

Richtlinie für Luftdichtheitsmessungen bei Kühl- und Tiefkühlbauten

Stand 15. September 2017

V:\Richtlinie-KR - Entwurf September 2017.docx



Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	3
2	Normen.....	4
2.1	Übersicht	4
2.2	Grundlagen.....	4
3	Luftdurchlässigkeitsmessungen	5
3.1	Luftdichtheits-Messkonzept	5
3.2	Prüfverfahren.....	6
3.3	Umgang mit "kritischen Bauteilen"	6
3.4	Grenzwerte	6
3.4.1	Gebäudehülle / Bauschadenfreiheit	7
3.4.2	Inertgasdichtheit	7
3.4.3	Nicht erreichen des Grenzwertes.....	8
4	Informationen zum Ablauf der Messung.....	9
4.1	Die vorgezogene Messung	9
4.2	Die Orientierungsmessung	10
4.3	Gebäudepräparation.....	10
4.3.1	Messzonen	10
4.3.2	Zustand der Nachbarzonen	10
4.3.3	provisorische Abdichtungen.....	10
4.4	Datenauswertung	11
5	Berichterstattung	11
6	Leckagensuche	12
6.1	vorausgehende Prüfung	12
6.2	Prüfung bei nicht erreichtem Grenzwert.....	12
7	Normen / Links / Literatur.....	13



1 VORWORT

Hüllenbauteile von Kühl- oder Tiefkühlräumen müssen einwandfrei luft- und dampfdicht ausgebildet werden, da ansonsten grössere Schäden infolge Kondensat und/oder Eisbildung zu erwarten sind. Im Gegensatz zu beheizten Räumen, wo die Kondensatproblematik im Winter auftritt, besteht bei gekühlten Räumen die Problematik im Sommer, bei Tiefkühlräumen sogar ganzjährig. Im Sommer weist sowohl die Aussenluft, als auch die Raumluft ungekühlter Räume einen deutlich höheren Wassergehalt auf, als dies im Winter der Fall ist. Zudem weisen gekühlte Räume in der Regel einen Unterdruck von 5 bis 30 Pa auf. Infolgedessen entstehen bei Leckagen in den Hüllenbauteilen sehr rasch beachtliche Mengen an Kondensat, bei Tiefkühlräumen letztlich Schnee oder Eis.

Eine weitere Anforderung an die Luftdichtheit der Hüllenbauteile stellt eine allfällige Inertisierung dar, welche besonders bei gekühlten Hochregallagern häufig als Brandschutzmassnahme eingesetzt wird. Hier benötigt man die Luftdichtheit in Bezug auf den Personenschutz in benachbarten Arbeitsräumen und in Bezug auf den Energiebedarf für die Herstellung des Stickstoffes.

Sucht man nun in den einschlägigen Normen oder in der Fachliteratur nach Anforderungen, wird man nirgends fündig. Es gibt Normen zur Durchführung einer Dichtheitsprüfung sowie Normen mit Grenzwerten für beheizte Räume in der Grössenordnung von 16 - 24°C. Anforderungen für gekühlte Räume gibt es nicht. Neu ist eine VDI-Norm mit Anforderungen an Reinräume und Sicherheitslabors veröffentlicht worden. Aber auch diese Kriterien können nicht für gekühlte Räume übernommen werden.

Die vorliegende Richtlinie bezweckt nun, diese Lücke zu schliessen. Sie basiert auf Erfahrungswerten aus zahlreichen Luftdichtheitsmessungen und Bauschadenexpertisen. Die Grenz- und Zielwerte dieser Richtlinie stellen eine **reine Empfehlung** des Autors dar. Die Richtlinie für Luftdichtheitsmessungen bei Kühl- und Tiefkühlbauten hat in keiner Weise Normencharakter.



2 NORMEN

2.1 Übersicht

Als weltweit gültige Norm für die Durchführung von Differenzdruckmessungen gibt es die EN ISO 9972 "Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden - Differenzdruckverfahren" (2015/09). Die Schweizer Version heisst: SN EN ISO 9972 bzw. SIA 180.206 (2016/02). Diese Norm regelt die Anforderungen an die Messgeräte, die Durchführung der Messungen und den Inhalt des Messberichts. Sie enthält keine Grenzwerte.

