

DIN CEN/TR 15281



ICS 13.230

Ersatz für
DIN-Fachbericht
CEN/TR 15281:2007-11

**Explosionsfähige Atmosphären –
Explosionsschutz –
Leitsätze für die Inertisierung zum Explosionsschutz;
Deutsche Fassung CEN/TR 15281:2022**

Potentially explosive atmospheres –
Explosion prevention and protection –
Guidance on inerting for the prevention of explosions;
German version CEN/TR 15281:2022

Atmosphères explosibles –
Prévention des explosions et protection contre celles ci –
Guide de l'inertage pour la prévention des explosions;
Version allemande CEN/TR 15281:2022

Gesamtumfang 73 Seiten

DIN-Normenausschuss Sicherheitstechnische Grundsätze (NASG)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (CEN/TR 15281:2022) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 305 „Explosionsfähige Atmosphären – Explosionsschutz“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 095-02-01 AA „Explosionsschutzeinrichtungen (außer Flammendurchschlagsicherungen)“ im DIN-Normenausschuss Sicherheitstechnische Grundsätze (NASG).

Technische Reporte sind nicht Bestandteil des Deutschen Normenwerks.

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO/IEC 80079-20-2:2016/Cor 1:2017	siehe	DIN EN ISO/IEC 80079-20-2:2016-12
ISO 14520 (alle Teile)	siehe	DIN EN ISO 14520-1

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN-Fachbericht CEN/TR 15281:2007-11 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Normentitel mit einem Haupt- und Untertitel ergänzt;
- b) Dokument inhaltlich komplett überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN-Fachbericht CEN/TR 15281: 2007-11

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO/IEC 80079-20-2:2016-12, *Explosionsfähige Atmosphären — Teil 20-2: Werkstoffeigenschaften — Prüfverfahren für brennbare Stäube (ISO/IEC 80079-20-2:2016); Deutsche Fassung EN ISO/IEC 80079-20-2:2016*

DIN EN ISO 14520-1, *Feuerlöschanlagen mit gasförmigen Löschmitteln — Physikalische Eigenschaften und Anlagenauslegung — Teil 1: Allgemeine Anforderungen*

– Leerseite –

Deutsche Fassung

Explosionsfähige Atmosphären —
Explosionsschutz —
Leitsätze für die Inertisierung zum Explosionsschutz

Potentially explosive atmospheres —
Explosion prevention and protection —
Guidance on inerting for the prevention of explosions

Atmosphères explosibles —
Prévention des explosions et protection
contre celles-ci —
Guide de l'inertage pour la prévention des explosions

Dieser Technische Report wurde vom CEN am 9. Oktober 2022 angenommen. Er wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 305 erstellt.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Inertisierungsprozess und -verfahren	8
4.1 Allgemeines	8
4.2 Gestaltung und Betrieb von Inertisierungsanlagen	9
4.2.1 Allgemeines	9
4.2.2 Gestaltungsmerkmale	10
4.2.3 Betriebliche Merkmale	10
4.2.4 Zu berücksichtigende Informationen zu Inertgas	10
4.3 Erreichen einer inerten Atmosphäre	10
4.3.1 Allgemeines	10
4.3.2 Druckwechselverfahren	11
4.3.3 Vakuumwechselverfahren	15
4.3.4 Durchfluss-Inertisierung (Durchflussspülung)	19
4.3.5 Verdrängungs-Inertisieren mit Flüssigkeitsentnahme	20
4.4 Erweiterte präventive Inertisierung (Misch-Inertisierung)	22
4.4.1 Allgemeines	22
4.4.2 Technologie der Inertisierungsanlage	23
4.4.3 Prozess der erweiterten präventiven Inertisierung	24
4.4.4 Die erweiterte präventive Inertisierung in der Praxis	24
4.4.5 Überwachungs- und Regelungssystem	29
4.4.6 Instandhaltung von Inertisierungsanlagen, Überwachungs- und Regelungssystemen für den präventiven Explosionsschutz	37
4.4.7 Integrität, Sicherheit und Zuverlässigkeit	38
4.4.8 Betriebsanleitungen, Zeichnungen, Aufzeichnungen und Handbücher	39
Anhang A (informativ) Gleichungen für die Inertisierung durch Druckwechsel/Vakuumwechsel	41
A.1 Druckwechselverfahren	41
A.2 Vakuumwechselverfahren	42
Anhang B (informativ) Berechnungen für Durchfluss-Inertisierung	44
Anhang C (informativ) Verdrängungs-Inertisierung für Niederdruck-Lagerbehälter	46
Anhang D (informativ) Verhinderung des Eindringens von Luft durch Entlüftungsrohre	52
Anhang E (informativ) Sensortechnologie	54
E.1 Einleitung	54
E.2 Infrarotsensoren	54
E.2.1 Allgemeines	54
E.2.2 Allgemeine Anwendungen	56
E.2.3 Beschränkungen	57
E.2.4 Störungen	57
E.2.5 Vergiftung	57
E.3 Elektrochemische Sensoren	57
E.3.1 Allgemeines	57
E.3.2 Allgemeine Anwendungen	58
E.3.3 Beschränkungen	58
E.3.4 Störungen	59
E.3.5 Chemischer Einfluss auf die Empfindlichkeit	59
E.4 Paramagnetischer Sauerstoffdetektor	59
E.4.1 Allgemeines	59
E.4.2 Allgemeine Anwendungen	60
E.4.3 Beschränkungen	60

E.4.4 Störungen	60
E.4.5 Vergiftung	61
Anhang F (informativ) Erweitertes präventives Inertisierungsverfahren für Mahl-, Handhabungs- und Lagereinrichtung für Kohlepulver	62
Anhang G (informativ) Erweitertes präventives Inertisierungsverfahren für Handhabungs- und Lagereinrichtungen für Biomasse	65
Literaturhinweise	68

