

## Überwachung der Luftqualität in Schulgebäuden - Instrumente, Strategien zur Probennahme und Interpretation der Messergebnisse

*Monitoraggio della qualità dell'aria negli edifici scolastici - Strumenti, strategie di campionamento e interpretazione delle misure*

Diese UNI/PdR ergibt sich aus der Notwendigkeit, den Leitern von Schulgebäuden ein vereinfachtes Verfahren zur Überwachung, der im Schulgebäude herrschenden Luftqualität an die Hand zu geben, das eine ausreichende Zuverlässigkeit und Qualität der Messung gewährleistet. Sie unterstützt die Schulleitung auch dabei, das Problem besser zu verstehen, Anfragen an das Prüflabor zu stellen und die Messergebnisse zu interpretieren. Die UNI/PdR wurde im Rahmen des Kooperationsprogramms Interreg V-A Italien-Schweiz entwickelt.

Veröffentlicht am 20. Januar 2022

ICS 13.040.20, 13.040.99



© UNI  
Via Sannio 2 – 20137 Milano  
Telefono 02 700241  
[www.uni.com](http://www.uni.com) – [uni@uni.com](mailto:uni@uni.com)

Alle Rechte vorbehalten.

Der Inhalt des Dokuments (auch die vollständige Fassung) darf vervielfältigt oder verbreitet werden, sofern UNI informiert und zitiert wird. .

Dieses Dokument wird von UNI kostenlos herausgegeben.

## VORWORT

Diese UNI/PdR UNI/RP 122:2022 ist keine nationale Norm, sondern ein von UNI gemäß EU-Verordnung Nr. 1025/2012 veröffentlichtes Dokument, in dem Vorschriften zu Vorgehensweisen gesammelt werden, die innerhalb unserer Organisation, die eine Kooperationsvereinbarung mit UNI unterzeichnet hat, zur Anwendung kommen:

**IDM Südtirol - Alto Adige**  
 Piazza della Parrocchia, 11  
 I-39100 Bozen / Bolzano

Die vorliegende UNI/PdR wurde vom Arbeitskreis „Überwachung der Luftqualität in Schulgebäuden - Instrumente, Strategien zur Probennahme und Interpretation der Messergebnisse“ unter der Leitung von UNI erarbeitet, wobei sich der Arbeitskreis aus den folgenden Experten zusammensetzt:

*Carlo Battisti - Project Leader (IDM Südtirol-Alto Adige)*  
*Francesco Babich (Eurac Research)*  
*Mariadonata Bancher (Agentur für Energie Südtirol - KlimaHaus)*  
*Gianmaria Fulici (Autonome Provinz Bozen)*  
*Luca Pampuri (SUPSI - Fachhochschule der italienischen Schweiz)*  
*Katja Glücker (IDM Südtirol-Alto Adige)*  
*Akshit Gupta (Eurac Research)*  
*Clara Peretti (Autonome Provinz Bozen)*  
*Tiziano Teruzzi (SUPSI - Fachhochschule der italienischen Schweiz)*  
*Mirko Zancarli (Agentur für Energie Südtirol - KlimaHaus)*

Diese UNI/PdR wurde vom UNI-Präsidenten am 20 Januar 2022 ratifiziert und tritt am 20. Januar 2022 in Kraft.

Die UNI/PdR kommen ausschließlich im nationalen Kontext zur Anwendung und sind - wie von der EU-Verordnung Nr. 1025/2012 vorgesehen - „europäische Normungsprodukte“; es handelt sich hierbei um Dokumente mit technischen Vorschriften, die unter der Leitung von UNI auf Grundlage eines schnellen Verfahrens ausgearbeitet werden, an dem nur die Autoren beteiligt sind.

Die UNI/PdR stehen ab ihrer Veröffentlichung für einen Zeitraum von höchstens 5 Jahren zur Verfügung, innerhalb dessen sie in ein normatives Dokument (UNI, UNI/TS, UNI/TR) umgewandelt werden können oder zurückgezogen werden müssen.

Jeder, der glaubt, dass er nach Anwendung dieser UNI/PdR Verbesserungsvorschläge machen kann, wird gebeten, seine Beiträge an UNI, Ente Italiano di Normazione, zu senden, die sie berücksichtigen wird.

Diese Maßnahme wird von der Europäischen Union, dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung, dem italienischen Staat, der Schweizerischen Eidgenossenschaft und den Kantonen im Rahmen des Kooperationsprogramms Interreg V-A Italien-Schweiz ko-finanziert.