Die Norm SIA 180 "Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden" (2014/07) regelt die Anforderungen an die Luftdichtheit von beheizten Gebäuden. Sie weist Grenz- und Zielwerte für die Luftdurchlässigkeit (q_{E50})¹ der Gebäudehülle auf. Im Kapitel 3 "Raumluftqualität und Luftdichtheit der Gebäudehülle" werden keine gekühlten Räume behandelt.

Bei den Normen unserer Nachbarstaaten (z.B. DIN 4108-7, Önorm B 8110-1) gilt dasselbe wie bei der SIA 180. Sie enthalten Anforderungen und konkrete Grenzwerte zur Luftdichtheit für beheizte Räume, sie treten jedoch nicht auf gekühlte Räume ein.

Die VDI 2083, Blatt 19 "Reinraumtechnik - Dichtheit von Containments; Klassifizierung, Planung und Prüfung" (2016/10) regelt die Luft- und Gasdichtheit von Reinnräumen, Sicherheitslabors und Räumen mit gefährlichen Gasen. Sie definiert 7 Luftdichtheitsklassen je nach Risiko des entsprechenden Containments. Die Anforderungen sind sehr hoch, können aber ebenfalls nicht auf Kühl- und Tiefkühlräume übertragen werden, da den Anforderungen ganz andere Risiken und Randbedingungen zugrunde liegen.

2.2 Grundlagen

Als Grundlage für die Durchführung der Differenzdruckmessung gilt auch hier die SN EN ISO 9972, wobei nachfolgende Abweichungen eine baustellentauglichere, flexiblere Messdurchführung bezwecken:

Die Abweichungen zu SN EN ISO 9972 sind:

- Die Genauigkeit der Druckmessung muss nur im Messbereich, also zwischen 20 und 90 Pa, im Bereich von ± 1 Pa sein.
- Die Genauigkeit des Thermometers muss im Bereich von ± 1 K sein.
- Es müssen pro Messreihe mindestens 5 Messpunkte in regelmässigen Abständen erfasst werden. Der maximale und minimale Messwert sollte 35 - 70 Pa auseinanderliegen, wobei der Referenzwert (50 Pa) klar innerhalb der Messreihe liegen soll.

Die Grundlagen für die Grenzwertdefinition sind Erfahrungswerte aus vergangenen Luftdichtheitsmessungen und Bauschadenexpertisen. Normative Grundlagen gibt es, wie bereits festgehalten, keine.

¹ In der Norm SIA 180 wird die inzwischen veraltete Bezeichnung q_{a50} verwendet.



3 LUFTDURCHLÄSSIGKEITSMESSUNGEN

Dieses Kapitel beschreibt die in der übergeordneten Norm SN EN ISO 9972 (2016/02) offen gelassenen oder nicht beschriebenen Punkte, die einer zwingenden Regelung bedürfen, wenn Grenzwerte gesetzt werden.

Nur mit diesen zusätzlichen Verfahrensvorgaben und Definitionen werden die von verschiedenen Personen durchgeführten Messungen vergleichbar.

3.1 Luftdichtheits-Messkonzept

Sobald ein Bauprojekt Räume mit unterschiedlichen Solltemperaturen ($\Delta\theta_i > 4 \text{ K}$) aufweist, müssen in einem Messkonzept die einzelnen Messzonen definiert und gegebenenfalls begründet werden. Sind inertisierte Lagerräume vorhanden sind diese ebenfalls als separate Messzonen in einem Messkonzept auszuweisen.

Nicht inertisierte Räume mit gleichen Solltemperaturen sind nach Möglichkeit als eine Messzone zusammenzufassen, damit aufwendige Abdichtungsmassnahmen bei Toranlagen in den Zwischenwänden vermieden werden können.

Im Messkonzept müssen sämtliche provisorischen Abdichtungsmassnahmen (Gebäudepräparation) sowie der Standort der Messeinrichtung festgelegt werden. In diesem Zusammenhang muss bestimmt werden, ob eine reine Unterdruckmessung oder allenfalls eine zusätzliche Überdruckmessung ausgeführt werden soll. Dies hat einen massgebenden Einfluss auf die Art und Weise der erforderlichen Abdichtungsmassnahmen. Da in gekühlten Räumen normalerweise ein Unterdruck (je nach Randbedingungen zwischen 5 und 30 Pa) herrscht, reicht eine Unterdruckmessung in der Regel aus.

