

201-033

DGUV Information 201-033



Tauchen mit Mischgas

Handlungsanleitung

kommmit**mensch** ist die bundesweite Kampagne der gesetzlichen Unfallversicherung in Deutschland. Sie will Unternehmen und Bildungseinrichtungen dabei unterstützen eine Präventionskultur zu entwickeln, in der Sicherheit und Gesundheit Grundlage allen Handelns sind. Weitere Informationen unter www.kommmitmensch.de

Impressum

Herausgegeben von:

Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung e.V. (DGUV)

Glinkastraße 40
10117 Berlin
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)
Fax: 030 13001-9876
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de

Sachgebiet Tiefbau des Fachbereichs Bauwesen der DGUV

Ausgabe: September 2020

DGUV Information 201-033
zu beziehen bei Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger oder unter
www.dguv.de/publikationen Webcode: p201033

Bildnachweis

Titelfoto © BG Bau

Tauchen mit Mischgas

Handlungsanleitung

Inhaltsverzeichnis

| | Seite |
|---|-----------|
| Vorbemerkung | 5 |
| 1 Anwendungsbereich | 6 |
| 2 Begriffsbestimmungen | 7 |
| 3 Auswahl der geeigneten Tauchausrüstung | 15 |
| 4 Betrieb | 18 |
| 5 Prüfung | 21 |
| 6 Grundsätze Verwendung von Mischgas | 23 |
| 7 Tauchgangsberechnung/Verwendung der Tauchtabelle | 25 |
| Anhang 1 | 26 |
| Anhang 2 | 38 |

Vorbemerkung

Die Inhalte der DGUV Information 201-033 wurden entsprechend den Neuerungen im staatlichen Regelwerk und im Regelwerk der Unfallversicherungsträger aktualisiert.

Diese DGUV Information gibt erläuternde Hinweise zu den Regelungen des Arbeitsschutzgesetzes (ArbSchG), der Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV), der Baustellenverordnung (BaustellV), der Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) und deren technischen Regeln (ASR), den Regelungen der Unfallversicherungsträger und zu einschlägigen Normen, die bei der Ausführung der Arbeiten sowie im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen sind.

DGUV Informationen richten sich in erster Linie an Unternehmer und Unternehmerinnen und sollen Hilfestellung bei der Umsetzung von Pflichten aus staatlichen Arbeitsschutzvorschriften und Unfallverhütungsvorschriften geben sowie Wege aufzeigen, wie Arbeitsunfälle, Berufskrankheiten und arbeitsbedingte Gesundheitsgefahren vermieden werden können.

1 Anwendungsbereich

- 1.1** Diese DGUV Information findet Anwendung auf von der Oberfläche ausgeführte Tauchgänge mit Mischgas.

Für Sättigungstauchgänge sind weitergehende Forderungen zu berücksichtigen.

- 1.2** Das Tauchen mit Mischgas stellt eine Abweichung von der DGUV Vorschrift 40 „Taucherarbeiten“ dar und bedarf einer Genehmigung durch den zuständigen Unfallversicherungsträger.

- 1.3** Bei der Umsetzung der DGUV Information ist die Norm EN 12021 „Atemschutzgeräte – Druckgase für Atemschutzgeräte“ zu berücksichtigen.

- 1.4** Diese DGUV Information findet keine Anwendung auf Notatemgeräte, z. B. Tauchretter.

2 Begriffsbestimmungen

Im Sinne dieser DGUV Information werden folgende Begriffe bestimmt:

2.1 Mischgas

Mischgas ist ein Atemgas mit einer von der natürlichen Luft abweichenden Zusammensetzung.

2.2 Trimix

Gas, bestehend aus einer speziellen Mischung aus Sauerstoff, Helium und Stickstoff, das unter geeigneten Tauch- oder Überdruckbedingungen menschliches Leben sichern kann.

Anmerkung zum Begriff:

Dies umfasst gefertigte Gasmischungen aus Kombinationen aus reinem Sauerstoff, reinem Helium und reinem Stickstoff, mit oder ohne Druckluft.

2.3 Heliox

Gas, bestehend aus einer speziellen Mischung aus Sauerstoff und Helium, das unter geeigneten Tauch- oder Überdruckbedingungen menschliches Leben sichern kann.

2.4 Sauerstoff- und Stickstoff-Gasmischung

Gas, bestehend aus einer speziellen Mischung aus Sauerstoff und Stickstoff, das unter geeigneten Tauch- oder Überdruckbedingungen menschliches Leben sichern kann.

Anmerkung 1 zum Begriff:

Gasmischungen aus Sauerstoff und Stickstoff sind auch als „Nitrox“ bekannt.

Anmerkung 2 zum Begriff:

Diese Definition gilt nicht für Gasmischungen aus sauerstoffkompatibler Luft oder stickstoffarmer Luft.

Anmerkung 3 zum Begriff:

Der zur Veratmung zugefügte Sauerstoff aus einer Druckgasflasche muss medizinischer Sauerstoff sein.

2.5 Sauerstoffkompatible Luft

Komprimierte natürliche Atemluft, in der die Verunreinigungen soweit reduziert sind, dass sie in Gasmischungen, einschließlich jenen mit Sauerstoffkonzentrationen über 22 %, eingesetzt werden kann.

Anmerkung 1 zum Begriff:

Sauerstoffkompatible Luft wird in der Tauchbranche auch als „ölfreie Luft“, „saubere Luft“ oder „doppelt gefilterte Luft“ bezeichnet.

2.6 Stickstoffarme Luft

Sauerstoffkompatible Luft, der ein Teil des Stickstoffs entzogen wurde, um sie in oder als Gasmischungen mit Sauerstoffkonzentrationen über 22 %, einsetzen zu können.

Anmerkung 1 zum Begriff:

Stickstoffarme Luft ist auch als „Nitrox“ bekannt.

Anmerkung 2 zum Begriff:

Der zur Veratmung zugefügte Sauerstoff aus einer Druckgasflasche muss medizinischer Sauerstoff sein.

