

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Reinraumtechnik
Dichtheit von Containments
Klassifizierung, Planung und Prüfung

Cleanroom technology
Tightness of containments
Classification, planning, and testing

VDI 2083
Blatt 19 / Part 19

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung	2	Preliminary note.....	2
Einleitung	2	Introduction.....	2
1 Anwendungsbereich	3	1 Scope	3
2 Normative Verweise	4	2 Normative references	4
3 Begriffe	4	3 Terms and definitions	4
4 Klassifizierung und physikalische Grundlagen	5	4 Classification and physical principles	5
4.1 Allgemeines	5	4.1 General remarks.....	5
4.2 Luftdichtheit des Containments	5	4.2 Airtightness of containment.....	5
5 Planungsgrundsätze zur Raumdichtheit	9	5 Planning principles for room tightness	9
5.1 Räume	9	5.1 Rooms.....	9
5.2 Isolatoren	17	5.2 Isolators	17
5.3 Planung der Dichtheitsmessung	21	5.3 Planning of tightness measurement	21
6 Dichtheitsprüfung zur Bestimmung der Leckluftvolumenströme	23	6 Test to determine leakage air flows	23
6.1 Testmethoden und Anforderungen an die Durchführung.....	23	6.1 Test methods and performance requirements	23
6.2 Akzeptanzkriterien	26	6.2 Acceptance criteria	26
6.3 Durchführung der Prüfungen	28	6.3 Performance of tests	28
7 Leckortung	38	7 Leak localisation	38
Anhang A Beispielhafte Istaufnahme	42	Annex A Example of current status review.....	42
Anhang B Beispielhafte grafische Auswertung	43	Annex B Example of evaluation graph	44
Anhang C Beispielhafte Darstellungen der Prüfverfahren.....	45	Annex C Examples of representations of test methods	45
Schrifttum	51	Bibliography	51

VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik (GBG)

Fachbereich Technische Gebäudeausrüstung

This is a preview. [Click here to purchase the full publication.](#)

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi.de/richtlinien), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter www.vdi.de/2083.

Einleitung

Der Bedarf nach einer vereinheitlichten Definition und Prüfung der Luftdichtheit von Räumen nimmt zu. Gründe dafür sind unter anderem die zunehmende Verwendung von Wasserstoffperoxid und anderen flüchtigen Dekontaminationsmedien, der vermehrte Einsatz von toxischen Substanzen in der Pharmaindustrie und der zunehmende Umgang mit gefährlichen Krankheitserregern und gentechnisch veränderten Organismen.

Bislang lag keine geeignete technische Regel zur Dichtheitsprüfung im Reinraumbereich vor:

- DIN EN ISO 9972 wird für die Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Wohngebäuden herangezogen und ist für die Prüfung von einzelnen Reinnräumen, die in der Regel an weitere Reinnraum- und Technikbereiche angrenzen, nur eingeschränkt geeignet.
- VDI 2083 Blatt 3 und DIN EN ISO 14644-3 beschreiben bisher ausschließlich den partikulären Dichtheitstest (Lecksuche) des Containments.
- DIN EN ISO 14644-7 beinhaltet einen Lecktest für Isolatoren auf Basis von ISO 10648-2; dieser ist jedoch nur für sehr dichte Containments geeignet.
- Weitere Dichtheitsprüfungen wurden für Hochsicherheitslabore (Regelwerk: Containment Standards for Veterinary Facilities, AS/NZS 2243-3) beschrieben.

Die Aufzählung ist nicht abschließend. Alle genannten Regelwerke beschreiben unterschiedliche Vorgehensweisen bei der Durchführung und sind bezüglich der Akzeptanzkriterien und der Messergebnisse nicht direkt vergleichbar. Es fehlt aber

Preliminary note

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions (www.vdi.de/richtlinien) specified in the VDI Notices.

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this standard.

A catalogue of all available parts of this series of standards can be accessed on the Internet at www.vdi.de/2083.

Introduction

There is growing demand for the unified definition and testing of the airtightness of rooms. The reasons for this include the growing use of hydrogen peroxide and other volatile decontaminants, of toxic substances in the pharmaceutical industry, and of hazardous pathogens and genetically modified organisms.