Für das Messkonzept ist zudem der Zeitpunkt der Messung festzulegen. Hierfür muss vorab der Grund der Messung bestimmt sein:

- Für die **Kontrolle der Gebäudehülle** bezüglich Bauschadenfreiheit sollte die Messung so früh wie möglich durchgeführt werden. Dies deshalb, weil die Gebäudepräparation kaum noch zuverlässig ausgeführt werden kann, wenn bei den Toranlagen durchlaufende Fördermittel vorhanden sind. Fördermittel sollten zumindest in den Torbereichen bis zur Messung ausbleiben. Die Messung sollte ohnehin bei Raumlufttemperaturen über 5°C durchgeführt werden, so dass Nachbesserungen überhaupt noch möglich sind.
- Für die **Kontrolle der Inertgasdichtheit** sollte die Messung im Endzustand, kurz vor oder während der Abkühlung durchgeführt werden. Hier werden normalerweise keine provisorischen Abdichtungen benötigt (ausgenommen Druckausgleichsventile). Für die Möglichkeit einer allfälligen Nachbesserung sollte die Raumlufttemperatur auch hier über 5°C betragen.

Weist ein Bauprojekt zahlreiche, kleine, voneinander unabhängige Kühl- oder Tiefkühlräume auf, kann es aus organisatorischen und ökonomischen Gründen sinnvoll sein, nur eine repräsentative Auswahl zu messen. Die Auswahl ist im Messkonzept zu begründen.

Im Zusammenhang mit der Erstellung des Messkonzepts sind meist auch Absprachen mit den Planern und Fachplanern sowie der Bauleitung notwendig, denn aus organisatorischen und bautechnischen Gründen können nicht immer zu jedem Zeitpunkt, an jedem beliebigen Ort, Messungen ausgeführt werden.



3.2 Prüfverfahren

Je nach Grund der Messung sind unterschiedliche Prüfverfahren anzuwenden:

- Für die **Kontrolle der Gebäudehülle** bezüglich Bauschadenfreiheit gilt grundsätzlich das Prüfverfahren 2 nach SN EN ISO 9972. Hierbei werden alle absichtlich vorhandenen Öffnungen, die Druckausgleichsventile und alle Tore (Schiebetore, Folientore, Rolltore, Sektionaltore) abgedichtet. Türen, Fenster und RWA-Klappen werden geschlossen.
- Für die **Kontrolle der Inertgasdichtheit** gilt das Prüfverfahren 1 nach SN EN ISO 9972. Hierbei werden lediglich die Inertgasleitungen, die Druckausgleichsventile und allenfalls noch offene Kondensatabläufe abgedichtet. Sämtliche Türen, Tore, Fenster und RWA-Klappen werden geschlossen.

Bei Bauten mit nahezu 24-Stundenbetrieb werden hochfrequentierte Durchgänge manchmal nur mit Luftschottanlagen und Brandschutztoren ausgerüstet. In diesem Fall muss auch beim Prüfverfahren 1 jeweils eine provisorische Abdichtung angebracht werden. Die Brandschutztore haben in der Regel keine Rauch- und Luftdichtheitsanforderung und sind somit in geschlossenem Zustand für die Messung der Luftdichtheit untauglich. Aus Sicht des Personenschutzes sind derartige Abschlüsse jedoch ungünstig. Es entweicht trotz Luftschott häufig eine zu hohe Menge Inertgas in die angrenzenden Arbeitsräume.

3.3 Umgang mit "kritischen Bauteilen"

Der Begriff "kritische Bauteile" (bezüglich Luftleckagen) wurde in der Schweiz 2010 eingeführt. Er bezeichnet Bauteile, bei denen technisch bedingt eine mehr oder weniger hohe Luftdurchlässigkeit zu erwarten ist. Werden in einem Objekt viele solche Bauteile eingesetzt, so kann der Leckstrom bei der Messung so gross werden, dass es ohne deren Abdichtung nicht mehr möglich ist, strenge Grenzwerte für die Gebäudehülle einzuhalten.

Kühl- und Tiefkühlhäuser weisen häufig teils zahlreiche kritische Bauteile auf (Tore mit durchgehenden Fördermitteln). Die Bauschadenfreiheit wird hier mit Bauteilheizungen gewährleistet. Aus diesem Grund dürfen derartige Bauteile beim Prüfverfahren 2 in Abweichung zur SN EN ISO 9972 abgedichtet werden. Beim Prüfverfahren 1 (Inertisierung) geht es hauptsächlich um den Personenschutz. Hier sind mit Ausnahme der Druckausgleichsventile und ggf. offenen Haustechnikleitungen keine provisorischen Abdichtungen zulässig. Die Tore müssen so gut wie technisch möglich luftdicht ausgeführt werden.