Bilder

Bild 1 — Für das Inertisieren von Einrichtungen zu beachtende Sauerstoffkonzentrationen	9
Bild 2 — Im Gefäß erreichte Sauerstoffkonzentration für verschiedene Anzahlen von Druckwechseln (2 bis 5) bei einer Sauerstoffkonzentration in der Stickstoffversorgung von 200 ppm	13
Bild 3 — Im Gefäß erreichte Sauerstoffkonzentration für verschiedene Anzahlen von Druckwechseln (2 bis 5) bei einer Sauerstoffkonzentration in der Stickstoffversorgung von 1 %	14
Bild 4 — Im Gefäß erreichte Sauerstoffkonzentration für verschiedene Anzahlen von Druckwechseln (2 bis 5) bei einer Sauerstoffkonzentration in der Stickstoffversorgung von 3 %	15
Bild 5 — Im Gefäß erreichte Sauerstoffkonzentration für verschiedene Anzahlen von Vakuumwechseln (2 bis 6) bei verschiedenen maximalen Vakuumwerten für eine Sauerstoffkonzentration in der Stickstoffversorgung von 200 ppm	17
Bild 6 — Im Gefäß erreichte Sauerstoffkonzentration für verschiedene Anzahlen von Vakuumwechseln (2 bis 6) bei verschiedenen maximalen Vakuumwerten für eine Sauerstoffkonzentration in der Stickstoffversorgung von 1 %	18
Bild 7 — Im Gefäß erreichte Sauerstoffkonzentration für verschiedene Anzahlen von Vakuumwechseln (2 bis 6) bei verschiedenen maximalen Vakuumwerten für eine Sauerstoffkonzentration in der Stickstoffversorgung von 3 %	19
Bild 8 — Theoretische Inertgasmenge als Vielfaches des benötigten Gefäßvolumens zum Erreichen einer festgelegten Restsauerstoffkonzentration mit einer idealen Mischung QUELLE: ESCIS (Expert Commission for Safety in the Swiss Chemical Industry)	25
Bild 9 — Anordnung des CO ₂ -Hochdruckbehälters — Errichtung in klimatisiertem Raum	26
Bild 10 — Anordnung eines CO ₂ -Niederdruckbehälters mit Umgebungsverdampfer-Installation — Errichtung außerhalb von Gebäuden	27
Bild 11 — Druck-Enthalpie- (p, h) Diagramm für CO ₂ fest — flüssig — Dampf (Quelle: Plank & Kuprianoff)	28
Bild 12 — CO ₂ -Eigenschaften von gesättigt fest, flüssig und Dampf (Quelle: Plank & Kuprianoff)	28
Bild 13 — Beispiel für Messstellen in einem Kohlemühlensystem mit Lagern	33
Bild 14 — Für das Inertisieren von Staub enthaltende Einrichtungen zu beachtende Sauerstoffkonzentrationen	34
Bild 15 — Übliche Abhängigkeit von der Prozesstemperatur und der SGK mit Stickstoff-Inertgas (Quelle: DEKRA-Forschungsbericht SGK)	36
Bild 16 — Beispiel für Messstellen in einem Kohlemühlensystem mit CO ₂ -Speicher und Regelungssystem	38
Bild C.1 — N ₂ -Druckregler	47
Bild C.2 — Nebeneinander angeordnete Druck-/Vakuumventilierung	48
Bild C.3 — Große gewichtsbelastete Notentlüftung	49
Bild C.4 — Angabe des Einstelldrucks/-vakuums	50
Bild C.5 — Beispiel für einen Niederdruckbehälter	51
Bild D.1 — Wert für den Exponenten N in Gleichung [19] für verschiedene Rohrdurchmesser	53
Bild F.1 — SPS-Darstellung der Inertisierungsanlage im CCR — Kohlenmühle (Quelle: Robecco Secure System)	64
Bild G.1 — Beispiel für einen unteren Inertisierungsring und den Abdeckungsbereich (Quelle: EN ISO 20024:2020)	66

Bild G.2 — Prinzipdarstellung der Gestaltung der Gasrohrleitung und der in den Siloboden
eingelassenen Gaseintritte (Quelle: EN ISO 20024:2020) 66

Bild G.3 — SPS-Darstellung der Inertisierungsanlage im CCR — Biomasse-Lager (Quelle: robecco) 67

Tabellen

Tabelle 1 — Hauptmerkmale der Inertisierung Druckwechselverfahren 12

Tabelle 2 — Hauptmerkmale der Vakuumwechsel-Inertisierung 16

Tabelle 3 — Hauptmerkmale der Durchfluss-Inertisierung 20

Tabelle 4 — Hauptmerkmale der Verdrängungs-Inertisierung mit Flüssigkeitsentnahme 22

Tabelle 5 36

Tabelle A.1 — Charakteristischer zeitlicher Druckanstieg in Vakuumanlagen 43

Tabelle A.2 — Ausgewählte Werte für $k = C_p/C_v$ für verschiedene Inertgase 43

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (CEN/TR 15281:2022) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 305 „Explosionsfähige Atmosphären – Explosionsschutz“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt CEN/TR 15281:2006.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

1 Anwendungsbereich

Inertisieren ist eine Maßnahme zur Vermeidung von Explosionen oder Bränden. Durch das Einbringen eines Inertgases in eine gegen Explosionen oder Brände zu schützende Anlage wird der Sauerstoffgehalt unter eine bestimmte Konzentration gesenkt oder je nach Inertgas, Brennstoff und Prozess vollständig durch ein Inertgas ersetzt, bis keine Explosion und kein Brand mehr möglich ist.

Inertisieren kann ebenfalls eingesetzt werden, um Brände und Explosionen durch die Reduzierung des O₂-Gehalts zu verhindern.