Until now there has been no suitable technical rule governing leak testing in the cleanroom sector:

- DIN EN ISO 9972 is referred to for the determination of the air permeability of residential buildings and has only limited suitability for the testing of individual cleanrooms that usually adjoin further cleanroom and technical areas.
- VDI 2083 Part 3 and DIN EN ISO 14644-3 so far describe exclusively the particle leak test for the containment.
- DIN EN ISO 14644-7 includes a leak test for isolators on the basis of ISO 10648-2; however, this is only suitable for very tight containments.
- Other leak tests are described for high-security laboratories (regulatory document: Containment Standards for Veterinary Facilities, AS/NZS 2243-3).

This list is not exhaustive. All the cited regulatory documents describe different procedures for implementation and are not directly comparable in terms of acceptance criteria and measurement results. However, there is a need not only for the

nicht nur an einer rein messtechnischen Standardisierung. Wenn die Raumdichtheit nicht ganzheitlich über alle Projektphasen betrachtet wird, wird womöglich vom Auftraggeber ein nicht näher spezifizierter „dichter“ Reinraum bestellt und bei der Dichtheitsprüfung festgestellt, dass inakzeptabel große Leckageluftströme vorhanden sind. In sehr aufwendiger Detailarbeit erfolgen dann Lecksuche und Korrektur. Viele fehlerhafte Installationen (insbesondere bei Reinraumdurchdringungen) sind im Nachhinein nicht mehr oder nur mit erheblichem Zeit- und Kostenaufwand korrigierbar, da z.B. die Zugänglichkeit nicht mehr gegeben ist.

Diese Richtlinie beinhaltet im Wesentlichen:

- die Auswahl von Raumdichtheitsklassen für bestimmte Anwendungen
- Empfehlungen für die Planung und Ausführung der Reinraumhülle mit Klärung der Schnittstellen zu prozess- und gebäudetechnischen Anlagen, die die Reinraumhülle durchdringen
- die Planung und Durchführung der Dichtheitsprüfung

Nur eine ganzheitliche Betrachtung, ausgehend von der Festlegung der Nutzeranforderungen über die Planung, Ausführung bis zur (wiederkehrenden) Dichtheitsprüfung, ermöglicht es, die geforderte Raumdichtheit sicherzustellen.

1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie gilt für alle Räume, die im Betrieb einen Über- oder Unterdruck gegenüber der Umgebung benötigen, um ein Schutzziel (Produktschutz, Personenschutz, Umgebungsschutz, Umweltschutz) zu erfüllen. Etwaige Luftdichtheitsanforderungen richten sich nach den Gefährdungen und den Gefahrenpotenzialen, die von Leckagen ausgehen können. Prüfumfang, Durchführung der Prüfung und erforderlichenfalls Lecksuche sind wiederum von den Dichtheitsanforderungen abhängig.

Insbesondere ist diese Richtlinie anwendbar auf Containments, z.B.:

- Reinräume im Allgemeinen
- Reinräume mit Dekontaminationssystemen, z.B. H₂O₂-Begasung
- Laboratorien mit speziellen Anforderungen
- Isolatoren

Luftkanäle außerhalb des Containments werden nach den Normen für Kanaldichtheit geprüft.

Die Anwendung auf ähnliche Bereiche (z.B. angrenzende kontrollierte Bereiche) mit speziellen Anforderungen ist möglich und sinnvoll.

standardisation of purely measurement techniques. If room tightness is not considered holistically across all stages of a project, a client will possibly order an imprecisely defined “tight” cleanroom and discover during leak testing that the leakage air flows are unacceptably large. Searches for the leaks and remedies are then undertaken in highly elaborate and detailed efforts. Many faulty installations (particularly in the case of cleanroom penetrations) cannot be remedied after the event, or only with considerable expenditure of time and money, e.g. as access is no longer possible, for example.

This standard covers essentially:

- the selection of room tightness classes for certain applications
- recommendations for the planning and execution of the cleanroom envelope with arrangements for the interfaces with process equipment and building services penetrating the cleanroom envelope
- planning and performance of leak testing

It is only possible to ensure the demanded room tightness if a holistic approach is adopted, ranging from the definition of user requirements via planning and execution through to (recurrent) leak testing.

