 Donaueschingen</p>	<p>Tel. 0771/89655 -50 Fax 0771/89655-30 www.sensorshop24.de</p>
--	---

Stand: 17.02.2009, Änderungen vorbehalten und können jederzeit ohne Ankündigung durchgeführt werden!

Gerade Stücke



Teilnr.

SS-2M0-R-3M

Beschreibung des Teils:

Reduzierschraubung, Edelstahl, 2 mm Rohrverschraubung - 3 mm Rohrstützen

Produktspezifikationen

Allgemein	
eClass (4.1)	37070710
eClass (6.0)	37-02-05-14
Körper-Material	Edelstahl 316
Reinigungsprozess	Standardreinigung und Verpackung (SC-10)
Schottausführung	Kein Schott
UNSPSC (11.0501)	40142615
UNSPSC (4.03)	40141720
UNSPSC (SWG01)	40141720
Verbindung Größe 1	2 mm
Verbindung Größe 2	3 mm
Verbindung Typ 1	Rohrverschraubung von Swagelok®
Verbindung Typ 2	Rohradapter von Swagelok®

! Der Kataloginhalt muss ganz durchgelesen werden, um sicherzustellen, dass der Systementwickler und der Benutzer eine sichere Produktauswahl treffen. Bei der Auswahl von Produkten muss die gesamte Systemanordnung berücksichtigt werden, um eine sichere, störungsfreie Funktion zu gewährleisten. Der Systemdesigner und der Benutzer sind für Funktion, Materialverträglichkeit, entsprechende Leistungsdaten und Einsatzgrenzen sowie für die vorschriftsmäßige Handhabung, den Betrieb und die Wartung verantwortlich.

⚠ Achtung: Verwenden Sie niemals Kombinationen mit Hahnkomponenten anderer Hersteller, und tauschen Sie keine Hahnkomponenten gegen Teile anderer Hersteller aus.

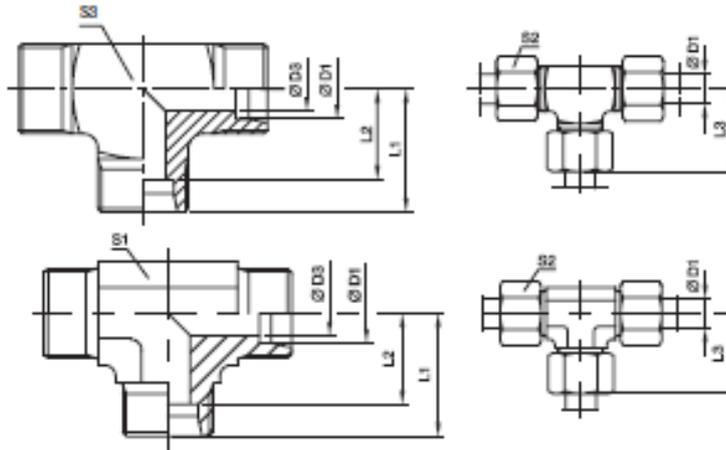
© 2014 Swagelok Company



T T-Stutzen

EO 24° Anschluss

Profilkörper Stahl und Messing (S3)
 Reihe LL 4-10 mm D1
 Reihe L 6 + 8 mm D1
 Reihe S 6 mm D1



Bau- Reihe	D1	D3	L1	L2	L3	S1	S2	S3	Gewicht g/1 St.	Bestellzeichen*	PN (bar) ¹⁾		
											CF	71	MS
LL ²⁾	04	3,0	15	11,0	21	9	10	9	19	T04LL	100	100	63
	06	4,5	15	9,5	21	9	12	11	20	T06LL	100	100	63
	08	6,0	17	11,5	23	12	14	12	27	T08LL	100	100	63
	10	8,0	18	12,5	24	12	17	14	39	T10LL	100	100	63
	12	10,0	21	15,0	27	14	19		45	T12LL	100	100	63
L ³⁾	06	4,0	19	12,0	27	12	14	12	37	T06L	500	315	200
	08	6,0	21	14,0	29	12	17	14	53	T08L	500	315	200
	10	8,0	22	15,0	30	14	19		48	T10L	500	315	200
	12	10,0	24	17,0	32	17	22		65	T12L	400	315	200
	15	12,0	28	21,0	36	19	27		106	T15L	400	315	200
	18	15,0	31	23,5	40	24	32		179	T18L	400	315	200
	22	19,0	35	27,5	44	27	36		225	T22L	250	160	100
	28	24,0	38	30,5	47	36	41		396	T28L	250	160	100
	35	30,0	45	34,5	56	41	50		567	T35L	250	160	100
	42	36,0	51	40,0	63	50	60		905	T42L	250	160	100
	S ⁴⁾	06	4,0	23	16,0	31	12	17	14	68	T06S	800	630
08		5,0	24	17,0	32	14	19		70	T08S	800	630	400
10		7,0	25	17,5	34	17	22		91	T10S	800	630	400
12		8,0	29	21,5	38	17	24		117	T12S	630	630	400
14		10,0	30	22,0	40	19	27		136	T14S	630	630	400
16		12,0	33	24,5	43	24	30		202	T16S	630	400	250
20		16,0	37	26,5	48	27	36		289	T20S	420	400	250
25		20,0	42	30,0	54	36	46		545	T25S	420	400	250
30		25,0	49	35,5	62	41	50		758	T30S	420	400	250
38		32,0	57	41,0	72	50	60		1264	T38S	420	315	200

1) Druckwert genannt = Artikel lieferbar
 2) LL = Sehr leichte Baureihe; L = Leichte Baureihe;
 3) L = Leichte Baureihe;
 4) S = Schwere Baureihe

PN (bar)
 10 = PN (MPa)

Lieferung ohne Mutter und Schneidring. Hinweise zum Bestellen von Komplettverschraubungen siehe Seite 17.