ANMERKUNG Inertisieren kann außerdem angewendet werden, um Glutnester und Schwelbrände, die Hauptzündquellen in Pulverbrennstofflagern und -handhabungseinrichtungen sind, durch das Ersetzen der Luft durch eine ausreichende Menge an Inertgas in der Einrichtung zu verhindern.

Die folgenden Fälle sind durch die Leitsätze nicht abgedeckt:

- festes Inertpulver wird einem brennbaren Staub beigemischt;
- Verhinderung der Explosion einer explosionsfähigen Atmosphäre durch flammenlöschende Drahtgewebe in offenen Räumen von Behältern oder Tanks;
- Brandbekämpfung;
- Vermeiden einer explosionsfähigen Atmosphäre durch Überschreiten der oberen Explosionsgrenze eines brennbaren Stoffes;
- alles in Verbindung mit der Produktqualität (Oxidation oder Eindringen von Feuchte) oder Produktverluste;
- alle durch andere oxidierende Wirkstoffe, als Sauerstoff, verursachten explosionsfähigen Atmosphären.

Andere Technologien könnten in Kombination mit Inertisieren verwendet werden, wie etwa schwimmende Abschirmungen aus unabhängigen kollaborativen Schwimmern, die aus einer Anordnung kleiner Schwimmer bestehen, die nicht mechanisch verbunden sind, aber sich gegenseitig überlappen, um eine durchgängige Schicht zu bilden, die die Oberfläche der Flüssigkeit abdeckt.

Die Oxidation des Produkts oder Reduktion durch Verdampfung ist direkt proportional mit dem Oberflächen-Abdeckungsverhältnis und der Qualität des Inertisierens verbunden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 13237:2012, *Explosionsgefährdete Bereiche — Begriffe für Geräte und Schutzsysteme zur Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen*

EN ISO 28300:2008, *Erdöl, petrochemische und Erdgasindustrie — Be- und Entlüftung von Lagertanks mit atmosphärischem Druck und niedrigem Überdruck (ISO 28300:2008)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 13237:2012 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>

3.1

Sauerstoffgrenzkonzentration

SGK

en **limited oxygen concentration**

LOC

höchste Sauerstoffkonzentration in einem Gemisch einer entflammbaren Substanz mit Luft und Inertgas, bei dem noch keine Explosion ausgelöst wird, bestimmt unter festgelegten Prüfbedingungen

3.2

maximal zulässige Sauerstoffkonzentration

MZSK

en **maximum allowable oxygen concentration**

MAOC

höchste Sauerstoffkonzentration in einem Gemisch einer brennbaren Substanz mit Luft und Inertgas, bei dem noch keine Explosion ausgelöst wird, bestimmt unter festgelegten Prüfbedingungen

3.3

Auslösepunkt

TP, en: trip point

festgelegter Wert, bei dem die Prozesssteuerung eine Abschaltung auslöst

3.4

Einstellpunkt

ST, en: set point

festgelegter Wert, auf den die Prozesssteuerung die Sauerstoffkonzentration einregelt

3.5

untere Explosionsgrenze

UEG

en **lower explosion limit**

LEL

Konzentration von entflammbarem Gas oder Dampf in der Luft, unterhalb der die Mischung nicht explosionsfähig ist

3.6

obere Explosionsgrenze

OEG

en **upper explosion limit**

UEL

Konzentration von entflammbarem Gas oder Dampf in Luft, oberhalb derer die Gasatmosphäre nicht explosionsfähig ist

3.7

Inertgas

nicht-brennbares Gas, das keine Verbrennung unterstützen wird und in keiner Weise reagiert, das Explosionen hauptsächlich durch die Reduzierung des Sauerstoffgehalts in dem geschützten Raum vermeidet

Anmerkung 1 zum Begriff: Inertgas kann Argon, Stickstoff, Kohlendioxid oder eine Mischung dieser Gase sein.

3.8

Schutzvorlage

Ersetzen der Luft durch ein Inertgas in einer Einrichtung, um inerte Bedingungen zu erreichen

3.9

Schutzvorlageregler

Druckregler, die verwendet werden, um ein Inertgas in eine zu inertisierende Einrichtung einzuführen

3.10

Atemventil

Druck-/Unterdruckventil

Vorrichtung zur Minderung des Drucks oder Unterdrucks in Ladetanks durch Öffnen der Ventile bei einem vorgegebenen Einstellwert, um den Behälter vor Überdruck oder Unterdruck außerhalb der Bemessungsparameter der Behälter zu schützen

3.11

Flammendurchschlagsicherung

Vorrichtung, die an der Öffnung eines Gehäuses oder an der Verbindungsrohrleitung eines Systems von Gehäusen angebracht ist und deren beabsichtigte Funktion darin besteht, den Durchfluss zu ermöglichen, aber den Durchgang von Flammen zu verhindern

3.12

Gegendruckregler

Vorrichtung zur Regelung/Aufrechterhaltung des Gasdrucks unmittelbar vor ihrer Einbauposition

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Regler ist in der Lage, einen nahezu konstanten Einlassdruck innerhalb der Bemessungsparameter ungeachtet jeglicher Druck- oder Strömungsschwankungen in anderen Teilen der Anlage aufrechtzuerhalten.

3.13

Glutnester

Exothermische Oxidation ohne Flammenbildung, die sich selbst, d. h. unabhängig von der Zündquelle ausbreitet

Anmerkung 1 zum Begriff: Könnte mit Glühen einhergehen.

3.14

Speicherprogrammierbare Steuerung

SPS

en **programmable logic control**

PLC

elektronische Einrichtung zur Steuerung der logischen Abfolge der Ereignisse

4 Inertisierungsprozess und -verfahren

4.1 Allgemeines

Viele Prozesse werden routinemäßig inertisiert, um explosionsfähige Atmosphären durch die Reduzierung des O₂-Gehalts zu vermeiden, wenn potenzielle Zündquellen auftreten oder aktiv werden können. Inertisieren sollte die Zündquellenüberwachung nicht ersetzen, sondern ergänzen, um das Risiko ein akzeptables Maß zu senken.