2.7 Sauerstoffangereicherte Luft

Komprimierte natürliche Atemluft, der vor der Kompression etwas Sauerstoff zugefügt und der Gehalt einiger Verunreinigungen reduziert wurde, um sie in oder als Gasmischungen mit Sauerstoffkonzentrationen über 22 %, einsetzen zu können.

Anmerkung 1 zum Begriff:

Sauerstoffangereicherte Luft ist auch als „Nitrox“ bekannt.

Anmerkung 2 zum Begriff:

Der zur Veratmung zugefügte Sauerstoff aus einer Druckgasflasche muss medizinischer Sauerstoff sein.

2.8 Synthetische Luft

Mischung aus Sauerstoff und Stickstoff mit einem Sauerstoffgehalt von $(21 \pm 1) \%$.

Anmerkung 1 zum Begriff:

Synthetische Luft ist auch als „Nitrox“ bekannt.

Anmerkung 2 zum Begriff:

Der zur Veratmung zugefügte Sauerstoff aus einer Druckgasflasche muss medizinischer Sauerstoff sein.

2.9 Tauchausrüstung

Die Tauchausrüstung umfasst unter anderem das Atemgerät (Tauchgerät) und einen Tauchanzug.

2.10 Atemgerät

Das Atemgerät muss unter den vorhersehbaren Einsatzbedingungen und insbesondere unter Berücksichtigung der maximalen Tauchtiefe die Versorgung des Nutzers mit einem atembaren Gasgemisch ermöglichen.

2.11 Tauchanzug

Ein Tauchanzug dient zum Schutz vor Kälte und/oder vor dem aus der Tauchtiefe resultierenden Druck. Wird der Tauchanzug mit Gas zur Isolierung beaufschlagt, darf das Gas nicht mit dem Anzug und dem Unterzieher reagieren.

2.12 Unterwasser-Basen (UW-Basen)

Unterwasser-Basen sind Unterwassereinrichtungen, wie Tauchkammern und Tauchglocken, die bei konstantem oder variablem Innendruck mit Atemgas gefüllt sind und aus denen und in welche Taucher oder Taucherinnen aus- bzw. einsteigen können.

2.13 Umbilical

Umbilical ist die Zusammenfassung der Versorgungsleitungen des Tauchers bzw. der Taucherin, wie Luftversorgungsleitung, Kommunikationskabel, Stromversorgungsleitung, Tiefenmessschlauch/-kabel.

2.14 Sachverständiger/Sachverständige

Der oder die Sachverständige ist eine unabhängige integre Person, die auf Grund der fachlichen Ausbildung und Erfahrung besondere Sach- bzw. Fachkunden und Erfahrung auf dem Gebiet der Atemgasversorgung unter Druckluft sowie in Bau und Einrichtung von Mischgas-Tauchgeräten und Versorgungsanlagen verfügt. Der oder die Sachverständige muss Kenntnisse über die Rechtsvorschriften des Prüfgegenstands (u. a. internationale und nationale Richtlinien, DGUV Vorschriften und Regeln zur Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, Normen, Stand der Technik, Herstellervorschriften) verfügen. Der oder die Sachverständige trifft aufgrund eines Auftrages allgemeingültige Aussagen über einen vorgelegten oder von ihm oder ihr festgehaltenen Sachverhalt. Die sachverständige Person besitzt ebenfalls die Fähigkeit, die Beurteilung dieses Sachverhaltes in Wort und Schrift nachvollziehbar darzustellen. Sie muss Mischgas-Tauchgeräte und Versorgungsanlagen nebst Zubehör prüfen und gutachterlich beurteilen können.

Hierzu zählen Ingenieure oder Ingenieurinnen der Herstellerfirmen, DNV GL und vergleichbare Personen.

2.15 Zur Prüfung befähigte Person

Die zur Prüfung befähigte Person muss eine Berufsausbildung abgeschlossen haben, die es ermöglicht, ihre beruflichen Kenntnisse nachvollziehbar festzustellen. Sie muss eine nachgewiesene Zeit im Berufsleben praktisch mit Arbeitsmitteln umgegangen sein, in der sie Anlässe kennengelernt hat, die Prüfungen auslösen (Gefährdungsbeurteilungen). Eine zeitnahe berufliche Tätigkeit im Umfeld der anstehenden Prüfung des Prüfgegenstandes und eine angemessene Weiterbildung sind unabdingbar. Die zur Prüfung befähigte Person muss über rechtliche und technische Kenntnisse hinsichtlich des zu prüfenden Arbeitsmittels (z. B. Atemgasversorgung unter Druckluft sowie in Bau und Einrichtung von Mischgas-Tauchgeräten und Versorgungs-

anlagen) und der zu betrachtenden Gefährdungen verfügen. Die zur Prüfung befähigte Person hat die Aufgabe den Prüfgegenstand unabhängig, neutral (ohne Weisungsbefugnis einer vorgesetzten Person) zu bewerten. Diese Person erstellt ein Prüfprotokoll für den Auftraggeber oder die Auftraggeberin.

2.16 Zur Prüfung sachkundige Person von persönlicher Schutzausrüstung

Die zur Prüfung sachkundige Person ist in Analogie zu der zur Prüfung befähigten Person zu sehen. Diese Person prüft „Persönliche Schutzausrüstungen“ (PSA).

2.17 Aufstiegsgeschwindigkeit

Die Aufstiegsgeschwindigkeit ist die Steiggeschwindigkeit eines Tauchers oder einer Taucherin im Wasser. Meist angegeben in Meter pro Minute.

2.18 Grundzeit

Die Grundzeit ist die Zeit vom Beginn des Abstiegs bis zum Beginn des Austauchens.

2.19 Äquivalente Luft Tauchtiefe

Die äquivalente Luft Tauchtiefe, engl. equivalent air depth (EAD), bezeichnet die Tiefe, in der man sich bei der Verwendung von Luft dem gleichen Stickstoffpartialdruck aussetzen würde, der bei der tatsächlich aufgesuchten Tauchtiefe mit einem Atemgasgemisch, das einen anderen Stickstoffanteil aufweist, herrschen würde.

