



Heinz K. J. Lettnin

Tauchen mit Mischgas

Theorie, Technik, Anwendung

Zweite Auflage

Mit 104 Abbildungen

Springer-Verlag
Berlin Heidelberg GmbH

Dr.-Ing. Heinz K.J.Lettnin
Wilhelmsburger Straße 1
21502 Geesthacht

Die Einbandgrafik wurde von The Image Bank® Bildagentur GmbH, Frankfurt/M,
zur Verfügung gestellt.

ISBN 978-3-662-10228-2 ISBN 978-3-662-10227-5 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-10227-5

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Lettnin, Heinz K.J.:

Tauchen mit Mischgas: Theorie, Technik, Anwendung / Heinz K.J. Lettnin

2. Auflage. -

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1991 and 1994

Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1994

Softcover reprint of the hardcover 2nd edition 1994

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Herstellung: PRODUserv Springer Produktions-Gesellschaft, Berlin

Satz: Reproduktionsfertige Vorlage des Autors

Einbandgestaltung: Struve & Partner, Heidelberg

SPIN 10466020 68/3020-5 4 3 2 1 0 Gedruckt auf säurefreiem Papier

Vorwort zur 2. Auflage

Das Tauchen mit Mischgas hat nichts von seiner Aktualität verloren. Das Gegenteil ist der Fall, wie der Ende 1992 erfolgreich durchgeführte Rekordtauchgang auf 701 m zeigt. Französischen Tauchern gelang im November 1992 in Marseille mit einem Atemgasgemisch aus Sauerstoff, Helium und Wasserstoff den bisherigen amerikanischen Rekord für bemannte Tauchgänge von 686 m auf 701 m Tiefe zu erweitern.

Mit dieser zweiten Auflage werden neuere Entwicklungen berücksichtigt, wobei Gliederung und Aufbau der ersten Auflage beibehalten wurden, jedoch der Inhalt aktualisiert und z.T. erweitert wurde.

Insbesondere wurden die seit 1993 verfügbaren französischen Vorschriften über Arbeiten in hyperbarer Umgebung mit eingearbeitet, jedoch nur der Teil, der Taucherarbeiten berücksichtigt. Die Vorschriften behandeln neben den Taucherarbeiten sowohl Druckkammereinsätze zu medizinischen Zwecken als auch Druckluftarbeiten.

Damit liegt jetzt in der zweiten Auflage eine aktualisierte Fassung vor, die Tauchpraktikern und Kammerfahrpersonal, aber auch tauchtechnisch interessierten Laien eine umfassende Einführung in das heutige Mischgastauchen gibt.

Geesthacht, März 1994

H.K.J. Lettnin

Vorwort

Die weltweite Nutzung mariner Ressourcen, insbesondere die Nutzung von Öl- und Gaslagerstätten im Meer, wären ohne die gewaltigen Fortschritte in der Tauchtechnik nicht möglich gewesen. Der Einsatz von Mischgasen und modernsten Tauchtechniken hat dem Menschen unter Wasser ganz neue Dimensionen eröffnet. Heute sind mehrwöchige Taucheinsätze bis zu Tiefen von 300 m als Standard anzusehen.

Da die einschlägige Literatur zum Mischgas/Sättigungstauchen, soweit sie frei verfügbar ist, vorwiegend anglo-amerikanischen Ursprungs ist, soll mit dieser Arbeit versucht werden, dem deutschsprachigen Leserkreis eine umfassende Darstellung der heute bestehenden Tauchtechniken zu geben. Aus Gründen der Systematik sind daher auch die Drucklufttauchverfahren mit eingeschlossen worden.

Das Buch wendet sich sowohl an Tauchpraktiker, Meerestechniker und Kammerfahrpersonal als auch an den tauchtechnisch interessierten Laien.

Für Praktiker sind vielleicht Verfahren für Einsätze über 50 m Wassertiefe, Methoden zur Verlängerung der Tauchzeit sowie Taucheinsätze in kontaminierten Gewässern und in Medien dichter als Wasser besonders interessant. Darüberhinaus werden tauchtechnische Grundlagen und Aufgaben, des Gasmanagements behandelt und durch zahlreiche Beispiele aus der Praxis ergänzt. Diese praxisorientierten Aufgaben sollen helfen, das Verständnis für die physikalischen Zusammenhänge zu erleichtern.