Inertisieren erfordert, dass die Gestaltung, das Verfahren, die Instandhaltung und die Steuerung ihr Ziel der Reduzierung des Risikos explosionsfähiger Atmosphären und somit potenzieller Brände und Explosionen erreichen. Inertisieren kann darüber hinaus zusätzliche Risiken für das Personal durch die Bildung von Erstickungsatmosphären im Fall des Austretens von Inertgas in die Atmosphäre erzeugen und zu weiteren Umweltgefahren durch eingeschlossene Gase und Stäube in Abgasen führen. Solche Risiken sollten während der technischen Planungs- und Gestaltungsphase von Inertisierungsanlagen berücksichtigt werden.

Inertisierungsanlagen sind eine präventive Maßnahme und unterscheiden sich von Brandbekämpfungsanlagen (z. B. die flüssiges CO₂, gasförmiges N₂ oder Argon, oder eine spezielle Mischung von Gasen verwenden, um einen Brand zu löschen) und kurativen Explosionsschutzsystemen (wie Unterdrückungsmittel, Explosionsentlüftungsklappen usw.), die verwendet werden, um die Folgen oder den Schweregrad eines Brands oder einer Explosion, der/die bereits eingetreten ist, zu mindern.

4.2 Gestaltung und Betrieb von Inertisierungsanlagen

4.2.1 Allgemeines

Um eine ausreichende Risikominderung durch eine Inertisierungsanlage zu erreichen, sollten bestimmte Gestaltungs- und geeignete Inertisierungsverfahren je nach gewählter, nachfolgend beschriebener Technologie, angewendet werden.

Bei der Gestaltung oder Erhöhung der Automatisierung einer Anlage oder eines Prozesses ist es wichtig, sichere Betriebsbedingungen festzulegen. Es wird empfohlen, Sicherheitsniveaus abzuschätzen.

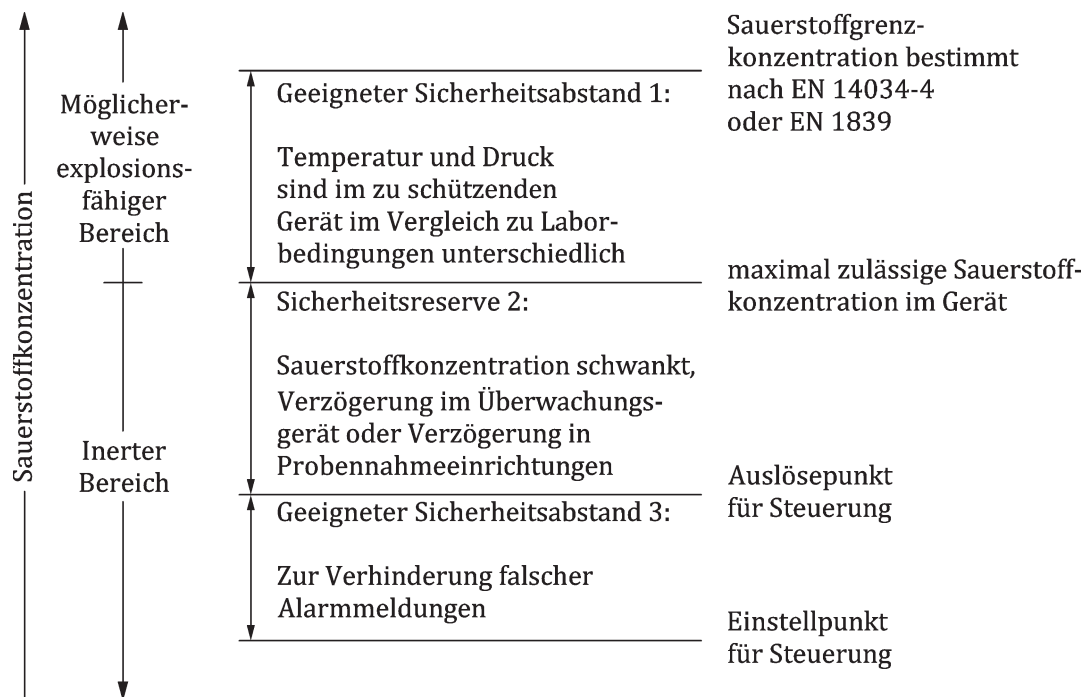


Bild 1 — Für das Inertisieren von Einrichtungen zu beachtende Sauerstoffkonzentrationen

Die Wirksamkeit des verwendeten Inertgases reduziert sich üblicherweise in der folgenden Reihenfolge:

- 1) CO₂;
- 2) Wasserdampf;
- 3) Rauchgase;
- 4) N₂;
- 5) Edelgase.

4.2.2 Gestaltungsmerkmale

- a) Die Sauerstoffgrenzkonzentration der Inertgaszufuhr (die SGK ist von der Art des verwendeten Inertgases und des verwendeten Brennstoffs abhängig) und der Sauerstoffsollwert am Ende eines Spülprozesses sollte bekannt sein (für Druck-/Vakuumwechsel).
- b) Ein geeignetes Verfahren für das Inertisieren sollte gewählt und die Parameter sollten ausgewählt werden (O₂-Analyse).
- c) Berechnungshinweise sollten vorgesehen oder das System sollte in Betrieb genommen werden, um nachzuweisen, dass es die theoretische Gestaltung erreichen kann.