1 Scope

This standard applies to rooms that in operation require a positive or negative pressure in relation to the ambient area in order to achieve a protection goal (protection of products, persons, the ambient area or the environment). Any airtightness requirements relate to the hazards and danger potential resulting from leakage. The scale of testing, performance of testing and, if necessary, the search for leaks depend in turn on the tightness requirements.

This standard applies particularly to containments, e.g.

- cleanrooms in general
- cleanrooms with decontamination systems, e.g. H₂O₂ fumigation
- laboratories with special requirements
- isolators

Air ducts outside the containment are tested in accordance with the standards for duct tightness.

The application of this standard to similar areas (e.g. adjacent controlled areas) with special requirements is possible and advisable.

2 Normative Verweise / Normative references

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieser Richtlinie erforderlich: /

The following referenced documents are indispensable for the application of this standard:

DIN EN 15727:2010-10 Lüftung von Gebäuden; Luftleitungen und Luftleitungsbauteile, Klassifizierung entsprechend der Luftdichtheit und Prüfung (Ventilation for buildings; Ducts and ductwork components, leakage classification and testing)

DIN EN ISO 9972:2015-12 Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden; Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden; Differenzdruckverfahren (Thermal performance of buildings;

Determination of air permeability of buildings; Fan pressurization method)

DIN EN ISO 14644-4:2003-06 Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche; Teil 4: Planung, Ausführung und Erst-Inbetriebnahme (Clean-rooms and associated controlled environments; Part 4: Design, construction and start up)

ISO 10648-2:1994-12 Containment enclosures, Part 2: Classification according to leak tightness and associated checking methods (Sicherheitsbehälter; Teil 2: Klassifizierung nach Leckdichte und damit verbundene Prüfmethoden)

VDI 4700 Blatt 1:2015-10 Begriffe der Bau- und Gebäudetechnik (Terminology of civil engineering and building services)

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Richtlinie gelten die Begriffe nach VDI 4700 Blatt 1 und die folgenden Begriffe:

Berstdruck

Druck, bei dem ein gegebenenfalls bleibender Schaden am Raum/System auftritt

Anmerkung 1: Bei Räumen/Systemen mit Berstscheiben ist dies der Berstdruck der Berstscheiben.

Anmerkung 2: Zur Verbesserung der Lesbarkeit wird im Text das Wort „Druck“ für Differenzdrücke verwendet, soweit nicht anders gekennzeichnet.

Bezugsdifferenzdruck

Druck, bei dem die Luftdichtheitsanforderungen eingehalten werden müssen

Anmerkung: Es können mehrere Bezugsdifferenzdrücke vereinbart werden. Die Prüfmethode soll vereinbart werden.

Containment (Dichtheitsebene, gasabgrenzende Ebene)

Hüllfläche um einen oder mehrere dichte Räume mit festgelegten Anforderungen

Anmerkung 1: Das Containment muss vor der Prüfung festgelegt und vereinbart werden.

Anmerkung 2: Das Containment ist eine Fläche im Sinne einer Bilanzgrenze.

Anmerkung 3: Im Sinne dieser Richtlinie können die Anforderungen an das Containment sowohl für eindringende wie auch ausströmende Kontaminanten definiert werden.

Dekontaminationsmedium

Gas oder Aerosol, mit dem ein Raum zur Dekontamination beaufschlagt wird

Beispiel: Wasserstoffperoxid (H₂O₂)

3 Terms and definitions

For the purposes of this standard, the terms and definitions as per VDI 4700 Part 1 and the following terms and definitions apply:

burst pressure

pressure at which possibly lasting damage to the room/system arises

Note 1: In rooms/systems with rupture discs, this is the burst pressure of the rupture discs.

Note 2: To improve legibility, the term pressure is used for pressure differences unless otherwise indicated.

reference pressure difference

pressure at which the airtightness requirements have to be complied with

Note: Several reference pressure differences can be agreed. Agreement is to be reached on the test method.

containment (tightness plane, gas-demarcating plane)

envelope surface around one or more tight rooms with defined requirements

Note 1: The containment is to be defined and agreed before testing.