3.4 Grenzwerte

Bei den nachfolgend dargelegten Grenz- und Zielwerten handelt es sich um **Empfehlungen**. Die Angaben haben keinen normativen Charakter.

Die Grenzwerte basieren auf Vergleichen zahlreicher Messungen bei Neubauten und bei Bauschadenexpertisen. Die Zielwerte entsprechen den besten Resultaten der vorhandenen Messungen. Sie zeigen auf, was technisch möglich ist, Bedingung ist allerdings eine einwandfreie Gebäudepräparation.

Bei einer Luftdichtheitsprüfung mit dem Differenzdruckverfahren ist immer zu beachten, dass es sich um einen globalen Leckageverlust der Messzonenhülle zum Zeitpunkt der Messung handelt. Die Anforderungen bezüglich der Gebäudehülle sind so tief angesetzt, dass man bei deren Unterschreitung davon ausgehen kann, dass Bauschäden bezüglich Luftkonvektion (Kondensat, Schnee, Eis) ausgeschlossen sind. Konzentriert sich der gemessene Leckageverlust allerdings auf wenige lokale Stellen sind dort trotz Einhaltung des Grenzwertes Bauschäden möglich.



3.4.1 Gebäudehülle / Bauschadenfreiheit

Bisher war es immer noch üblich, Grenzwerte auf der Basis der Luftwechselrate n_{50} zu definieren. Eine zuverlässige Bewertung der Messzonenhülle ist damit allerdings nicht möglich. Der aktuell häufig angesetzte Wert von $0,06 \text{ 1/h}$ ist bei gekühlten Räumen mit einem Volumen unter $15'000 \text{ m}^3$ kaum erfüllbar. Bei Volumen von über $100'000 \text{ m}^3$ wird der Wert auch mit grösseren, heiklen Leckagen problemlos erreicht.

Für eine zuverlässige Beurteilung der Messzonenhülle muss die hüllflächenbezogene Luftdurchlässigkeit q_{E50} herangezogen werden. Hierbei wird nicht zwischen Neubau und Erneuerung unterschieden.

Anforderung	q_{E50} [$\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$]
Grenzwert	≤ 0.20
Zielwert	≤ 0.10
Zusatzbedingungen: <ul style="list-style-type: none">- als Unterdruckmessung, oder Mittelwert aus Unter- und Überdruckmessung- mit Prüfverfahren 2, jedoch abgedichteten Toren (Schiebe-, Folien-, Roll- und Sektionaltore)- als vorgezogene Messung oder als Abnahmemessung- mit Gesamt-Messunsicherheit max. 15 %- natürliche Druckdifferenz maximal 5 Pa	
Anmerkungen: <ul style="list-style-type: none">- konzentrierte Leckageverluste sind auch bei erfülltem Grenzwert nicht zulässig- die Luftdurchlässigkeit kann sich im Verlauf der Zeit verändern	

Tabelle 1: Grenz- und Zielwerte zur Beurteilung der Messzonenhülle bezüglich Bauschadenfreiheit

Die Luftdurchlässigkeiten sind im Messbericht mit 2 Dezimalen anzugeben.

Für die Beurteilung, ob die Anforderung erfüllt ist, gelten die auf 2 Dezimalen gerundeten Messwerte.

3.4.2 Inertgasdichtheit

Auch hier wurde bisher meist die Luftwechselrate n_{50} zur Beurteilung herangezogen. Oft wurden Türe- und Tore abgedichtet, obwohl dies nicht zielführend ist. Die mit der Erstellung der Anlagen betrauten Firmen schätzen den Inertgasverbrauch anhand praxisorientierter Annahmen für die Luftwechselraten ab. Diese Annahmen wurden in der Regel als Anforderung (Grenzwert) für die Hüllenbauteile definiert. Die SUVA definiert bezüglich Personenschutz keinen Grenzwert. Sie stellt lediglich folgende Anforderung: "Die Ausbreitung der sauerstoffreduzierten Atmosphäre in andere, nicht dafür vorgesehene Räume ist zu verhindern (z. B. Ausbreitung via Maueröffnungen, Leitungsdurchführungen, Bodenabläufe, undichte Türen)".