2.20 Maximale Tauchtiefe

Die größte Tiefe, die während des Tauchgangs erreicht wird.

2.21 Keine Dekogrenze (Nullzeit)

(Freie Tauchzeit) Tauchzeitlimits ohne Dekompressionsverpflichtung.

2.22 Wiederholungsintervall

Minimales Zeitintervall zwischen dem Ende des vorherigen Tauchgangs (plus Dekompression) und dem nächsten Tauchgang.

2.23 Wiederholungstauchgang

Wiederholungstauchgänge sind Tauchgänge, die in weniger als 12 Stunden Abstand auf das Ende des vorangegangenen folgen.

2.24 Haltezeit (Stop time)

Benötigte Zeit an einer angegebenen Austauschstufe (Stop). Die Haltezeit beginnt, wenn der Taucher oder die Taucherin die richtige Tiefe erreicht hat und das für diese Tiefe geeignete Gas einatmet.

2.25 OTE (oxigen tolerance unit)

Einheitsmessung, die nach längerer Zeit die Sauerstofftoxizität ausdrückt. Die Einheit dient der Abschätzung der akkumulierten Lungengiftigkeit des Sauerstoffs (Lorraine-Smith- Effekt).

2.26 Partialdruck

Der Partialdruck bezeichnet den Teildruck einer einzelnen Gaskomponente in einem (idealen) Gasgemisch.

2.27 CNS-Zeit (central nervous system/syndrom)

Die CNS ist ein errechneter Wert in %, der die Sauerstoffexposition eines Tauchers oder einer Taucherin über die Zeit angibt. Der Wert muss unterhalb von 100 % liegen, damit keine neuronale Sauerstoffvergiftung (Paul Bert Effekt) auftritt.

2.28 NOAA

NOAA ist die National Oceanic and Atmospheric Administration (Nationale Ozean- und Atmosphärenbehörde) die Wetter- und Ozeanografiebehörde der Vereinigten Staaten. Sie hat z. B. auch eine Tabelle für die Sauerstofftoxizität entwickelt.

3 Auswahl der geeigneten Tauchausrüstung

3.1 Tauchausrüstung

- Die vom 1. Juli 1996 bis 20. April 2018 in Verkehr gebrachte Tauchausrüstung muss den sicherheitstechnischen Anforderungen der mittlerweile zurückgezogenen Achten Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz entsprechen.

Die ab dem 21. April 2018 in Verkehr gebrachten Tauchgeräte müssen den sicherheitstechnischen Anforderungen der Verordnung (EU) 2016/425 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2016 über persönliche Schutzausrüstungen entsprechen. Tauchausrüstung mit einer EG-Baumusterprüfbescheinigungen nach der Richtlinie können noch bis zum 21. April 2023 im Handel verkauft werden.

D. h., die Tauchausrüstung muss von einer hier zugelassenen Stelle zertifiziert sein. Bei der entsprechenden Baumusterprüfung muss auch die Eignung für das vorgesehene Atemgas/Gas geprüft worden sein.

- Vor dem 1. Juli 1996 in Verkehr gebrachten Tauchausrüstungen sind von einem Sachverständigen auf ihre Eignung für das vorgesehene Atemgas prüfen zu lassen.
- Die sonstige Tauchausrüstung muss dem anerkannten Stand der Technik entsprechen und nach den jeweils geltenden Vorschriften geprüft und gegebenenfalls zugelassen sein. Sie muss für den vorgesehenen Einsatz geeignet sein.
- Sicherheitsrelevante Komponenten der Tauchausrüstung müssen dauerhaft und eindeutig gekennzeichnet sein.
- Für alle Geräte und Einrichtungen muss eine Betriebsanleitung vorliegen. An der Einsatzstelle müssen jeweils eine Kurzbetriebsanleitung und eine Check-Liste für Prüfung und Wartung vorhanden sein.

- Falls für die in der jeweiligen Betriebsanleitung vorgeschriebenen Prüfungen Prüfeinrichtungen erforderlich sind, müssen diese vorhanden sein.
- Autonome Regenerationsgeräte müssen der harmonisierten Norm DIN EN 14143:2013 entsprechen. Die Aufnahmefähigkeit des CO₂-Absorbers eines Mischgas-Regenerationsgerätes muss so groß sein, dass die während eines Tauchganges anfallende CO₂-Menge sowohl von der momentanen Absorptionsleistung wie auch von der Gesamtkapazität her absorbiert werden kann. Bei der Berechnung der Gesamtkapazität ist eine Sicherheitsreserve von 20 % anzusetzen.

3.2 Gasflaschen

Gasflaschen müssen den Vorschriften, die für das Anwendungsland gelten, entsprechen. Sie müssen für den Nennarbeitsdruck und für den Gasgehalt, falls zutreffend, geprüft und zugelassen sein. Atemgasflaschen müssen unverwechselbar und dauerhaft mit Angaben über die enthaltenen Gase und das Mischverhältnis gekennzeichnet sein. Die Einhaltung ist durch Sichtprüfung zu kontrollieren.

3.3 Anschlusselemente der Versorgungsleitungen

Die Anschlusselemente der Versorgungsleitungen müssen so beschaffen sein, dass ein Verwechseln nicht möglich ist.

3.4 Reserverluftgerät

Es ist ein Reservegasvorrat mitzuführen, der den Taucher oder die Taucherin in der geplanten maximalen Tauchtiefe für mindestens 10 Minuten mit Atemgas versorgen kann.

3.5 Tauchtiefen über 50 m

Bei Tauchtiefen über 50 m sind weitere Transport- und Sicherungsmittel erforderlich, die über Einrichtungen zum Bergen von bewusstlosem Tauchpersonal verfügen, z. B. trockene Tauchglocke.

3.6 Heliumhaltiges Atemgas

Bei Benutzung von heliumhaltigem Atemgas und Tauchtiefen von größer 120 m ist das Atemgas vorzuwärmen.