4.2.3 Betriebliche Merkmale

- a) Die Inertatmosphäre wird entsprechend der Gestaltung und vor dem Beginn der Verarbeitung oder Handhabung von Materialien hergestellt.
- b) Das System wird auf den Sauerstoffpegel innerhalb der Bemessungs- und Sicherheitsparameter eingeregelt.
- c) Die Ursache von Systemausfällen sollte festgelegt und/oder erkannt, und es sollten Korrektur- oder Schutzmaßnahmen getroffen werden.
- d) Personal sollte geschützt, informiert und im Hinblick auf das potenzielle Erstickungsrisiko einschließlich für nach der Verarbeitung geplante Arbeitsschritte, falls ein sicheres Betreten des inertisierten Systems ermöglicht werden kann, geschult werden.

4.2.4 Zu berücksichtigende Informationen zu Inertgas

- a) Die SGK hängt von dem verwendeten Inertgas ab. Schwankungen des Gases an industriellen Standorten sollten daher berücksichtigt werden.
- b) Die Sauerstoffkonzentration des Inertgases selbst kann je nach verwendeter Versorgungsquelle von wenigen ppm bis zu mehreren Prozent schwanken.
- c) Für einige lokale Inertgas-Produktionsverfahren kann die Sauerstoffkonzentration je nach Produktionsrate schwanken. Dies sollte bei den Inertisierungsverfahren berücksichtigt werden.
- d) Verfügbarkeit der Inertgasversorgung und Notfallkapazität mit entsprechenden Verfahren im Fall des Ausfalls der Versorgung.
- e) Industriestandorte, die ihr eigenes Inertgas produzieren, sollten mit einem kryogenen Notfalllager oder einer Druckzylinderversorgung als Sicherung ausgestattet sein.
- f) Der maximale gleichzeitige Bedarf der Inertgasversorgung für einen Industriestandort und die Versorgungspriorität (Prozess der Abschaltung oder Reduzierung der Versorgung der nicht-sicherheitsbezogenen Inertisierung) ist festzulegen.

4.3 Erreichen einer inerten Atmosphäre

4.3.1 Allgemeines

Es bestehen vier grundlegende Verfahren zur Herstellung einer inerten Atmosphäre. Diese Verfahren werden nachfolgend beschrieben.

- Das Inertisieren im Druckwechselverfahren ist ein übliches Verfahren für Prozessgefäße (Reaktionsgefäße) und Serienfertigungsverfahren. Die Auswahl einer solchen Technologie hängt von dem Bemessungsdruck des Gefäßes sowie den üblichen Praktiken vor Ort und den Prozessanforderungen ab. Druckwechsel

werden hauptsächlich für kleine Stahlbehälter mit einfacher Geometrie, die druckbeständig sind, verwendet. Einige Gefäße mit komplexen Formen und Stauböden könnten schwer zu inertisieren sein.

- Das Inertisieren im Vakuumwechselverfahren ist ein weiteres übliches Verfahren für Prozessgefäße (Reaktionsgefäße) und Serienfertigungsverfahren. Die Auswahl einer solchen Technologie hängt von dem Bemessungsvakuum des Gefäßes sowie den Praktiken vor Ort und den Prozessanforderungen ab. Der Vakuumwechsel ist die bevorzugte Technologie für Einrichtung aus Glas, die erhöhten Vakuumbedingungen widerstehen müssen und eine komplexe Geometrie mit Stauböden haben, welche inertisiert werden müssen.
- Die Durchfluss-Inertisierung wird für kontinuierliche Produktionsprozesse, oder wenn Produkte während der Produktion in Prozessgefäße eingeführt werden, oder für Gefäße ohne Druckbemessung verwendet. Solche Verfahren implizieren eine zirkulierende Strömungstechnik, um einen hohen Inertgasverbrauch sowie Erstickungsrisiken für Personal und Umweltauswirkungen zu vermeiden.
- Die Flüssigkeitsverdrängung (Austausch gegen Inertgas) wird üblicherweise für das Inertisieren von Lagergefäßen in verschiedenen Größen angewendet.

4.3.2 Druckwechselverfahren

4.3.2.1 Prinzip

Die druckfeste Anlage wird dicht geschlossen und durch Zugabe eines Inertgases der Druck erhöht. Die Anlage wird dann zur Atmosphäre entlüftet und der Prozess wiederholt, bis die erforderliche Verringerung des Sauerstoffgehaltes erreicht ist. Der theoretische Sauerstoffgehalt nach einer festgelegten Anzahl von Druck- und Entlastungszyklen wird in die Funktion der Steuerungseinheit integriert. Drei Inertisierungsdurchläufe oder Zyklen werden grundsätzlich angewendet, um akzeptable Inertbedingungen (SGK) zu erreichen.

Ist eine Anlage groß und verzweigt, wird das Gas in den geschlossenen Enden der Anlage durch das Inertgas komprimiert, vermischt sich jedoch wahrscheinlich nicht gut. Dadurch dehnt sich das Gas bei Druckentlastung einfach aus und der Sauerstoffgehalt in den Abzweigen bleibt im Vergleich zu dem Wert vor der Kompression ähnlich. Daher ist es erforderlich bei der Berechnung des End-Sauerstoffgehalts diese Abzweige zu berücksichtigen. Aus diesem Grund sollte spezielle Form der Gefäße als wichtige Informationen für die Festlegung der Druckwechsel-Inertisierung berücksichtigt werden.

Im Fall eines sehr komplexen Systems kann ein Vakuumspülsystem besser sein und eine homogene Mischung sicherstellen.

Bei einem solchen Verfahren sollte eine kontinuierliche Sauerstoffüberwachung erfolgen.