Für eine zuverlässige Beurteilung der Messzonenhülle muss auch in diesem Fall die hüllflächenbezogene Luftdurchlässigkeit q_{E50} herangezogen werden. Es wird ebenfalls nicht zwischen Neubau und Erneuerung unterschieden.

Da die Bemessung des Inertgasverbrauchs über das Volumen erfolgt, ist zusätzlich zur Luftdurchlässigkeit q_{E50} die Luftwechselrate n_{50} im Messbericht auszuweisen.



Für die Überprüfung der Inertgasdichtheit ist das Prüfverfahren 1 der SN EN ISO 9972 anzuwenden. Sämtliche Türen und Tore werden lediglich geschlossen (nicht abgedichtet). Da der Leckageverlust eines Tors proportional deutlich höher ist, als jener der gesamten, restlichen Messzonenhülle, müssen die Torflächen bei der Festlegung des Grenzwertes einbezogen werden.

Die Luftdurchlässigkeit von Toren ist in der SN EN 12426 "Tore - Luftdurchlässigkeit - Klassifizierung" (2001/02) geregelt. Die Norm definiert Klassen von 0 bis 6. Bei den in gekühlten Räumen häufig eingesetzten Tortypen "Sektionaltor", "Spiraltor" und "flexibles SchnellaufTOR" sind Klassierungen von 0 bis 2 üblich. Rolltore erreichen praktisch nur die Klasse 0, sie sind für den Einsatz in gekühlten, insbesondere in inertisierten Räumen nicht geeignet.

Für den Grenzwert wird die Luftdichtheitsklasse 1 eingesetzt. Für den Zielwert wird die nächstbessere Luftdichtheitsklasse 2 vorausgesetzt.

Anforderung	q_{E50} [m ³ /(h·m ²)]
Grenzwert	$\leq \frac{A_S \times 0.20 + A_D \times 24.0}{A_E}$
Zielwert	$\leq \frac{A_S \times 0.10 + A_D \times 12.0}{A_E}$
Mit: <ul style="list-style-type: none">- A_S = Decken-, Wand-, Tür- und Bodenfläche (Türen, ggf. Fenster gemäss SN EN 12207)- A_D = Torfläche (Tore gemäss SN EN 12426)- A_E = Hüllfläche	
Zusatzbedingungen: <ul style="list-style-type: none">- als Unterdruckmessung, oder Mittelwert aus Unter- und Überdruckmessung- mit Prüfverfahren 1 (Druckausgleichsventile abgedichtet)- als vorgezogene Messung oder als Abnahmemessung- mit Gesamt-Messunsicherheit max. 15 %- natürliche Druckdifferenz maximal 5 Pa	
Anmerkungen: <ul style="list-style-type: none">- konzentrierte Leckageverluste sind auch bei erfülltem Grenzwert nicht zulässig- die Luftdurchlässigkeit kann sich im Verlauf der Zeit verändern	

Tabelle 1: Grenz- und Zielwerte zur Beurteilung der Messzonenhülle bezüglich Inertgasdichtheit

Die Luftdurchlässigkeiten und Luftwechselraten sind im Messbericht mit 2 Dezimalen anzugeben.

Für die Beurteilung, ob die Anforderung erfüllt ist, gelten die auf 2 Dezimalen gerundeten Messwerte.

3.4.3 Nicht Erreichen des Grenzwertes

Wird der Grenzwert nicht erreicht, ist es sinnvoll, die provisorischen Abdichtungen bezüglich Leckagen zu kontrollieren. Gelegentlich lösen sich deren Klebebänder durch den Differenzdruck während der Messung. Ein weiteres Augenmerk ist den Durchdringungen zu schenken, seien dies Haustechnikmedien oder Fördermittel (z.B. Hohlprofile von Ketten- oder Rollenförderern). Allfällige Leckagen im Bereich von provisorischen Abdichtungen können oft umgehend nachgebessert werden.



Werden Leckagen bei Durchdringungen oder in Hüllenbauteilen festgestellt, darf eine zweite Messung erst ausgeführt werden, wenn die Leckagen definitiv nachgebessert worden sind.