4 Betrieb

Wer ein Unternehmen führt, hat vor der Ausführung der Arbeiten eine Gefährdungsbeurteilung nach §§ 5 und 6 des ArbSchG zu erstellen und geeignete Maßnahmen zum Arbeitsschutz festzulegen. Technische Maßnahmen zum Arbeitsschutz sind organisatorischen und persönlichen Maßnahmen vorzuziehen.

4.1 Einsatz leitende Personen für Mischgas

Der Unternehmer oder die Unternehmerin hat für jeden Taucheinsatz mit Mischgas-Tauchgeräten eine Einsatz leitende Person schriftlich zu bestellen. Die Einsatz leitende Person ist für den Einsatz verantwortlich und darf an den von ihr geleiteten Tauchgängen nicht selbst teilnehmen.

Es ist ebenfalls ein Stellvertreter oder Stellvertreterin der Einsatz leitenden Person schriftlich zu benennen.

Die Einsatz leitende Person führt mit der Tauchgruppe Taucharbeiten durch. Sie ist gegenüber allen Personen der Tauchgruppe weisungsbefugt. Die Einsatz leitende Person muss die Einsatzbedingungen beurteilen, den sicheren Ablauf des Taucheinsatzes überwachen und die bei Unfällen und Störungen erforderlichen Maßnahmen treffen können.

Die Einsatz leitende Person muss folgende Anforderungen erfüllen:

1. Sie muss körperlich und geistig geeignet sein.
2. Sie muss eine Ausbildung zum geprüften Taucher oder zur geprüften Taucherin oder eine vergleichbare Qualifikation erfolgreich abgeschlossen haben und über hinreichende Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten für die sichere Durchführung der geplanten Taucharbeiten verfügen (siehe Anhang 1, DGUV Vorschrift 40).
3. Sie muss eine Zusatzausbildung für Einsatz leitende Personen für Mischgastauchen erfolgreich abgeschlossen haben.

Die Einsatz leitende Person ist verantwortlich insbesondere für

- die Einweisung des eingesetzten Personals,
- die ordnungsgemäße Durchführung des Tauchganges,
- die Verwendung eines geeigneten Atemgases,
- die Kontrolle der erforderlichen Atemgasqualität und -menge,
- den bestimmungsgemäßen Einsatz der verwendeten Ausrüstung entsprechend den einschlägigen Vorschriften und Betriebsanweisungen,
- die Überwachung der Dekompression des Tauchpersonals,
- die Vorbereitung und gegebenenfalls Durchführung von Rettungsmaßnahmen,
- die Funktionsfähigkeit der Mischgasversorgungsanlage.

Die Einsatz leitende Person hält sich ständig unmittelbar an der Tauchstelle auf und steht im direkten Kontakt mit der Tauchergruppe. Die Einsatz leitende Person kann nicht als Reservetaucher bzw. Reservetaucherin eingesetzt werden.

4.2 Qualifikation des Mischgas-Tauchers bzw. der Mischgas-Taucherin

Als Tauchpersonal für das Mischgas-Tauchen dürfen nur solche Personen eingesetzt werden, die

- geprüfte Taucher oder geprüfte Taucherin sind oder eine vergleichbare Qualifikation (siehe DGUV Vorschrift 40) besitzen,
- mindestens 400 Taucheinsatzstunden aufweisen können,
- sich einer arbeitsmedizinischen Pflichtvorsorge nach § 7 Abs. 1 ArbMedVV berechtigten Arzt bzw. Ärztin unterzogen und keine gesundheitlichen Einschränkungen für das Tauchen haben und
- einen oder mehrere Lehrgänge (modularer Aufbau) zum Mischgastaucher bzw. zur Mischgastaucherin mit Erfolg absolviert haben.

4.3 Sauerstoffgrenzwerte

Bei der Verwendung von Mischgasen sind folgende Sauerstoff-Werte einzuhalten:

- Reiner Sauerstoff darf nur im Verlauf der Behandlung einer Dekompressionskrankheit eingeatmet werden.
- Der Partialdruck des Sauerstoffes im zugeführten Atemgas darf 0,16 bar nicht unterschreiten.
- Der Partialdruck des Sauerstoffes im zugeführten Atemgas darf die in der Tauchgangsberechnung angegebenen Werte nicht überschreiten. D. h., der Maximalwert darf 1,4 bar nicht überschreiten (siehe IMCA D048).

4.4 Umbilical

Bei Einsätzen aus einer UW-Basis darf das Umbilical nicht länger als 30 m sein.

4.5 Dekompressionstabellen

Der Unternehmer oder die Unternehmerin hat bei Einsätzen mit Mischgas die vorgesehene Dekompressionstabelle vor dem Einsatz von einer sachverständigen Stelle prüfen zu lassen.

Für Nitrox-Tauchgänge kann die im Anhang 2 abgedruckte Korrektur-Tabelle verwendet werden.

Die Dekompressionstabellen müssen Angaben über Mindestwartezeiten für Wiederholungstauchgänge (Wiederholungsintervall) enthalten.

5 Prüfung

Nach § 14 der Betriebssicherheitsverordnung hat der Arbeitgeber oder die Arbeitgeberin Art, Umfang und Fristen erforderlicher Prüfungen der Arbeitsmittel mit Hilfe einer Gefährdungsbeurteilung und Herstellerangaben zu ermitteln.

Nach § 2 Abs. 4 der PSA-Benutzerverordnung hat der Arbeitgeber oder die Arbeitgeberin Art, Umfang und Fristen erforderlicher Wartungs- und Reparaturmaßnahmen der persönlichen Schutzausrüstung festzulegen.

Bei diesen Prüfungen/Wartungen sollen sicherheitstechnische Mängel systematisch erkannt und abgestellt werden.

5.1 Vor jedem Einsatz

Vor jedem Einsatz sind Geräte und Einrichtungen von einer befähigten/ fachkundigen Person entsprechend der Betriebs- und Wartungsanleitung des Herstellers zu prüfen und einsatzklar zu machen. Das Ergebnis der Prüfungen ist zu dokumentieren.