Note 2: The containment is a surface area in the sense of a balance boundary.

Note 3: Under the terms of this standard, the requirements relating to the containment can be defined for both in- and outflowing contaminants.

decontaminant

gas or aerosol to which the room is exposed for decontamination

Example: hydrogen peroxide (H₂O₂)

Erstprüfung (Qualifizierung)

Prüfung bei Übergabe an den Auftraggeber zum Nachweis, dass die vereinbarten Akzeptanzkriterien eingehalten werden

Anmerkung: Das Ergebnis der Erstprüfung kann Grundlage für die Abnahme sein. Bei einem Isolator muss es sich dabei um die Erstprüfung im eingebauten Zustand handeln.

Leckortung

qualitative räumliche Zuordnung von Lecks ohne Bestimmung von →Luftdurchlässigkeiten

Luftdurchlässigkeit

nach dieser Richtlinie gemessener und auf das →Containment bezogener Leckluftvolumenstrom

maximaler Betriebsdifferenzdruck

maximal zulässiger Differenzdruck über das →Containment, der im laufenden Betrieb einschließlich der Ein-, Aus- und Umschaltvorgänge auftreten darf

Anmerkung 1: Er beträgt in der Regel 75 % des →Berstdrucks.

Anmerkung 2: Die Festlegung erfolgt im Rahmen der Nutzeranforderungen (URS).

Prüfdifferenzdruck

bei der Prüfung eingestellter Druck

Anmerkung: Es kann je nach Prüfmethode erforderlich sein, mehrere Prüfdrücke einzustellen.

Raum

zu prüfendes System

Beispiel: Reinraum, Isolator

wiederkehrende Prüfung (Requalifizierung)

Prüfung nach festgelegten Intervallen zum Nachweis der fortgesetzten Übereinstimmung mit den Anforderungen

4 Klassifizierung und physikalische Grundlagen

4.1 Allgemeines

In diesem Abschnitt werden die Methode und die Klassifizierung für die Luftdurchlässigkeit (Leckage) des Containments von Reinräumen und kontrollierten Räumen beschrieben.

4.2 Luftdichtheit des Containments

4.2.1 Anforderungen

Die Anforderungen an die Luftdichtheit betreffen nicht nur die Gebäudehülle, sondern situationsbedingt auch Trennwände innerhalb eines Gebäudes (Traktgrenzen, unterschiedliche Nutzungszonen usw.), Box-in-Box-Konstruktionen und sonstige

initial test (qualification)

test on delivery to the client to verify that the agreed acceptance criteria are complied with

Note: The result of the initial test can serve as the basis for acceptance. In the case of an isolator, this has to be the initial test in its installed state.

leak localisation

qualitative spatial detection of leaks without the measurement of →air permeabilities

air permeability

volumetric flow of leakage air measured in accordance with this standard and relating to the →containment

maximum operating pressure difference

maximum permissible pressure difference via the →containment that is permitted to arise during regular operation, including power-on, power-off and switching operations

Note 1: This is usually 75 % of →burst pressure.

Note 2: It is defined in connection with the user requirements specification (URS).

test pressure difference

pressure set during testing

Note: It can be necessary to set several test pressures, depending on the test method.

room

system being tested

Example: cleanroom, isolator

recurrent test (requalification)

test at specified intervals to verify continued compliance with the requirements

4 Classification and physical principles

4.1 General remarks

This section describes the method and the classification system for the air permeability (leakage) of the containment of cleanrooms and controlled rooms.

4.2 Airtightness of containment

4.2.1 Requirements

The airtightness requirements refer not only to the building envelope, but also, depending on the situation, to the partition walls within a building (compartment boundaries, different usage zones, etc.), box-in-box structures and other systems (e.g.

Systeme (z.B. Isolatoren, Schleusen), gegebenenfalls mit der dazugehörigen Lüftungstechnik.