Provisorische Abdichtungen sind hier nur dann zulässig, wenn der Erfolg der Nachbesserung später problemlos optisch kontrolliert werden kann. (z.B. fehlende Kittfugen, offene Aussparungen). Derartige Abdichtungen müssen im Messbericht klar dokumentiert sein. Die Nachbesserung ist vom Messenden optisch zu kontrollieren, wobei ein Fotobeweis seitens Bauleitung zulässig sein kann.

4 INFORMATIONEN ZUM ABLAUF DER MESSUNG

Die Luftdurchlässigkeitsmessung kann vor oder nach Bauvollendung durchgeführt werden. Da Nachbesserungen bei Temperaturen unter 5°C nur noch schwer oder gar nicht mehr ausführbar sind, ist es bei gekühlten Räumen üblich, die Messung als sog. vorgezogene Messung auszuführen. Vom Bauprogramm her eignet sich hierfür oft die Abkühlphase im Plus-Bereich. Dann sind die Bauarbeiten weitgehend fertig und oft nur noch wenige Handwerker im Kühlraum. Zu diesem Zeitpunkt sind jedoch alle Fördermittel eingebaut, was Schwierigkeiten bei der Gebäudepräparation verursachen kann.

Bei grossen Tiefkühlräumen in Silobauweise kann es sinnvoll sein, eine zweite Messung nach Erreichen der Solltemperatur durchzuführen. Bei der Silobauweise (Gebäudehülle an den Lagerstellen befestigt) treten infolge der temperaturbedingten Volumenänderung der Bauteile während der Abkühlphase grössere "Setzungen" auf. Die Anschlüsse an ungekühlte, konventionell gebaute Gebäudeteile werden deshalb ausserordentlich beansprucht. Werden die Setzungen nicht eingeplant, versagen die Anschlüsse weitgehend. Aber auch bei der Berücksichtigung der Verschiebungen durch den Einbau von Dehnschlaufen oder elastischen Bauteilen können während dem Abkühlen Leckagen entstehen. Diese können mit einer zweiten Messung im abgekühlten Zustand erkannt werden. Da die relevanten Abdichtungen in aller Regel im Fassaden- bzw. Dachbereich liegen, ist deren Nachbesserung zwischen Frühling und Herbst jederzeit möglich.

4.1 Die vorgezogene Messung

Bei der sog. "vorgezogenen Messung" (vgl. SN EN ISO 9972, Art. 5.1.3) müssen alle relevanten Arbeiten für die Luft- und Dampfdichtheit der Hüllenbauteile der Messzone abgeschlossen sein. Erfüllt das Ergebnis die Grenzwertanforderung, so wird das Resultat als abschliessend anerkannt und es muss keine weitere Abnahmemessung nach Bauvollendung durchgeführt werden. Im Messbericht ist der Bauzustand bei der vorgezogenen Messung zu protokollieren, alle provisorischen Abdichtungen sind detailliert zu beschreiben.

Bei einer vorgezogenen Messung kann es vorkommen, dass ein Bauteil noch nicht funktionstüchtig ist oder gar noch fehlt (Türen, Tore, Haustechnikdurchdringungen etc.) In solchen Fällen darf ausnahmsweise eine provisorische Abdichtung dafür eingesetzt werden, was jedoch genau zu dokumentieren ist (Foto). Ein nachträglicher, korrekter Einbau ist durch die Messperson zu bestätigen (vgl. letzter Abschnitt in Kap. 3.4.3).

Die Bau-Fertigstellung bewirkt meist noch eine Veränderung der Luftdurchlässigkeit. Deshalb sind Messresultate aus vorgezogenen Messungen nicht repetierbar und sollten besonders gut dokumentiert werden!



4.2 Die Orientierungsmessung

Wird eine Messung mit einem abgekürzten, vereinfachten Verfahren durchgeführt (z.B. nur als 1-Punkt-Messung oder mit abgeschätzter Bezugsgrösse) oder mit anderen von der SN EN ISO 9972 und dieser Richtlinie abweichenden Messanordnungen, so ist das eine sog. "orientierende Messung". Damit verbunden sind auch andere, meist höhere Messunsicherheiten als bei Standard-Messungen. Die korrekte Bezeichnung einer solchen Messung lautet dann "Orientierungsmessung, in Anlehnung an Norm xy" wobei angefügt werden sollte, worin die Anlehnung / Nichtanlehnung besteht.