Breiten Raum nehmen naturgemäß Dekompressions- und Behandlungsverfahren ein. Obwohl diese Verfahren weitgehend durch medizinisch-physiologische Überlegungen bestimmt werden, wurden hier bewußt medizinische Fragen ausgeklammert und mehr die technischen Verfahrensweisen in den Vordergrund gestellt. Es gibt eine umfassende Fachliteratur zur Tauchmedizin, auf die hier verwiesen wird.

Den Abschluß bilden Fragen der Sicherheit und der Sicherheitsgesetzgebung sowie Arbeitstechniken und Arbeitsbedingungen Offshore.

Für weitere Fragen wird auf die Referenzliste verwiesen, in der weiterführende Literatur zu den behandelten Themen zusammengestellt ist.

Diese Arbeit entstand im Rahmen der Ausbildungstätigkeit von Tauch- und Kammerfahrpersonal des GKSS-Forschungszentrums Geesthacht. Der Autor dankt dem Forschungszentrum, insbesondere dem Institut für Anlagentechnik, für die Voraussetzungen und die Unterstützung zu diesem Buch.

Geesthacht, Juli 1990

H.K. J. Lettnin

Inhaltsverzeichnis

1	<i>Einleitung</i>	1
2	<i>Gesetzliche Maßeinheiten</i>	4
2.1	Abgeleitete Einheiten	4
2.2	Umrechnung in amerikanische Maßeinheiten	7
3	<i>Eigenschaften des Wassers</i>	9
3.1	Thermodynamische Eigenschaften des Wassers	9
3.2	Akustische Eigenschaften des Wassers	12
3.3	Optische Eigenschaften des Wassers	13
4	<i>Eigenschaften der Luft</i>	16
5	<i>Tauchgase und ihre Eigenschaften</i>	19
5.1	Einführung	19
5.2	Sauerstoff	20
5.3	Stickstoff	25
5.4	Luft und Nitrox	27
5.5	Kohlendioxid	27
5.6	Helium	29
5.7	Wasserstoff	32
6	<i>Gasgesetze</i>	34
6.1	Ideales Gasgesetz	34
6.2	Abgeleitete Gasgesetze.	35
6.2.1	Gasgesetz von Boyle–Mariotte	35
6.2.2	Gasgesetz von Gay–Lussac	36

6.2.3	Partialdruckgesetz	36
6.2.4	Gesetz von Henry	38
6.3	Anwendungsbeispiele	39
7	<i>Gasmanagement</i>	46
7.1	Einführung	46
7.2	Gesetzliche Grundlagen beim Umgang mit Druckgasen	46
7.3	Kennzeichnung von Druckgasbehältern	47
7.4	Reinheit von Gasen	48
7.5	Gasanalyse	51
7.5.1	Einführung	51
7.5.2	Analysegeräte	52
7.6	Sauerstoffhandhabung und Komponentenreinigung	54
7.7	Physikalisch-mathematische Grundlagen des Gasmanagements	57
7.7.1	Volumenbestimmungen	57
7.7.2	Gasbedarfsrechnungen	58
7.7.3	Berechnungsbeispiele	63
7.8	Mischen von Gasen	70
7.8.1	Einführung	70
7.8.2	Mischformeln	72
7.8.3	Berechnungsbeispiele	76
7.9	Gasbedarfsrechnung für ein komplettes Tauchsystem	78
8	<i>Grundlagen der Hydrostatik</i>	88
8.1	Wasserdruck	88
8.2	Ausströmende Flüssigkeiten	91
8.3	Das Archimedische Prinzip	93
8.4	Anwendungsbeispiele	95
9	<i>Tauchverfahren</i>	102
9.1	Einführung	102
9.2	1 bar-Tauchsysteme (ADS)	105
9.3	Autonomes Tauchen	106
9.3.1	Einführung	106
9.3.2	Technisches System	108

