

Inhaltsverzeichnis

1	LNG und dessen Thermodynamik	1
1.1	LNG	1
1.1.1	Was ist LNG?	1
1.1.2	Biogas – Bio-LNG	2
1.1.3	Entstehung des Erdgases	5
1.2	Bedeutung des LNG	5
1.3	Rohrleitungsgas und dessen Bedeutung	9
	Literatur	11
2	Die wichtigsten thermodynamischen Prozesse in der Herstellung, dem Transport und der Lagerung von LNG	13
2.1	Adiabate Kühlung	13
2.2	Mischkondensation	17
2.3	Entspannungsenergie, der Joule-Thomson-Effekt	20
2.4	Kompressionsenergie	21
2.5	Der kritische Punkt	22
2.6	Das thermodynamische Gleichgewicht	24
2.7	Die Isobare unterhalb des kritischen Punktes	25
2.8	Die Verflüssigung von LNG	27
	Literatur	29
3	LNG – von der Quelle zum Endkunden	31
3.1	Verflüssigung an der Quelle und Transport in den Hub	31
3.2	LNG-Transport zum Endkunden	36
3.2.1	Der LNG-Straßentankwagen	37
3.3	LNG-Betankung beim Endkunden	42
3.4	Geschlossenes und offenes Schlauchsystem	43
3.4.1	Das offene Schlauchsystem	44
3.4.2	Das geschlossene Schlauchsystem	46

3.5	Betanken von oben	47
3.6	Betanken von unten	50
3.7	Das Betanken bei Aufrechterhaltung des Prozessdrucks	51
	Literatur.	52
4	Betriebsführung	53
4.1	Die kontinuierliche Betriebsführung	53
4.2	Die diskontinuierliche Betriebsführung	54
5	LNG-Anwendungen	57
5.1	LNG-Versorgungsanlagen	60
5.1.1	Funktionsprinzip Modul 1	60
5.1.2	Funktionsprinzip Modul 2	62
5.1.3	Funktionsprinzip Modul 3	64
5.1.4	Funktionsprinzip Netzeinspeisung/Netzstabilisierung.	65
5.1.5	Mobile Notversorgung.	67
5.2	Möglichkeiten der Gaskompression.	68
5.2.1	Gaskomprimierung mit Kompressor, Kryopumpe und Liqui-Flow-Verfahren	69
5.2.2	Gaskomprimierung mit Kryohochdruckkolbenpumpe	75
5.2.3	Gaskompression mit dem Liqui-Flow-Verfahren	84
5.3	CNG-Tankstellen	88
5.3.1	Erdgastankstellen mit Kompressor	88
5.3.2	Erdgastankstelle mit Kryopumpe.	89
5.3.3	Erdgastankstellen mit Liqui-Flow-Verfahren.	90
5.4	Satelliten-Erdgastankstelle.	93
5.4.1	Füllen von Erdgasflaschen, Erdgasbündel und Erdgastrailer.	96
5.4.2	Energiebedarf der Satelliten-Erdgastankstelle.	97
5.5	Bedeutung der Haltedruckhöhe im Liqui-Flow-Verfahren und für Hochdruckkolbenpumpen	98
	Literatur.	99
6	Die thermodynamische Betrachtung des vakuumisolierten Tiefemperaturtanks.	101
6.1	Allgemeines zur thermodynamischen Funktion eines Tanks.	101
6.1.1	Die thermodynamische Funktion des Pumpentanks	105
6.1.2	Die thermodynamische Funktion des Kältetanks	108
6.1.3	Die thermodynamische Funktion des Kaltvergasers	109
6.2	Die konstruktive Beschreibung des vakuumisolierten Tanks.	110
6.2.1	Allgemeines	110
6.2.2	Tankbauarten	113
6.2.3	Bedeutung des Tankdrucks	117
	Literatur.	119