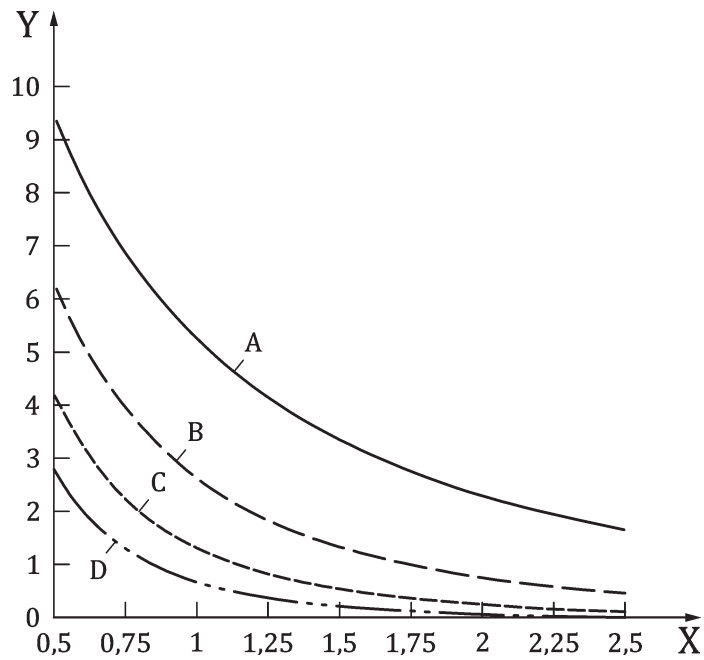
Wird eine Anlage mit Überdruck betrieben, wird an allen Undichtigkeiten Inertgas in die Arbeitsumgebung freigesetzt. Daher sollten angemessene Vorsichtsmaßnahmen ergriffen werden, um sicherzustellen, dass Erstickungsgefahren für das Personal durch freigesetztes Inertgas verhindert werden. Befinden sich Anlagen im Freien, stellt Erstickung nur dann ein Risiko dar, wenn massive Leckagen auftreten. In geschlossenen Arbeitsräumen muss eine geeignete Lüftung vorgesehen werden.

Tabelle 1 enthält die Hauptmerkmale für die Druckwechsel-Inertisierung.

Tabelle 1 — Hauptmerkmale der Inertisierung Druckwechselverfahren

Beschreibung	Das Gefäß wird mit Inertgas bis zum Solldruck druckbeaufschlagt und anschließend wieder auf Atmosphärendruck entlüftet. Der Druckwechsel wird so oft wie erforderlich wiederholt, um die Sauerstoffkonzentration auf den geforderten Wert zu reduzieren (siehe Anhang für geeignete Werte).
Geeignet für	Gefäße, die druckbeständig sind und isoliert und entlüftet werden können. Kleine Stahlgefäße mit geeigneter Geometrie
NICHT geeignet für	Niederdruck-Prozessgefäße, die Überdruckzyklen nicht standhalten können Gefäße, die schwer abzudichten sind Große Gefäße mit komplizierter Geometrie Einrichtungen aus Glas
Gestaltung	Die geeignete theoretische Anzahl an Druckzyklen kann Bild 2, Bild 3 und Bild 4 sowie den Gleichungen in Anhang A entnommen werden. Gesteuerte Druck- und Gegendruckregler, und Ventile für den Inertisierungsprozess. Steuerung des Sauerstoffgehalts. Serienproduktionsprozess
Anforderungen	Mindestens 2 Zyklen Verifizierung während der Inbetriebnahme, dass das Verfahren die Soll-Sauerstoffgrenzkonzentration erreicht „Angemessene“ Überwachung
Gute Praxis	Druckprüfung: enthalten, wenn der Solldruck erreicht wird (nur erster Wechsel)
Nutzen	Ermöglicht eine gute Mischung zur wirksamen Reduzierung der Sauerstoffkonzentration
Nachteil	Undichtigkeiten — Austretendes Material ist nicht zwingend inert, wenn es mit Luft gemischt wird. — Während des Lecks kann sich außerhalb des Gefäßes eine Erstickungsatmosphäre bilden. Große Systeme mit Abzweigungen können Stauböden haben, die nicht inertisiert werden.
Festgelegte Parameter	Oberer Druck, unterer Druck (üblicherweise atmosphärisch), Anzahl der Wechsel, Sollsauerstoff, Sauerstoff in Inertgas, Volumenstrom des Inertgases

4.3.2.2 Notwendige Wechsel des Inertisierungs-Druckwechselverfahrens



Legende

X Spitzendruck (barg)

Y Sauerstoffkonzentration im Gefäß (%)

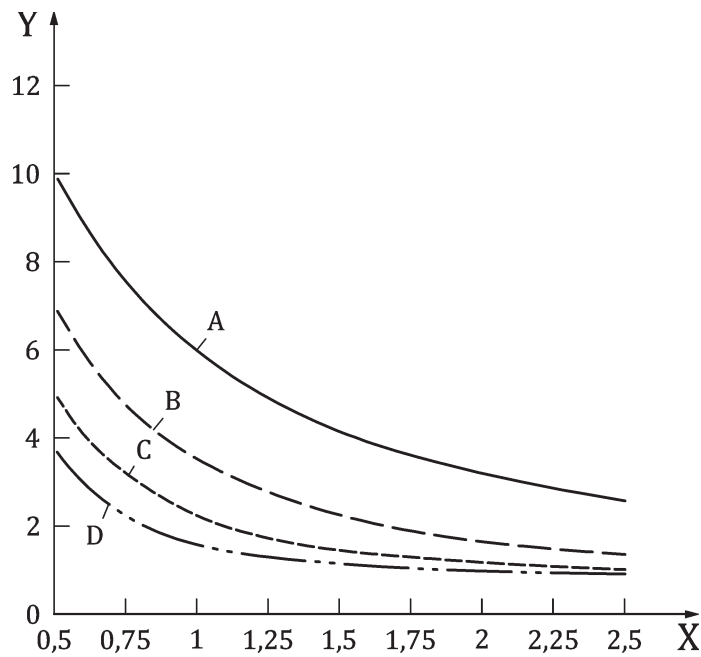
A 2

B 3

C 4

D 5

Bild 2 — Im Gefäß erreichte Sauerstoffkonzentration für verschiedene Anzahlen von Druckwechseln (2 bis 5) bei einer Sauerstoffkonzentration in der Stickstoffversorgung von 200 ppm