5.2 Vor jedem Tauchgang

Vor jedem Tauchgang hat die Einsatz leitende Person den Atemgasvorrat auf ausreichende Menge und die für den Tauchgang erforderliche Gaszusammensetzung zu prüfen.

Bei betriebseigener Mischgasherstellung hat die Einsatz leitende Person darüber hinaus zu prüfen, dass nach vollständiger Durchmischung in den gebrauchsfertigen Mischgasen keine unzulässigen Konzentrationen von Verunreinigungen enthalten sind. Die Prüfung hat nach anerkannten Standards zu erfolgen (DIN EN 12021:2014-07).

5.3 Prüfung in regelmäßigen Abständen

In der BetrSichV Anhang 2 Abschnitt 4 sind die Prüfintervalle für Druckanlagen (Wiederkehrende Prüfungen von Anlagen und Anlagenteilen: Nummer 5, Tabelle 1 und für Flaschen für Atemschutzgeräte: Nummer 7.6) aufgeführt.

Mindestens alle zwei Jahre hat der Unternehmer oder die Unternehmerin Tauchgeräte und Mischgas-Versorgungsanlagen sowie deren Zubehör von einem oder einer Sachverständigen auf ihren betriebssicheren Zustand prüfen zu lassen.

6 Grundsätze Verwendung von Mischgas

6.1 Sichere Einsatzbedingung

- Bei Einhaltung der angeführten Grenzwerte und angegebenen Tauchprofile der Tabellen sollte das Tauchen mit Mischgas sicher sein. Trotzdem kann es zu Unvorhersehbarkeiten kommen, die eine Dekompressionskrankheit verursachen.
- Sollten Symptome einer Dekompressionskrankheit beim Tauchpersonal auftreten, muss ein Rettungskonzept vorliegen. Dies beinhaltet die Rettung aus dem Wasser, Versorgung mit medizinischem Sauerstoff (z. B. Wenoll-System), Behandlung in einer Taucherdruckkammer (siehe DGUV Vorschrift 40 „Taucherarbeiten“) mit der Tabelle 6 oder 7 der US Navy oxygen treatment. Der im Rettungskonzept festgelegte Arzt oder die Ärztin mit einer Qualifikation für Tauch- und Hyperbarmedizin muss informiert werden und leitet weitere Schritte ein. Nach einem Notfall ist vor dem nächsten Tauchgang eine Freigabe durch das ärztliche Personal erforderlich.
- Sollte die gewünschte Tauchtiefe, Tauchzeit oder Sauerstoffpartialdruckwert in den Tabellen nicht zu finden sein, muss der nächst naheliegende Wert, der eine größere Sicherheit für das Tauchpersonal gewährleistet, verwendet werden.
- Die Taucher oder Taucherinnen sollen in 24 Stunden nicht mehr als 8 Stunden einem Überdruck ausgesetzt sein.

6.2 Wiederholungstauchgänge

Wiederholungstauchgänge können nur ausgeführt werden, wenn dies die Tauchtafel hergibt und das Wiederholungsintervall berücksichtigt wird. Es wird empfohlen, nach einem Wiederholungstauchgang regelmäßig ein Wiederholungsintervall von 12 Stunden einzuhalten. Sind laut Tabelle mehrere Wiederholungstauchgänge möglich, kann dies das Auftreten von Dekompressionskrankheit erhöhen. Umgekehrt verringert sich dies proportional mit einem längeren Wiederholungsintervall. Es ist darauf zu achten, dass

die Grenzwerte die Gesamttauchzeit pro Tag und der Sauerstofftoxizität nicht überschritten wird. Es sind maximal 2 Wiederholungstauchgänge möglich. Es ist wichtig, den Druck während der Stopps so gleichmäßig wie möglich zu halten. Die zulässige Abweichung hängt vom Wellengang ab und darf nicht mehr als $\pm 0,5$ Meter sein.

6.2 Aufstiegsgeschwindigkeit

- Die maximal zulässige Aufstiegsgeschwindigkeit beträgt 10 Meter pro Minute. Die Aufstiegszeit ist nicht in die Stoppzeit einzubeziehen. Sollte die maximale Geschwindigkeit überschritten werden, muss die verbleibende Zeit zur Stoppzeit addiert werden.
- Die Aufstiegsgeschwindigkeit zum ersten Stopp darf nicht weniger als 5 Meter pro Minute betragen. Sollte der Aufstieg langsamer sein, muss die Überschreitung der Aufstiegszeit zur Tauchzeit addiert werden. Die Aufstiegszeit zwischen aufeinanderfolgenden Stopps mit einer Tiefe von mehr als 6 Metern darf 1 Minute nicht überschreiten.
- Die Aufstiegsgeschwindigkeit aus Tiefen von weniger als oder gleich 6 Metern sollte langsamer erfolgen.

6.6 Tauchbedingungen

- Bei schwierigen Bedingungen wie raue See, Strömung, niedrigen Temperaturen ist durch die Gefährdungsbeurteilung zu prüfen, ob die Tauchtabellen geeignet sind.
- Des Weiteren sollte zur Vermeidung von Dekompressionskrankheiten vorab geprüft werden, ob eine Tauchglocke (Bell-Diving-System/z. B. TUP) das Risiko minimiert. Sollte dies der Fall sein, ist eine solche einzusetzen.

7 Tauchgangsberechnung/ Verwendung der Tauchtabellen

7.1 Tauchgangsberechnung

Bei der Berechnung des Mischgastauchgangs wurden tauchphysikalisch/medizinische Grundlagen berücksichtigt. Anerkannte Sauerstoffgrenzwerte fließen in die Berechnung ein. Die verwendeten Tabellen beziehen sich auf ein Mischgas aus Sauerstoff und Stickstoff.

Sollte eine andere Tauchgangsberechnung als die in dem Anhang 1 verwendet werden, ist eine Genehmigung von der DGUV Vorschrift 40 abzuweichen beim zuständigen Unfallversicherungsträger zu stellen. Die Berechnung muss von einem anerkannten Gutachter, einer anerkannten Gutachterin, einem Mediziner, einer Medizinerin, einem oder einer Sachverständigen erstellt und tauchtechnisch erprobt sein.