Ein Resultat einer "orientierenden Messung" kann wohl mit Grenzwerten verglichen werden, eine Beurteilung (erfüllt / nicht erfüllt) ist allerdings nicht zulässig.

4.3 Gebäudepräparation

4.3.1 Messzonen

Die zu messenden Zonen sind rechtzeitig abzuklären bzw. festzulegen. Grundlage hierfür ist das Luftdichtheits-Messkonzept (vgl. Kap. 3.1).

4.3.2 Zustand der Nachbarzonen

Gekühlte Räume grenzen praktisch immer an andere Gebäudeteile. Diese stellen Nachbarzonen dar. Nachbarzonen können weitere Messzonen oder auch unconditionierte oder beheizte Räume sein. Weicht die Solltemperatur einer Nachbarzone um mehr als 4 K von der Solltemperatur der Messzone ab oder ist eine Zone inertisiert und die andere nicht, so müssen die Trennbauteile luftdicht sein.

Damit diese Trennbauteile analog zu den Bauteilen der Gebäudehülle geprüft werden können (mit gleichem Differenzdruck), sind in allen Nachbarzonen Türen, Tore und / oder Fenster gegen aussen zu öffnen. Sollte dies aus betrieblichen Gründen nicht möglich sein (z.B. angrenzender Tiefkühlraum in Betrieb), muss dies zwingend im Messbericht deklariert werden.

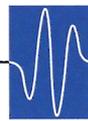
4.3.3 provisorische Abdichtungen

Kühlräume mit tiefen Solltemperaturen weisen normalerweise Druckausgleichsventile auf. Diese müssen in jedem Fall provisorisch abgedichtet werden.

Dasselbe gilt für offene Haustechnikleitungen wie Kältemittelrohre, Heissgasrohre, Kondensat- und ggf. Sanitärabläufe, Inertgasrohre, Elektrorohre, sowie ggf. Lüftungskanäle (eher selten in Kühlräumen). Bei vorgezogenen Messungen sind die haustechnischen Installationen oft noch nicht fertig.

Bei der Prüfung bezüglich der Bauschadenfreiheit werden zudem sämtliche Tore (entsprechend SN EN 12426) provisorisch abgedichtet. Korrekterweise wird hierbei das Tor der thermischen Hülle abgedichtet. Möglich ist auch die Abdichtung des Brandschutztors. Beim Brandschutztor ist zu beachten, dass an dieses ausserhalb eines Brandfalls keine Luftdichtheitsanforderungen gestellt werden. Oft werden dessen Abdichtungen erst im Brandfall aktiv (z.B. aufschäumende Dichtungen). Die sich oft in derselben Flucht befindlichen Brandabschottungen von Elektroinstallationen müssen vom Brandschutz her ebenfalls nicht luftdicht sein! Soll die provisorische Abdichtung einer Messzone im Bereich einer Brandabschottung zu liegen kommen, muss diese rechtzeitig als gasdicht bestellt werden (Messkonzept).

Sämtliche provisorischen Abdichtungen sind im Messbericht zu dokumentieren.



4.4 Datenauswertung

Für einen nachvollziehbaren Messablauf sind viele verschiedene Kennwerte zu berechnen und zu deklarieren. Im Normalfall werden diese von der Software geliefert, welche die Messanlagen-Vertreiber abgeben. Details zu den Bezugsgrößen, den Berechnungsformeln und den abgeleiteten Größen siehe SN EN ISO 9972, Kap. 6.

5 BERICHTERSTATTUNG

Grundsätzlich hat die Berichterstattung alle Punkte nach der Norm SN EN ISO 9972, Kap. 7 zu erfüllen. Zusätzlich sind folgende Angaben erforderlich:

- Angaben zur Identifizierung des Messobjektes (Adresse, Nutzung, Baujahr, Höhe über Meer)
- Solltemperatur der Messzone
- Wind Lagefaktor (A, B, C)² der Messzone
- Windstärke in Beaufort
- Darlegung der Bezugsgröße(n): A_E-Berechnungen (inkl. Planunterlagen), ggf. Volumen
- Höhe der Messzone (Stack-Effekt)
- Zweck der Messung / Prüfverfahren (1, 2)
- Standort des Messgeräts
- Messdatum
- Status:
 - vorgezogene Messung
 - Abnahmemessung
- genaue Beschreibung / Liste was, wie, wo provisorisch abgedichtet wurde
- Beschreibung des Zustandes der Nachbarzonen (offene Türen, Tore, Fenster). Ist diese nicht bekannt (unzugänglich), ist dies zu deklarieren.