Legende

X Spitzendruck (barg)

Y Sauerstoffkonzentration im Gefäß (%)

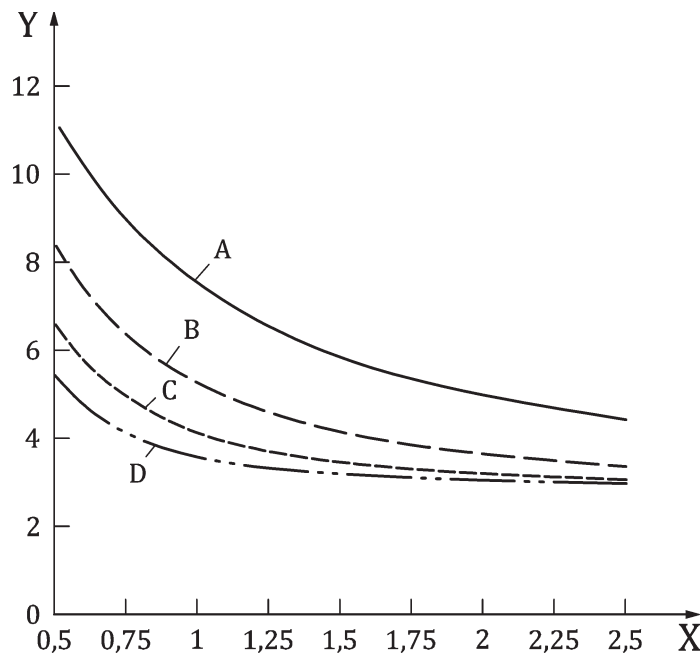
A 2

B 3

C 4

D 5

Bild 3 — Im Gefäß erreichte Sauerstoffkonzentration für verschiedene Anzahlen von Druckwechseln (2 bis 5) bei einer Sauerstoffkonzentration in der Stickstoffversorgung von 1 %



Legende

- X Spitzendruck (barg)
Y Sauerstoffkonzentration im Gefäß (%)
A 2
B 3
C 4
D 5

Bild 4 — Im Gefäß erreichte Sauerstoffkonzentration für verschiedene Anzahlen von Druckwechseln (2 bis 5) bei einer Sauerstoffkonzentration in der Stickstoffversorgung von 3 %

4.3.3 Vakuumwechselverfahren

4.3.3.1 Prinzip

Dieses Verfahren ist anwendbar, wenn ein Behälter keinem inneren Überdruck ausgesetzt werden kann, aber beständig gegen ein vollständiges Vakuum ist. Beispiele dieser Kategorie sind Glasbehälter.

Das Verfahren gleicht dem Überdruckverfahren, aber da der Behälter unter Vakuum steht, kann Luft eindringen, sodass der Systemintegrator dies berücksichtigen muss. 3 Inertisierungsdurchläufe oder Zyklen werden grundsätzlich angewendet, um akzeptable Inertbedingungen (SGK) zu erreichen. Wo die Wahrscheinlichkeit besteht, dass Sauerstoff oder Luft eindringt, weil das inertisierte System auf einen subatmosphärischen Druck eingeregelt ist, sollte die Sauerstoffkonzentration kontinuierlich gemessen werden.

Bei einer Anlage, die unter Vakuum betrieben wird, ermöglicht jede Undichtigkeit das Eindringen von Luft in die Anlage, wodurch schrittweise jede inerte Atmosphäre zerstört wird. Das Eindringen von Luft kann mittels zweier Verfahren entdeckt werden:

- Das inferentielle Verfahren beruht auf der Trennung der Vakuumquelle und der Überwachung des zeitlichen Druckanstiegs. So ist es möglich, die maximale Sauerstoffkonzentration zu schätzen, die nach einer gewissen Zeit in der Anlage bei festgelegtem Vakuum auftreten würde.
- Das effizienteste Verfahren für die Überwachung der Sauerstoffkonzentration wäre die Verwendung eines kontinuierlichen Messsystems, wodurch eine rechtzeitige Erkennung eines Anstiegs der Sauerstoffkonzentration in der Anlagenatmosphäre gegeben wäre.

Lecks können schwer zu überwachen sein, insbesondere bei großen Volumen wird ein positives Kontrollverfahren bevorzugt. Eine Kombination beider Verfahren (Vakuum- und Druckwechsel) kann unter Berücksichtigung der korrekten Sicherheitsparameter für jedes Verfahren verwendet werden.

Tabelle 2 enthält die Hauptmerkmale für die Vakuumwechsel-Inertisierung.

Tabelle 2 — Hauptmerkmale der Vakuumwechsel-Inertisierung

Beschreibung	Das Gefäß wird in ein Zielvakuum versetzt. Inertgas wird eingeführt, um den Umgebungsdruck im Gefäß wiederherzustellen. Der Vakuumwechsel wird wiederholt, um die Sauerstoffkonzentration auf den geforderten Wert zu reduzieren.
Geeignet für	Gefäße, die Vakuum widerstehen und isoliert werden können. Einrichtungen aus Glas
NICHT geeignet für	Niederdruckspeicher (oder nicht für Vakuum ausgelegte Gefäße)
Gestaltung	Die geeignete Anzahl an Vakuumzyklen kann Bild 5, Bild 6 und Bild 7 sowie den Gleichungen in Anhang A entnommen werden.
Anforderungen	Mindestens 2 Zyklen Dichtheitsprüfung – die Leckrate sollte 10 % der Vakuumphase oder der Druckanstiegsphase während der Inertgas-Zugabe nicht übersteigen. Verifizierung während der Inbetriebnahme, dass das Verfahren die geforderte Sauerstoffgrenzkonzentration erreicht Das Vakuum mit Inertgas aufheben.
Gute Praxis	— Vakuumphase zu geringstem erreichbarem Vakuumzustand — Vakuumanlage trennen — Druckanstieg des Vakuums überwachen
Nutzen	Es wird weniger Inertgas als für die Druckwechsel benötigt
Nachteil	Aufgrund der Antriebskraft (Druckdifferenz) wird Luft eingezogen Unter Vakuumbedingungen können explosionsfähige Mischungen auch Temperaturen weit unter dem Zündpunkt entstehen, so dass Vorsicht geboten ist
Festgelegte Parameter	Oberer Druck (atmosphärisch, absolut), unterer Druck (absolut), Anzahl der Wechsel, Soll-Sauerstoff, Sauerstoffkonzentration im Inertgas