## ZUSAMMENFASSUNG

|   |           |
|---|-----------|
| <b>EINLEITUNG</b> .....   | <b>4</b>  |
| <b>1 ZWECK UND ANWENDUNGSBEREICH</b> .....                                      | <b>5</b>  |
| <b>2 NORMATIVE VERWEISUNGEN</b> .....   | <b>5</b>  |
| <b>3 BEGRIFFE</b> .....   | <b>7</b>  |
| <b>4 SYMBOLE UND ABKÜRZUNGEN</b> .....  | <b>8</b>  |
| <b>4.1 SYMBOLE</b> .....  | <b>8</b>  |
| <b>4.2 KÜRZEL</b> .....   | <b>8</b>  |
| <b>4.3 MASSEINHEITEN</b> .....  | <b>8</b>  |
| <b>5 GRUNDSATZ</b> .....  | <b>8</b>  |
| <b>6 VORBEREITENDE ANALYSEN UND ORTSBESICHTIGUNG VON SCHULGEBÄUDEN</b> .....    | <b>10</b> |
| <b>6.1 ALLGEMEINES</b> .....  | <b>10</b> |
| <b>6.2 ORTSBESICHTIGUNGEN</b> .....   | <b>10</b> |
| <b>7 INDIKATOREN, SCHADSTOFFE UND MESSVERFAHREN</b> .....                       | <b>10</b> |
| <b>7.1 ALLGEMEINES</b> .....  | <b>10</b> |
| <b>7.2 MASSEINHEIT</b> .....  | <b>11</b> |
| <b>7.2.1 TEMPERATUR</b> .....   | <b>11</b> |
| <b>7.2.2 FEUCHTIGKEIT</b> .....   | <b>11</b> |
| <b>7.2.3 LUFTDRUCK</b> .....  | <b>11</b> |
| <b>7.2.4 GASE IN DER LUFT</b> .....   | <b>12</b> |
| <b>7.2.5 LUFTWECHSELRATE UND VOLUMENSTROM</b> .....                             | <b>12</b> |
| <b>7.3 INDIKATOREN UND SCHADSTOFFE</b> .....                                    | <b>13</b> |
| <b>7.3.1 ÖFFNEN/SCHLIESSEN VON FENSTERN UND TÜREN</b> .....                     | <b>29</b> |
| <b>7.4 MESSVERFAHREN, MESSINSTRUMENTE UND KONTROLLE DER DATENQUALITÄT</b> ..... | <b>31</b> |
| <b>7.4.1 KONTROLLE DER QUALITÄT BEI SELBST VORGENOMMENEN MESSUNGEN</b> .....    | <b>35</b> |
| <b>ANHANG A</b> .....   | <b>40</b> |
| <b>ANHANG B</b> .....   | <b>43</b> |
| <b>ANHANG C</b> .....   | <b>45</b> |

|                            |    |
|----------------------------|----|
| ANHANG D .....             | 46 |
| ANHANG E.....              | 47 |
| LITERATURVERZEICHNIS ..... | 49 |

## **EINLEITUNG**

In Schulgebäuden finden viele und verschiedenste didaktisch-erzieherische Tätigkeiten statt, die sich von denen unterscheiden, die in anderen Arten von öffentlich zugänglichen Gebäuden stattfinden. Der infrastrukturelle „Wert“ und die „Qualität“ der Umgebung, die Anpassungsfähigkeit, die Vernetzung und die hohe Belegungsrate von Schulräumen haben einen starken Einfluss auf die Gesundheit, auf den Bildungsgrad und auf den Erziehungserfolg. Die Betreiber bzw. Leiter der Schulgebäude sind für die Gesundheit und für die Sicherheit der Schüler und des Lehrpersonals verantwortlich.

Die Qualität der Innenluft in Schulen (Kindertagesstätten, Kindergärten, Grundschulen, Sekundarstufe I und II), sowohl im öffentlichen als auch im privaten Sektor, ist ein wichtiges Thema für die Gesundheit und das Lernen. Zur Überwachung der Luftqualität in einem Schulgebäude und zur Überprüfung der Einhaltung gesetzlicher oder behördlicher Grenzwerte, die für die Konzentration eines oder mehrerer in der Umwelt vorhandener Schadstoffe festgelegt wurden, kann der Leiter selbständig handeln oder sich an ein Prüflabor wenden, das über die erforderliche Ausrüstung und das Fachwissen zur Durchführung der Messung verfügt.

Diese UNI/PdR ergibt sich aus der Notwendigkeit, den Leitern von Schulgebäuden ein vereinfachtes Verfahren zur Überwachung der im Schulgebäude herrschenden Luftqualität in die Hand zu geben, das eine ausreichende Zuverlässigkeit und Qualität der Messung gewährleistet. Sie unterstützt den Leiter/Betreiber auch dabei, das Problem besser zu verstehen, Anfragen an das Prüflabor zu stellen und die Messergebnisse zu interpretieren.