Anhang 1

Zulässiger Sauerstoffpartialdruck/Zulässige tägliche Sauerstoffdosis

1. Zulässiger Sauerstoffpartialdruck (pO₂) im Verlauf eines Tauchgangs (Max. 140 kPa)

Tabelle 1

| pO ₂ (in kPa) | Zeitdauer (in h) | Max. pO ₂ (in kPa) pro Tauchgang |
|--------------------------|------------------|---|
| 160 | 3 | 480 |
| 140 | 4 | 560 |
| 120 | 5 | 600 |
| 100 | 6 | 600 |
| 90 | 8 | 720 |

2. Ermittlung des maximalen Einsatztiefe – MOD bei dem gewählten Sauerstoffpartialdruck

$$\text{MOD} = \left(\frac{\text{pO}_2 \text{ max}}{f\text{O}_2} - 1 \right) \times 10$$

fO₂ = Fraktion des Gases

pO₂ = Sauerstoffpartialdruck [bar]

MOD = Maximale Einsatztiefe [m]

Beispiel: MOD bei 140 kPa und einem Sauerstoffanteil im Gemisch von 30 %
(f_{O₂} = 0,3) (Nitrox-Gemisch 30/70) = 36,7 m Wassertiefe

3. Ermittlung der „äquivalenten Luft Tauchtiefe“ mit Festlegung des Tauchgangsprofils

Zur Ermittlung des Tauchgangsprofils muss die äquivalente Luft Tauchtiefe ermittelt werden. In der Tabelle 2 wird die tatsächliche Tauchtiefe (linke Spalte) für das festgelegte Sauerstoff/Stickstoff Gemisch (Nitrox) bestimmt. Die äquivalente Luft Tauchtiefe wird in der Spalte des gewählten Gemisches abgelesen.

Tabelle 2 Ermittlung der äquivalenten Tauchgangtiefe

| tatsächliche Tauchtiefe | Nitrox-Gemisch (O ₂ /N ₂) | | | | | |
|-------------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 25/75 | 30/70 | 35/65 | 40/60 | 45/55 | 50/50 |
| 9 | 9 | 9 | 6 | 6 | 6 | 3 |
| 10 | 9 | 9 | 9 | 6 | 6 | 3 |
| 11 | 12 | 9 | 9 | 6 | 6 | 6 |
| 12 | 12 | 12 | 9 | 9 | 6 | 6 |
| 13 | 12 | 12 | 9 | 9 | 9 | 6 |
| 14 | 15 | 12 | 12 | 9 | 9 | 6 |
| 15 | 15 | 15 | 12 | 9 | 9 | 6 |
| 16 | 15 | 15 | 12 | 12 | 9 | 9 |
| 17 | 18 | 15 | 15 | 12 | 9 | 9 |
| 18 | 18 | 15 | 15 | 12 | 12 | 9 |
| 19 | 18 | 18 | 15 | 15 | 12 | 9 |
| 20 | 21 | 18 | 15 | 15 | 12 | 9 |
| 21 | 21 | 18 | 18 | 15 | 12 | 12 |
| 22 | 21 | 21 | 18 | 15 | 15 | 12 |



Anhang 1

| tatsächliche Tauchtiefe | Nitrox-Gemisch (O ₂ /N ₂) | | | | | |
|-------------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 25/75 | 30/70 | 35/65 | 40/60 | 45/55 | 50/50 |
| 23 | 24 | 21 | 18 | 18 | 15 | |
| 24 | 24 | 21 | 18 | 18 | 15 | |
| 25 | 24 | 24 | 21 | 18 | 15 | |
| 26 | 27 | 24 | 21 | 18 | | |
| 27 | 27 | 24 | 21 | 21 | | |
| 28 | 27 | 24 | 24 | 21 | | |
| 29 | 30 | 27 | 24 | 21 | | |
| 30 | 30 | 27 | 24 | 21 | | |
| 31 | 30 | 27 | 24 | | | |
| 32 | 30 | 30 | 27 | | | |
| 33 | 33 | 30 | 27 | | | |
| 34 | 33 | 30 | 27 | | | |
| 35 | 33 | 30 | 30 | | | |
| 36 | 36 | 33 | | | | |
| 37 | 36 | 33 | | | | |
| 38 | 36 | 33 | | | | |
| 39 | 39 | 36 | | | | |
| 40 | 39 | 36 | | | | |
| 41 | 39 | 36 | | | | |
| 42 | 42 | 39 | | | | |
| 43 | 42 | 39 | | | | |

Ermittlung:

1. Festlegen der tatsächlichen Tauchtiefe (Spalte 1/links)
2. Ablesen der „äquivalenten Tauchtiefe“ im Schnittfeld der
 - Zeile für die tatsächliche Tauchtiefe (zu Beispiel: Festlegung 33 m) und der
 - Spalte für das verwendete Nitroxgemisch (zu Beispiel: Festlegung Nitrox 30/70)
 - Tabellenwert der äquivalenten Luft Tauchtiefe für dieses Beispiel 30 m
3. Die so ermittelte „äquivalente Tauchtiefe“ (Beispiel wird als „Tauchtiefe“ für das Austauchen nach Tabelle 2 nach Anlage 1 der DGUV Vorschrift 40 zu Grunde gelegt.

Zum Beispiel:

Auszug aus der DGUV Vorschrift 40/Festlegung Tauchzeit 60 Minuten.