*Ergänzen Sie bitte die Bestellzeichen mit den Kennbuchstaben für das gewünschte Material.

Bestellzeichen-Ergänzungen		
Material	Kennbuchstaben Oberfläche und Material	Beispiel
Stahl, verzinkt, Cr(VI)-frei	CF	T16SCFK
Edelstahl	71	T16S71X
Messing	MS	T16SM5X



**Sicherheitsdatenblatt gemäß Verordnung (EG) Nr. 1907/2006
(geändert durch Verordnung (EU) Nr. 453/2010)**



Handelsname: SilOil P20.275.50 / VK-Nr. 6157, 6158

Erstellt am: 30.03.2013
Gültig ab: Dezember 2012

Huber-Version: 1
Ersetzte Version: 22.06.2012

1. Bezeichnung des Stoffs bzw. des Gemischs und des Unternehmens

1.1 Produktidentifikator

Stoffname / Handelsname: **SilOil P20.275.50 / VK-Nr. 6157, 6158**
Bezeichnung(ein) Klassifizierung: Polydimethylsiloxan
EG-Nr.: —
CAS-Nr.: —
REACH-Registrierungsnr.: —
Andere Bezeichnungen: —

1.2 Relevante identifizierte Verwendungen des Stoffs oder Gemischs und Verwendungen, von denen abgeraten wird

Verwendung des Stoffs/des Gemischs
Wärmeübertragung.

Verwendungen, von denen abgeraten wird.
Keine bekannt.

1.3 Einzelheiten zum Lieferanten, der das Sicherheitsdatenblatt bereitstellt

Lieferant:
Peter HUBER Kältemaschinenbau GmbH

Straße/Postfach:
Werner-von-Siemens-Str. 1

Nat.-Kenn./PLZ/Ort:
DE-77656 Offenburg

Kontaktstelle für technische Information
Technical Support
Tel.: +49 (0) 781 9603-244
Fax: +49 (0) 781/57211
Email: info@huber-online.com

1.4 Notrufnummer

Telefon: +49 (0)2751 5240
Telefax: +49 (0)2751 5041
Telefon: +49 (0) 61 31 1924 0 (Giftinfo Mainz, 24 h in Deutsch und Englisch)

2. Mögliche Gefahren

2.1 Einstufung des Stoffs oder Gemischs

Einstufung gemäß Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 [CLP]
Keine.

Einstufung gemäß Richtlinie 67/548/EWG oder 1999/45/EG
Keine.

Zusätzliche Hinweise
—

2.2 Kennzeichnungselemente

Kennzeichnungselemente nach Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 (Stoffe) /Richtlinie 1999/45/EG (Gemische)
Piktogramm / Gefahrensymbol: Keine.

Signalwort / Gefahrenbezeichnung: Keine.

Gefahrenbestimmende Komponenten für die Etikettierung enthält:

Seite : 1 / 7

11. Literaturverzeichnis

- Brökelmann, B. (2010). *Die Spur des Öls*. Berlin, Deutschland: Osburg Verlag.
- Buchner, H. (1982). *Energiespeicherung in Metallhydriden*. Wien: Springer-Verlag.
- Hydropole-The Swiss Hydrogen Association. (2013). *hydropole.ch*. Abgerufen am 07. April 2014 von <http://hydropole.ch/de/hydrogen/h2storage/>
- Klein, H.-P. (2007). *Betriebsverhalten einer zweistufigen Metallhydrid-Sorptionsanlage zur Kälteerzeugung*. Stuttgart: Institut für Kernenergetik und Energiesysteme der Universität Stuttgart.
- Pohlmann, C., Röntzsch, L., Heubner, F., Weißgräber, T., & Kieback, B. (2013). Solid-state hydrogen storage in Hydralloy-graphite composites. (E. B.V., Hrsg.) *Journal of Power Sources* 231, S. 97-105.
- Sattler, K. (2001). *Thermische Trennverfahren Grundlagen, Auslegung, Apparate* (dritte und überarbeitete Auflage Ausg.). Mannheim: WILEY-VCH Verlag GmbH.
- Sutiono, A. (2011). *Modellierung und Simulation einer thermochemischen Kältemaschine auf Metallhydridbasis*. Hamburg-Harburg: Technischen Universität Hamburg-Harburg.
- Ullrich, S. (2013). *Entwurf eines Wasserstoffspeichers in Form eines Metallhydridspeicherverbunds*. Wien: Technische Universität Wien, Institut E302.
- Universität Stuttgart-Institut für Kernenergie und Energiesysteme. (25. Oktober 2010). *Universität Stuttgart-Institut für Kernenergie und Energiesysteme*. Abgerufen am 11. April 2014 von http://www.ike.uni-stuttgart.de/institut/messung_konzentration.html
- Vladimir A. Blagojevic, D. M. (2012). *Hydrogen Economy: Modern Concepts, Challenges and Perspectives*. Belgrad: INTECH.
- Wang, C., Wang, X., Lei, Y., Chen, C., & Wang, Q. (1996). *The Hydriding Kinetics of MINi5-I*. Development of the Model. *Int. J. Hydrogen Energy* 21.
- Züttel, A. (2004). *Hydrogen storage methods*. Fribourg: Springer Verlag.