Welche Einzelräume, Raumgruppen und Systeme in einem Gebäude den Luftdichtheitsanforderungen genügen müssen, ist durch den Planer oder das Projektpflichtenheft (URS) festzulegen. Das Containment muss in Grundrissplänen und Schnitten eindeutig gekennzeichnet sein (siehe Abschnitt 5). Die Berechnung des Flächeninhalts des Containments ist nachvollziehbar zu dokumentieren.

In diesen Unterlagen sind folgende Daten zu erfassen:

- Verlauf der Hüllfläche (Containment)
- Betriebsdrücke in Pa (Überdruck/Unterdruck/Referenzdruck/maximal zulässiger Betriebsdruck)
- Berstdruck in Pa (Überdruck/Unterdruck)
- Luftdichtheitsklasse (siehe Tabelle 1 und Bild 1)
- Bezugs- und Prüfdrücke in Pa (Überdruck/Unterdruck)
- maximaler Leckluftvolumenstrom (bezogen auf Luftdichtheitsklasse, Bezugsdruck und der Messung zugeordnete Containmentfläche)
- Teilprüfungen (gegebenenfalls Einzelraumprüfungen)

4.2.2 Grenzwerte der Luftdurchlässigkeit des Containments

Die Klassifizierung und Prüfung der Luftdichtheit von Räumen sowie gegebenenfalls von Gesamtsystemen stützt sich auf die Definitionen in DIN EN 15727 und DIN EN 16798-3. Die Luftdichtheitsklassen wurden jedoch sowohl zu geringeren als auch zu höheren Anforderungen hin erweitert.

Die Luftkanaldichtheitsklassen A bis D nach DIN EN 15727 sowie die Klassen ATC5 bis ATC1 nach DIN EN 16798-3 in die folgenden Raumdichtheitsklassen integriert und sind mit den entsprechenden Raumdichtheitsklassen identisch, siehe Tabelle 1.

Damit ist es möglich, ein Gesamtsystem, das aus einem oder mehreren Räumen und den zugehörigen Luftkanälen und Komponenten (z.B. Filter und Klappengehäuse) besteht, als Einheit zu prüfen.

isolators, airlocks), possibly with the associated ventilation equipment.

The planner or the user requirements specification (URS) has to define which individual rooms, room suites, and systems in a building have to satisfy the airtightness requirements. The containment is to be unambiguously marked on ground plans and sections (see Section 5). The calculation of the containment's surface area is to be comprehensibly documented.

These documents are to encompass the following data:

- layout of the envelope surface (containment)
- operating pressures in Pa (positive pressure/negative pressure/reference pressure/maximum permissible operating pressure)
- burst pressure in Pa (positive/negative pressure)
- airtightness class (see Table 1 and Figure 1)
- reference and test pressures in Pa (positive/negative pressure)
- maximum volumetric flow of leakage air (in relation to airtightness class, reference pressure and the containment surface area assigned to the measurement)
- part tests (possibly single room tests)

4.2.2 Limit values for containment air permeability

The classification and testing of the airtightness of rooms and possibly of overall systems are based on the definitions in DIN EN 15727 and DIN EN 16798-3. However, the airtightness classes have been extended to cover less stringent as well as more stringent requirements.

The air duct tightness classes A to D in DIN EN 15727 and classes ATC5 to ATC1 in DIN EN 16798-3 are integrated in the following room tightness classes and are identical to the associated room tightness classes, see Table 1.

It is therefore possible to test an overall system consisting of one or more rooms and the associated air ducts and components (e.g. filter and flap housings) as a single unit.