Tabelle 3 Drucklufttabelle

| Tauchzeit (min) | Aufstieg bis zur ersten Austauschstufe (min : sec) | Haltezeiten während des Austauschens auf den Austauschstufen (min) | | | | | | Gesamtzeit der Dekompression (min : sec) | Wiederholungsgang möglich |
|-----------------|--|--|------|------|----------|-----------|-----------|--|---------------------------|
| | | 18 m | 15 m | 12 m | 9 m | 6 m | 3 m | | |
| 15 | 2:30 | – | – | – | – | – | – | 2:30 | Ja |
| 20 | 2:15 | – | – | – | – | – | 3 | 5:15 | Ja |
| 25 | 2:15 | – | – | – | – | – | 5 | 7:15 | Ja |
| 30 | 2:15 | – | – | – | – | – | 10 | 12:15 | Ja |
| 35 | 2:00 | – | – | – | – | 3 | 12 | 17:00 | Ja |
| 40 | 2:00 | – | – | – | – | 5 | 17 | 24:00 | Ja |
| 45 | 2:00 | – | – | – | – | 7 | 20 | 29:00 | Ja |
| 50 | 2:00 | – | – | – | – | 10 | 25 | 37:00 | Ja |
| 60 | 1:45 | – | – | – | 3 | 15 | 35 | 54:45 | Ja |

Tauchtiefe 30 m

4. Berücksichtigung der Sauerstofftoxizität (nach Paul Bert)

4.1 Ermittlung der Sauerstofftoxizität und deren Grenzwert

Tabelle 4 Zulässiger Sauerstoffpartialdruck (pO₂) im Verlauf eines Tauchganges (Sauerstofftoxizität – CNS Tabelle nach NOAA)

| max. pO ₂ (in kPa) | CNS O ₂ % (%/min) | max. Zeit pro Tauchgang (in min) | max. Zeit pro Tag (in min) |
|-------------------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| 160 | 2,22 | 45 | 150 |
| 150 | 0,83 | 120 | 180 |
| 140 | 0,65 | 150 | 180 |
| 130 | 0,56 | 180 | 210 |
| 120 | 0,47 | 210 | 240 |
| 110 | 0,42 | 240 | 270 |
| 100 | 0,33 | 300 | 300 |
| 90 | 0,28 | 360 | 360 |
| 80 | 0,22 | 450 | 450 |
| 70 | 0,18 | 570 | 570 |
| 60 | 0,14 | 720 | 720 |

$$CNS = \Sigma \frac{\text{Echttauchzeit}}{\text{max. Tauchzeit}}$$

Der Wert für die CNS darf den Wert von 100 CNS % nicht überschreiten. Sollte der Wert über 100 CNS % liegen, ist der Tauchgang nicht durchführbar.

Tabelle 5 Ermittlung der CNS in % anhand eines Beispiels

| Erster Tauchgang | | | | | | |
|------------------|-------------------------------|--------------------|----------------------------|-----------------------|-----------|-------|
| Tiefe (m) | Zeit (min) | O ₂ (%) | Gemisch N ₂ (%) | pO ₂ (kPa) | CNS %/min | CNS % |
| 33 | 60 | 30 | 70 | 129 | 0,56 | 33,6 |
| 33 | 4 (ges. Aus- tauchzeit) | 30 | 70 | 129 | 0,56 | 2,24 |
| 9 | 3 | 30 | 70 | 57 | 0,14 | 0,42 |
| 6 | 15 | 30 | 70 | 48 | 0,14 | 2,1 |
| 3 | 35 | 30 | 70 | 39 | 0,14 | 4,9 |
| | 117 | | | | Summe | 43,26 |

Der Wert ist mit 43,26 CNS % somit kleiner als 100 CNS %. Der Tauchgang ist durchführbar.

Empfehlung:

Liegt der Wert eines Einzeltauchgangs über 50 CNS % sollte man mindestens 45 Minuten an der Oberfläche bei normobarem Druck verweilen. Liegt der Wert größer 90 CNS % sollte man mindestens 2 Std. an der Oberfläche verweilen.

4.2 Ermittlung der Reduktion der CNS% durch eine Oberflächenpause

Für die Berechnung eines Wiederholungstauchgangs muss der beim 1. Tauchgang ermittelte CNS% Wert berücksichtigt werden. Diese CNS% reduziert sich um einen Anteil durch die Oberflächenpause. Bestimmt wird diese Reduktion durch die Halbwertszeit.

$$\text{Halbwertszeit: CNS \%}(t) = \text{CNS \%} * (1/2)^{t/90} = \text{CNS \%} * e^{-t/130}$$

t = Oberflächenpause in Minuten

Tabelle 6 Reduktionsfaktoren

| Oberflächenpause t in min | Reduktionsfaktor | Oberflächenpause t in min | Reduktionsfaktor |
|------------------------------|------------------|------------------------------|------------------|
| 15 min | 0,89 | 150 min | 0,32 |
| 30 min | 0,8 | 180 min | 0,25 |
| 45 min | 0,71 | 210 min | 0,2 |
| 60 min | 0,63 | 240 min | 0,16 |
| 75 min | 0,56 | 270 min | 0,13 |
| 90 min | 0,5 | 300 min | 0,1 |
| 105 min | 0,45 | 360 min | 0,07 |
| 120 min | 0,4 | 420 min | 0,04 |

Beispiel: Gewählte Oberflächenpause 2 Stunden. Nach 2 Stunden reduziert sich die Sättigung somit auf $0,4 * 43,26 \text{ CNS\%} = 17,30 \text{ CNS\%}$.

4.3 Wiederholungstauchgänge

Bei der Planung eines Wiederholungstauchgangs ist die Tabelle 6 der DGUV Vorschrift 40 zu berücksichtigen.

Die Ermittlung der CNS% erfolgt analog der Punkte 1 bis 4 des Anhangs. Zusätzlich muss die Restsättigung zu dem ermittelten Wert addiert werden. Die CNS% Wert darf 100 nicht überschreiten.