9.3.3	Tauchgase	111
9.4	Oberflächenversorgtes Tauchen	112
9.4.1	Einführung	112
9.4.2	Technisches System	113
9.4.3	Tauchgase	115
9.5	Einsatz von Tauchglocken	116
9.6	Nitroxtauchen	121
9.6.1	Einführung	121
9.6.2	Technisches System	124
9.7	Mischgastauchen	124
9.7.1	Einführung	124
9.7.2	Technisches System	125
9.8	Sättigungstauchen	126
9.8.1	Einführung	126
9.8.2	Technisches System	130
9.8.3	Tauchgase	136
10	<i>Tauchen in kontaminierten Gewässern</i>	139
10.1	Einführung	139
10.2	Thermische Kontaminationen	140
10.3	Biologische Kontaminationen	141
10.4	Chemische Kontaminationen	142
10.5	Radiologische Kontaminationen	143
10.5.1	Radioaktivität	143
10.5.2	Radiologische Einheiten und Grenzwerte	147
10.5.3	Radiologische Quellen und ihre Abschirmung	148
11	<i>Kompression und Dekompression</i>	152
11.1	Einführung	152
11.2	Kompression	153
11.3	Physikalisch-physiologische Grundlagen der Dekompression	156
11.3.1	Mathematische Modelle des Gastransports	156
11.3.2	Auf- und Entsättigungsprozesse	158
11.3.3	Dekompressionskriterien	163
11.3.4	Bestimmung von Austausch Tabellen	165
11.3.5	Gasaustausch ungelöster Inertgase	168

11.4	Dekompressionen bei Druckluft/Nitrox Tauchverfahren	169
11.4.1	Normale Druckluft-Dekompression	169
11.4.2	Dekompression bei Wiederholungstauchgängen	171
11.4.3	Druckluftdekompression im Wasser unter Einsatz von Sauerstoff	173
11.4.4	Oberflächendekompression mit Sauerstoff Druckluft	174
11.4.5	Dekompression bei Verwendung von Nitrox	176
11.4.6	Dekompression beim Tauchen in Medien dichter als Wasser	178
11.5	Dekompressionen bei Einsatz von Mischgasen	179
11.5.1	Einführung	179
11.5.2	Dekompression beim autonomen Mischgastauchen	179
11.5.3	Dekompressionen beim schlauchversorgten Mischgastauchen	180
11.5.4	Beispielrechnungen für schlauchversorgte Mischgastauchverfahren	185
11.5.5	Dekompression bei Einsatz von Tauchlocken (bell bounce)	191
11.5.6	Notfallprozeduren beim Mischgastauchen	195
11.6	Dekompressionsverfahren beim Sättigungstauchen	198
12	<i>Dekompressionskrankheiten und ihre Behandlung</i>	204
12.1	Taucherkrankheiten	204
12.2	Dekompressionskrankheiten	207
12.3	Therapeutische Rekompensation und Behandlung	213
12.3.1	Allgemeines	213
12.3.2	Behandlung von Dekompressionskrankheiten nach Druckluft/Nitrox Tauchoperationen	215
12.3.3	Behandlung von Dekompressionskrankheiten nach Mischgaseinsätzen	219
12.4	Isobare Gegendiffusion	221
12.4.1	Einführung und Definitionen	221
12.4.2	Mathematische und physikalische Modelle	223
12.4.3	Praktische Anwendungen der isobaren Gegendiffusion	225

13	<i>Sicherheit und Sicherheitsgesetze</i>	229
13.1	Einführung	229
13.2	Tauchbezogene deutsche Rechtsgrundlagen	232
13.3	Tauchbezogene ausländische Rechtsgrundlagen	235
13.4	Verantwortlichkeiten im Offshore-Bereich	237
13.5	Sicherheit beim Tauchen	241
13.6	Personalqualifikation und Arbeitsbedingungen	242
13.6.1	Personalqualifikation	242
13.6.2	Tauchgangsabwicklung und Arbeitsbedingungen	246
13.6.3	Vergütungsrahmen	248
14	<i>Taucheraktivitäten Offshore</i>	251
14.1	Einführung	251
14.2	Übersicht über Unterwasserarbeitstechniken	253
14.2.1	Reinigungs/Konservierungsarbeiten	254
14.2.2	Bergungsarbeiten	255
14.2.3	Trennverfahren	257
14.2.4	Fügearbeiten	261
14.2.5	Ingenieurbau unter Wasser	265
14.3	Übersicht über Unterwasserinspektionstechniken	266
14.3.1	Übersichtsinspektionen	266
14.3.2	Zerstörungsfreie (NDT) Inspektionen	268
14.4	Übersicht über Taucheraktivitäten im Offshore-Bereich	271
14.4.1	Einführung	271
14.4.2	Exploration	271
14.4.3	Produktion	274
14.4.4	Unterwasserinspektionen	279
14.4.5	Offshore-Unfälle	282
	<i>Literatur</i>	285
	<i>Sachregister</i>	297