7	Sensorik in einer LNG-Anlage	121
7.1	Füllstandsmessgeräte	123
7.1.1	Differenzdruckfüllstandsmessgerät	123
7.1.2	Gravimetrische Füllstandsmessung	127
7.2	Temperaturmessung	128
7.3	Massendurchflussmessgeräte	128
7.3.1	Coriolis-Messgerät	129
7.3.2	Massendurchfluss mittels Druckverlustmessung	130
8	Ausrüstungen einer LNG-Anlage	131
8.1	Ventile im tiefkalten Flüssigbereich und in der Gasphase	131
8.2	Rückschlagventil	133
8.3	Gasdruckregler	135
8.3.1	Gasdruckregler, einfacher	138
8.3.2	Gasdruckregler mit Doppelfunktion	138
8.4	Luftverdampfer	140
8.5	Gasvorwärmer in KWK-Anlagen oder in Anlagen mit Gasbrenner	142
8.6	Odorieranlagen und Odorierung	143
9	Sicherheitseinrichtungen	147
9.1	Sicherheitsventile	147
9.1.1	Sicherheitsventile (SV) in der Anlage	147
9.1.2	Sicherheitswechselventil des Tanks	152
9.1.3	Integrierte Sicherheitsabsperrarmatur in Gasdruckregelgeräten	154
9.2	Prozessüberdruckventil am Tank	155
9.3	Sicherheitsabsperrarmatur des Tanks	156
9.4	Einstellung der Öffnungsdrücke der Sicherheitseinrichtungen am Tank	159
9.5	Überfüllsicherung	160
9.6	Überfüllsicherung	161
9.6.1	Überfüllsicherung durch Gasdruckaufbau	161
9.6.2	Überfüllsicherung durch Gasdruckaufbau als Nachrüstung	163
9.7	Abgasführung	164
9.8	Gaswarnanlagen	165
9.9	Peilrohre am LNG-Tank	165
10	Konstruktive Beschreibung der Schlauchkupplungen zur Tankbefüllung	167
10.1	Kuppeln offener Systeme	168
10.2	Kuppeln geschlossener Systeme	168
10.2.1	Kupplungen mit Totraum	169
10.2.2	Kupplungen ohne Totraum	170

11 Isolierungen	177
11.1 Feststoffisolierung	178
11.1.1 Vakuumpaneele	178
11.1.2 Matten mit Faserstruktur	181
11.1.3 Matten aus Kautschukverbindungen	182
11.1.4 Foamglas®-Isolierung	183
11.1.5 Isolierungen aus Polyisocyanurat (PIR)	184
11.2 Vakuumisolierungen	185
11.2.1 Vakuumisolierungen für Behälter und Rohre	185
11.2.2 Vakuumisolierungen für Armaturen	188
11.2.3 Vakuumisolierte Schläuche	188
11.2.4 Wartung und Kontrolle	188
Literatur	189
12 Elektrische Erdungen	191
12.1 Schutzerdung der Anlage	192
12.2 Erdung zur Befüllung	192
12.3 Funktionserdung im laufenden Betrieb	193
13 Markante Prozessstörungen	195
13.1 Luft im Schlauch	195
13.2 Gasblasen in der Flüssigkeitsleitung	196
13.3 Vereisungen	197
13.4 Produkt fließt nicht in die Pumpe bz. in die Druckschleuse einer Liqui-Flow-Anlage	197
13.5 Kryopumpe fördert nicht	198
14 Anlagenplanung	199
14.1 Erdgasversorgungsanlage	199
14.2 Erdgastankstellen	200
14.2.1 Montage, Errichtung und Wartung	202
14.3 Ausführung von Rohrverbindungen und Armaturenanschlüsse	203
14.4 Entscheidungshilfe zur Auswahl der Anlagengröße einer Liqui-Flow-Tankstelle	204
14.5 Kosten einer Anlage	206
14.5.1 Allgemeine Hinweise	206
14.5.2 Investitions- oder Fixkosten	206
14.5.3 Variable Kosten	207
14.5.4 Betriebskosten	208
Literatur	210

15 Inbetriebnahme und Außerbetriebnahme einer LNG-Anlage 211

15.1 Vorbereitende Maßnahmen zur Inbetriebnahme 211

15.2 Befüllung und Anfahren der Anlage 212

15.3 Außerbetriebnahme einer LNG-Anlage. 214

16 Schulungsempfehlung. 217

16.1 Themenempfehlung für Schulungsthemen für den Anlagenbetreiber . . . 218

16.2 Themenempfehlung für Personenschutz des Kunden an der Tankstelle . . . 219

16.3 Themenempfehlung für Schulungsthemen für das Betriebspersonal
vor Ort 220

16.4 Themenempfehlung für Schulungsthemen für das Service- und
Reparaturpersonal 220

16.5 Einmann-Arbeitsplatz 221

Literatur. 223

17 Besondere Hinweise und Vorsichtsmaßnahmen. 225

17.1 Arbeitsschutzkleidung 225

17.2 Berührung und Hautkontakt mit flüssigkeitsführenden Leitungen 226

17.3 Löschen einer Erdgasflamme. 227

17.4 Schadensszenarien 227

17.5 Austretendes LNG oder Gas 228

17.6 Beeinflussung der Umwelt. 229

17.7 Eingeschlossenes LNG 229

Literatur. 229

Regelwerke, Links. 231

Weiterführende Hinweise. 233

Synonyme. 235

Stichwortverzeichnis. 239