5. Berücksichtigung der Sauerstofftoxizität nach Lorraine-Smith

5.1 Ermittlung der Sauerstoff-Toleranz-Einheiten (OTE)

Die Ermittlung der täglichen Sauerstoff-Toleranz-Einheiten (OTE) erfolgt nach folgender Formel:

$$OTE = t * \left(\frac{pO_2 - 0,5}{0,5} \right)^{5/6}$$

t = Zeit in Minuten

pO₂ = Sauerstoffpartialdruck in bar

1 bar = 100 kPa; 1 kPa = 0,01 bar

Tabelle 7 Sauerstoff-Toleranz-Einheiten (OTE) pro Zeiteinheit in Abhängigkeit vom Sauerstoffpartialdruck

| pO ₂ kPa | OTE pro min | OTE pro h |
|---------------------|-------------|------------|
| 60 | 0,26 | 16 |
| 70 | 0,47 | 28 |
| 80 | 0,65 | 39 |
| 90 | 0,83 | 50 |
| 100 | 1 | 60 |
| 110 | 1,16 | 70 |
| 120 | 1,32 | 79 |
| 130 | 1,48 | 89 |
| 140 | 1,63 | 98 |
| 150 | 1,78 | 107 |
| 160 | 1,93 | 116 |

| pO₂ kPa | O₂ pro min | O₂ pro h |
|---------------------------|------------------------------|----------------------------|
| 170 | 2,07 | 125 |
| 180 | 2,22 | 134 |
| 190 | 2,36 | 142 |
| 200 | 2,5 | 150 |
| 210 | 2,64 | 159 |
| 220 | 2,77 | 167 |

5.2 Tabelle der täglichen Sauerstoff-Toleranz-Einheiten (OTE)

Die tägliche Sauerstoffdosis darf die in Spalte 2 der nachfolgenden Tabelle 8 angegebenen Werte für die Sauerstoff-Toleranz-Einheiten (OTE) nicht überschreiten, wenn an der in Spalte 1 angegebenen Zahl von aufeinanderfolgenden Tagen getaucht wird.

Tabelle 8 Höchstzulässige Sauerstoffdosis pro Tag (in Sauerstoff-Toleranz-Einheiten/OTE) in Abhängigkeit von der Zeitdauer des Taucheinsatzes

| Dauer der Exposition in Tagen | OTE pro Tag |
|-------------------------------|-------------|
| 1 | 850 |
| 2 | 700 |
| 3 | 620 |
| 4 | 525 |
| 5 | 460 |
| 6 | 420 |
| 7 | 380 |
| 8 | 350 |
| 9 | 330 |
| 10 | 310 |
| 11–30 | 300 |

Beispiel:

Ermittlung der im Verlauf eines Tauchganges aufgenommenen Sauerstoff-Toleranz-Einheiten mit folgenden Randbedingungen.

Festgelegt:

Atemgas: Nitrox 30/70; tatsächliche Tauchtiefe: 33 m; Tauchzeit: 60 min
Max. Partialdruck des Sauerstoffs 140 kPa berücksichtigen.

Äquivalente Luft Tauchtiefe = 30 m (Ermittlung siehe Tabelle 2)

Für die Berechnung des Sauerstoffpartialdruckes pO_2 ist die tatsächliche Tauchtiefe anzusetzen, für die Bestimmung der Dekompressionszeit ist die äquivalente Tauchtiefe anzusetzen.

Tabelle 9 Das Austauchen erfolgt entsprechend der Tabelle 2 der DGUV Vorschrift 40

| Tauchgang | | | | | | |
|-----------|-------------------------------|--------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------|------------|
| Tiefe (m) | Zeit (min) | O ₂ (%) | Gemisch N ₂ (%) | pO ₂ (kPa) | pO ₂ /min | OTE gesamt |
| 33 | 60 | 30 | 70 | 129 | 1,48 | 88,8 |
| 33 | 4 (ges. Aus- tauchzeit) | 30 | 70 | 129 | 1,48 | 5,92 |
| 9 | 3 | 30 | 70 | | | |
| 6 | 15 | 30 | 70 | 48 | 0,26 | 3,9 |
| 3 | 35 | 30 | 70 | 39 | 0,26 | 9,1 |
| Summe | | | | | | 108,5 |

Ein weiterer Tauchgang wäre möglich und würde analog der obigen Berechnung für Wiederholungstauchgänge berechnet.

Anhang 2

Vorschriften, Regeln, Informationen

Nachstehend sind die insbesondere zu beachtenden einschlägigen Vorschriften und Regeln zusammengestellt.

1. Gesetze, Verordnungen

Bezugsquelle:

Internet: <https://eur-lex.europa.eu>, <https://www.gesetze-im-internet.de>,
<https://www.baua.de>

- PSA Verordnung (EU) 2016/425
- PSA-Durchführungsgesetz (PSA-DG)
- Gesetz über die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt – Produktsicherheitsgesetz (ProdSG)
- Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG)

2. DGUV Regelwerk für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit

Bezugsquelle:

Bei Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger
und unter www.dguv.de/publikationen

Vorschriften

- DGUV Vorschrift 1 „Grundsätze der Prävention“
- DGUV Vorschrift 40 „Taucherarbeiten“

3. Normen/VDE-Bestimmungen

Bezugsquelle:

*Beuth-Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin
und VDE-Verlag, Bismarckstraße 33, 10625 Berlin*

- DIN EN 250:2014-07 „Atemgeräte – Autonome Leichttauchgeräte mit Druckluft; Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung“
- DIN EN 12021:2014-07 „Atemgeräte – Druckgase für Atemschutzgeräte“
- DIN EN 13949:2003-06 „Atemgeräte – Autonome Leichttauchgeräte mit Nitrox-Gasgemisch und Sauerstoff – Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung“
- DIN EN 15333-1:2008-04 + Berichtigung 1: 2010-05 „Atemgeräte – Schlauchversorgte Leichttauchgeräte mit Druckgas – Teil 1: Lungen-automatisch gesteuerte Geräte“
- DIN EN 15333-2:2009-07 „Atemgeräte – Schlauchversorgte Leichttauchgeräte mit Druckgas – Teil 2: Geräte mit konstantem Volumenstrom“
- DIN EN 14143:2013 „Atemgeräte – Autonome Regenerationstauchgeräte“

BG Verkehr

Ottenser Hauptstraße 54
22765 Hamburg
Tel.: +49 40 3980-0
Fax: +49 40 3980-1999
E-Mail: praevention@bg-verkehr.de
Internet: www.bg-verkehr.de