Egal ob ein Grenz- oder Zielwert erreicht wurde oder nicht: Es wird empfohlen, die wichtigsten, aufgefundenen Leckagen zu beschreiben und wo möglich mit Fotos zu dokumentieren (vgl. Kap. 6).

Es wird empfohlen, die Anmerkungen in den Grenzwert-Tabellen (Kap. 3.4) in die Berichterstattung zu integrieren!

² **A:** sehr geschütztes Gebäude, **B:** teilweise exponiertes Gebäude, **C:** sehr exponiertes Gebäude



6 LECKAGENSUCHE

6.1 vorausgehende Prüfung

Vor der quantitativen Messung der Luftdurchlässigkeit sollten die kritischen Bauteile, wie auch die provisorischen Abdichtungen, bei einem Unterdruck von etwa 50 - 60 Pa auf grössere Leckagen hin kontrolliert werden (qualitative Prüfung). Da es sich bei geprüften Kühlräumen meist um grosse Objekte handelt, kann dies in der Regel nur stichprobenweise geschehen.

Die Leckagensuche kann mit folgenden Mitteln erfolgen (vgl. auch SN EN ISO 9972, Anhang E):

- von Hand (evtl. mit nassem Finger oder Handrücken)
- mit Strömungsprüfröhrchen
- mit Rauch oder künstlichem Nebel (eher bei kleinen Kühlzellen und Überdruck)
- mit Anemometer
- mit Wollfäden
- mit Infrarot-Thermografie

Bei der Beurteilung von Leckagen mit Infrarot-Thermographie ist immer etwas Vorsicht geboten: Einerseits hat es in potentiellen Leckagebereichen meist auch Wärmebrücken, andererseits bestehen die inneren Oberflächen von gekühlten Räumen meist aus Metallblech, welches thermische Spiegelungen aufweisen kann (z.B. Beleuchtung). Bei Metallblech ist auch immer auf den Emissionsgrad ϵ zu achten, welcher gegenüber üblichen Baumaterialien stark abweicht.

Für die Leckagensuche mit Infrarot-Thermografie wird eine Temperaturdifferenz benötigt, welche im Rohbau oft nicht oder nur ungenügend vorhanden ist. Bei Abnahmemessungen ist dies hingegen meist kein Problem.

Die Beurteilung von Leckagen basiert stets auf der Erfahrung der Messperson. Es gibt keine "Schwarz/Weiss"-Ergebnisse. Leckagen können nicht quantifiziert werden.

Aufgefundene Leckagen sind im Messbericht darzulegen und zu beurteilen, dazu gehören auch die Randbedingungen zur Leckagesuche (Druckdifferenz, etc.).

6.2 Prüfung bei nicht erreichtem Grenzwert

Wird der Grenzwert nicht erreicht, so ist eine umfangreichere Leckagensuche erforderlich. Einerseits sollten die provisorischen Abdichtungen nochmals geprüft werden, da sich diese evtl. zwischenzeitlich gelöst haben können. Andererseits sind sämtliche Türen, Tore, RWA-Klappen, ggf. Fenster und Haustechnikdurchdringungen zu kontrollieren. Hinzukommen Stichproben bei Bauteilzusammenschlüssen und bei systematischen Fugen (z.B. Stösse von Sandwichpaneelen).

Die Durchführung und die Berichterstattung erfolgen analog Kapitel 6.1.



7 NORMEN / LINKS / LITERATUR

- **SIA 180** "Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden" 2014/07
- **SN EN ISO 9972** "Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden - Differenzdruckverfahren" 2016/02
- **SN EN 12426** "Tore - Luftdurchlässigkeit - Klassifizierung" 2001/02
- **SN EN 12207** "Fenster und Türen - Luftdurchlässigkeit - Klassifizierung" 2017/05
- **VDI 2083, Blatt 19** "Reinraumtechnik - Dichtheit von Containments; Klassifizierung, Planung und Prüfung" 2016/10
- **Weitere Hilfsmittel** zur Luftdichtheit und deren Messung sind auf der Website MINERGIE® zu finden: <https://www.minergie.ch/de/zertifizieren/minergie-p>
- **Leitfaden Luftdichtheitskonzept**
<http://www.luftdicht.info>

Entwurf