Tabelle 1. Dichtheitsklassifizierung nach dieser Richtlinie

Klasse ^{a)}	Prüf-/Bezugsdruck in Pa									f _k	
	10	50	100	250	500	1000	2000	5000			
	Luftdurchlässigkeit q _{V, Leck, spez, Δp} in ℓ/(m ² ·s)										
0										0,081	
1	A	ATC5	0,12060	0,34332	0,53872	0,97729	1,53354	2,40638	3,77601	6,85006	0,027
2	B	ATC4	0,04020	0,11444	0,17957	0,32576	0,51118	0,80213	1,25867	2,28335	0,009
3	C	ATC3	0,01340	0,03815	0,05986	0,10859	0,17039	0,26738	0,41956	0,76112	0,003
4	D	ATC2	0,00447	0,01272	0,01995	0,03620	0,05680	0,08913	0,13985	0,25371	0,001
5		ATC1	0,00149	0,00423	0,00664	0,01205	0,01891	0,02968	0,04657	0,08448	0,000333
6			0,00050	0,00141	0,00221	0,00402	0,00630	0,00989	0,01552	0,02816	0,000111
7			0,00017	0,00047	0,00074	0,00134	0,00210	0,00330	0,00517	0,00939	0,000037
			Luftdurchlässigkeit q _{V, Leck, spez, Δp} in m ³ /(m ² ·h)								
0			1,302516	3,70782	5,818176	10,554768	16,562196	25,988868	40,780908	73,980612	0,2916
1	A	ATC5	0,43416	1,235952	1,939392	3,518244	5,520744	8,662968	13,593636	24,660216	0,0972
2	B	ATC4	0,14472	0,411984	0,646452	1,172736	1,840248	2,887668	4,531212	8,22006	0,0324
3	C	ATC3	0,04824	0,13734	0,215496	0,390924	0,613404	0,962568	1,510416	2,740032	0,0108
4	D	ATC2	0,016092	0,045792	0,07182	0,13032	0,20448	0,320868	0,50346	0,913356	0,0036
5		ATC1	0,005364	0,015228	0,023904	0,04338	0,068076	0,106848	0,167652	0,304128	0,0011988
6			0,0018	0,005076	0,007956	0,014472	0,02268	0,035604	0,055872	0,101376	0,0003996
7			0,000612	0,001692	0,002664	0,004824	0,00756	0,01188	0,018612	0,033804	0,0001332

^{a)} Die Klassen A bis D nach DIN EN 15727 entsprechen den Klassen 1 bis 4 nach dieser Richtlinie. Die Klassen ATC5 bis ATC1 entsprechen der Klassifizierung nach DIN EN 16798-3.

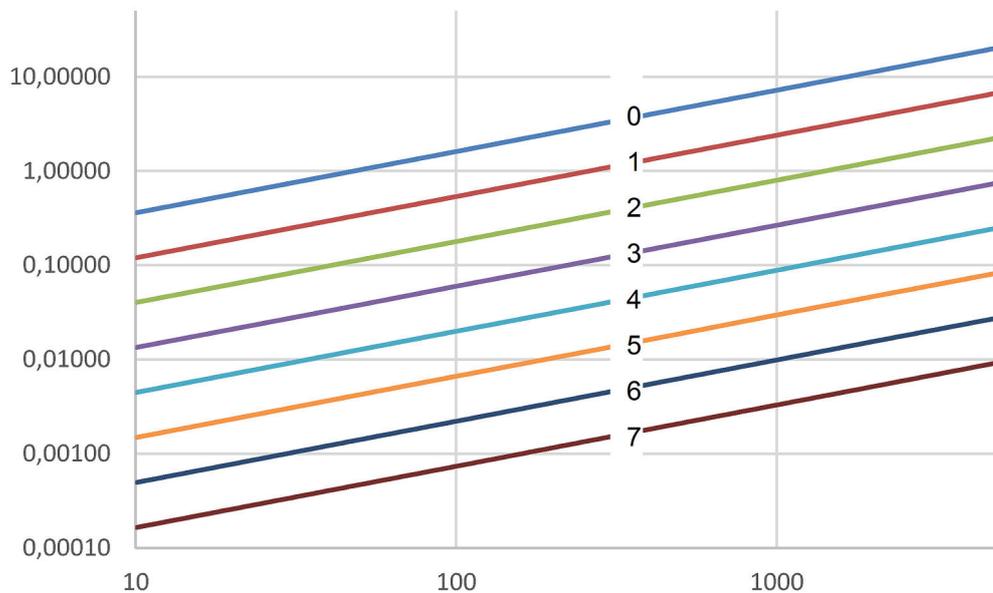


Bild 1 Grafische Darstellung der Klassen, Luftdurchlässigkeit als Funktion des Prüfdrucks in doppelt logarithmischer Darstellung