Diese UNI/PdR basiert auf aktuellen Normen, auf der einschlägigen Fachliteratur und auf den praktischen Erfahrungen der Autoren und Mitarbeiter öffentlicher Einrichtungen und Forschungsinstitute, die an ihrer Erstellung beteiligt waren.

Diese UNI/PdR kann nicht für die Festlegung von Überwachungsstrategien für Krankheitserreger wie Viren (z. B. von SARS-COV-2) verwendet werden.

## 1 ZWECK UND ANWENDUNGSBEREICH

Die UNI/RP verfolgt diverse Ziele:

- Die Festlegung eines vereinfachten Verfahrens zur Überwachung und Kontrolle der Luftqualität durch die Überwachung bestimmter Parameter. Das Verfahren kann von den Betreibern/Leitern der Gebäude selbstständig und ohne Unterstützung eines Prüflabors gehandhabt werden;
- Die Festlegung der Verfahren, die der Betreiber/Leiter befolgen kann, wenn die Überwachung einem Prüflabor anvertraut wird: Verständnis der Problematik, wie die Beauftragung zu vergeben ist, welche Parameter zu messen sind, wie die Ergebnisse der in Auftrag gegebenen Prüfungen zu bewerten und zu interpretieren sind.

Die in diesem Dokument beschriebenen vereinfachten Überwachungsverfahren ersetzen nicht die in den UNI/EN/ISO-Normen enthaltenen standardisierten Verfahren, die die einzigen Bezugsnormen für Prüflabors bleiben.

Es werden die wichtigsten Schadstoffe beschrieben, die in einem Innenraum wie einem Klassenzimmer vorhanden sein können.

Die UNI/PdR wird ergänzt durch:

- Anhang A: Formular für die Ortsbesichtigung von Schulen
- Anhang B: Prüfbericht gemäß UNI CEI EN ISO/IEC 17025
- Anhang C: Datenblatt des Messinstruments
- Anhang D: Kontrollkarte
- Anhang E: Darstellung der Ergebnisse.

Die UNI/RP befasst sich nicht mit der subjektiven Analyse und der Wahrnehmung anwesender Personen als Parameter für die Beschreibung der Luftqualität, sondern konzentriert sich auf instrumentelle Messungen.

## 2 NORMATIVE VERWEISUNGEN

ISO 16000-3:2011 Indoor air - Part 3: Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds in indoor air and test chamber air - Active sampling method

ISO 16000-4:2011 Indoor air - Part 4: Determination of formaldehyde - Diffusive sampling method

ISO 16000-34:2018 Indoor air - Part 34: Strategies for the measurement of airborne particles

ISO 16000-37:2019 Indoor air - Part 37: Measurement of PM<sub>2,5</sub> mass concentration

ISO 18593:2018 Microbiology of the food chain - Horizontal methods for surface sampling

UNI CEI EN ISO/IEC 17025:2018 Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e taratura

UNI EN 12341:2014 Aria ambiente - Metodo gravimetrico di riferimento per la determinazione della concentrazione in massa di particolato sospeso PM<sub>10</sub> o PM<sub>2,5</sub>

## UNI/PdR 122:2022

UNI EN 14211:2012 Qualità dell'aria ambiente - Metodo normalizzato per la misurazione della concentrazione di diossido di azoto e monossido di azoto mediante chemiluminescenza

UNI EN 15780:2011 Ventilazione degli edifici - Condotti - Pulizia dei sistemi di ventilazione

UNI EN 16798-1:2019 Prestazione energetica degli edifici - Ventilazione per gli edifici - Parte 1: Parametri di ingresso dell'ambiente interno per la progettazione e la valutazione della prestazione energetica degli edifici in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica

UNI EN 12792:2005 Ventilazione degli edifici - Simboli, terminologia e simboli grafici

UNI EN 17141:2021 Camere bianche ed ambienti controllati associati - Controllo della biocontaminazione

UNI EN ISO 10551:2019 Ergonomia dell'ambiente fisico - Scale di giudizio soggettivo per la valutazione degli ambienti fisici

UNI EN ISO 11665-1:2019 Misura della radioattività nell'ambiente - Aria: radon-222 - Parte 1: Origini del radon e dei suoi prodotti di decadimento a vita media breve e relativi metodi di misura

UNI EN ISO 11665-4:2021 Misura della radioattività nell'ambiente - Aria: radon-222 - Parte 4: Metodo di misura ad integrazione per la determinazione della concentrazione media di attività usando un campionamento passivo e analisi successiva

UNI EN ISO 11665-5:2020 Misure di radioattività in ambiente - Aria: radon-222 - Parte 5: Metodi di misura in continuo della concentrazione in attività

UNI EN ISO 11665-6:2020 Misure di radioattività in ambiente - Aria: radon-222 - Parte 6: Metodi di misura puntuali della concentrazione in attività