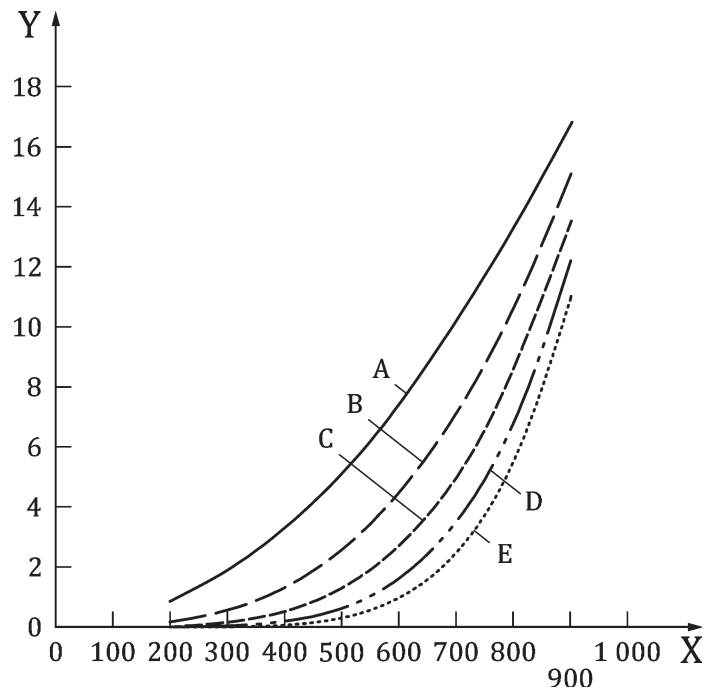
4.3.3.2 Notwendige Wechsel des Inertisierungs-Vakuumwechselverfahrens

Die erforderliche Anzahl an Wechseln kann anhand bewährter Gleichungen berechnet oder Bild 5, Bild 6 und Bild 7 für 3 verschiedene Sauerstoffkonzentrationen entnommen werden.

Ein Vakuum von maximal 500 mbar (a) wird empfohlen.

ANMERKUNG Die Anwendung eines höheren Vakuumgrads ist möglich, kann aber bedeuten, dass es schwierig ist, eine ausreichende Abdichtung herzustellen, damit die Druckprüfung die notwendigen Kriterien, insbesondere in Feststoff-Handhabungssystemen, wo die Kontamination der Dichtung durch Partikel ein Problem sein kann, erfüllt.

4.3.3.3 Tabelle der theoretischen Sauerstoffendkonzentration unter verschiedenen Bedingungen



Legende

X Absolutdruck in mbar(a) bei niedrigstem Vakuum

Y Sauerstoffendkonzentration im Gefäß (%)

A 2

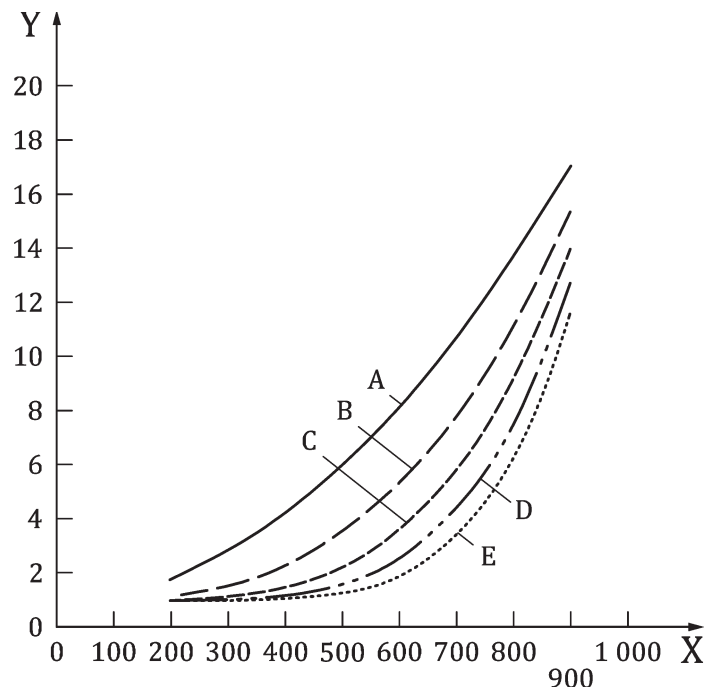
B 3

C 4

D 5

E 6

Bild 5 — Im Gefäß erreichte Sauerstoffendkonzentration für verschiedene Anzahlen von Vakuumwechseln (2 bis 6) bei verschiedenen maximalen Vakuumwerten für eine Sauerstoffkonzentration in der Stickstoffversorgung von 200 ppm



Legende

X Absolutdruck in mbar(a) bei niedrigstem Vakuum

Y Sauerstoffkonzentration im Gefäß (%)

A 2

B 3

C 4

D 5

E 6

Bild 6 — Im Gefäß erreichte Sauerstoffkonzentration für verschiedene Anzahlen von Vakuumwechseln (2 bis 6) bei verschiedenen maximalen Vakuumwerten für eine Sauerstoffkonzentration in der Stickstoffversorgung von 1 %