UNI EN ISO 16000-1:2006 Aria in ambienti confinati - Parte 1: Aspetti generali della strategia di campionamento

UNI EN ISO 16000-2:2006 Aria in ambienti confinati - Parte 2: Strategia di campionamento per la formaldeide

UNI EN ISO 16000-5:2007 Aria in ambienti confinati - Parte 5: Strategia di campionamento per i composti organici volatili (VOC)

UNI EN ISO 16000-15:2008 Aria in ambienti confinati - Parte 15: Strategia di campionamento per diossido di azoto (NO<sub>2</sub>)

UNI EN ISO 16000-19:2014 Aria in ambienti confinati - Parte 19: Strategie di campionamento di muffe

UNI EN ISO 16000-26:2012 Aria in ambienti confinati - Parte 26: Strategia di campionamento per l'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>)

UNI EN ISO 16000-32:2015 Aria in ambienti confinati - Parte 32: Indagine per verificare la presenza di inquinanti negli edifici

### 3 BEGRIFFE

Für die Zwecke dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe und Definitionen:

**3.1 Kalibrierung:** Der Prozess zur Bestimmung des Anzeigefehlers von Messinstrumenten und -systemen (sowie der Werte von Messproben), um genauere und zuverlässigere Messergebnisse zu gewährleisten. Der Kalibrierungsprozess von Messinstrumenten und Messproben besteht darin, sie mit einer höherwertigen Referenzprobe zu vergleichen, damit die mit ihnen vorgenommenen Messungen auf nationale oder internationale Standardgrößen rückführbar sind. (Quelle Accredia)

**3.2 Lüftung:** Natürliches Lüften durch Öffnen der Fenster. (Quelle: UNI EN 12792)

**3.3 Raum mit Lüftung:** Ein Ort, an dem der Luftaustausch ausschließlich durch das Öffnen von Fenstern, Türen oder Fenstertüren erfolgt.

**3.4 Raum mit mechanischer Belüftung:** Ein Ort, an dem der Luftaustausch durch kontrollierte mechanische Belüftungssysteme erfolgt, die zentral, punktuell oder hybrid sein können

**3.5 Kontrollkarte:** Ein Dokument, das eine statistische Überprüfung der Entwicklung der Leistung eines Messinstruments im Laufe der Zeit ermöglicht.

**3.6 Prüflabor:** Eine öffentliche oder private Einrichtung, die unter eigenem Namen oder innerhalb eines Unternehmens oder einer öffentlichen Einrichtung tätig ist, um Analysen, Tests und Diagnosen in verschiedenen Sektoren durchzuführen, je nach Kundengruppe, an die sie sich wendet. (Quelle: Accredia)

**3.7 Standardisiertes Verfahren:** Beschreibung einer Messmethode, die in einer Norm beschrieben wird, z.B. UNI, CEN, ISO.

**3.8 Vereinfachtes Verfahren:** Beschreibung einer Messmethode, die nicht in einer UNI-, CEN- oder ISO-Norm beschrieben wird, aber anerkannte Gültigkeit besitzt. Das vereinfachte Verfahren ist in Abschnitt 7.4 beschrieben und besteht aus einer Reihe von Schritten, die der Leiter selbständig durchführen kann.

**3.9 Leiter:** Natürliche oder juristische Person mit oder ohne Rechtspersönlichkeit, die für die kulturelle Identität und das Bildungsprojekt der Schule bürgt und für die Leitung der Schule gegenüber der Verwaltung und den Nutzern verantwortlich ist. Der Leiter kann der Schulleiter, der Koordinator oder eine andere Person sein.

**3.10 Innenraum:** Innenräume zum Leben und zum Arbeiten, die zu Wohn-, Freizeits- und Arbeitszwecke genutzt werden. Ein geschlossener oder abgegrenzter Raum, der durch Öffnungen in der Außenhülle mit der Außenwelt in Verbindung steht und in dem nicht-produktive-handwerkliche-industrielle Tätigkeiten stattfinden.

**3.11 Anwender:** Techniker, der die Prüfungen durchführt.

## 4 SYMBOLE UND ABKÜRZUNGEN

### 4.1 SYMBOLE

| Symbol          | Menge   | Maßeinheit              |
|-----------------|---|-------------------------|
| CO <sub>2</sub> | Kohlendioxid  | ppm                     |
| n               | Belüftungsrate  | Vol/h, h <sup>-1</sup>  |
| NO <sub>2</sub> | Stickstoffdioxid  | µg/m <sup>3</sup>       |
| TVOC            | Gesamte flüchtige organische Verbindungen                       | µg/m <sup>3</sup> , ppb |
| VOC<br>VOC      | flüchtige organische Verbindungen, als Einzelstoffe ausgedrückt | µg/m <sup>3</sup>       |
| PM10<br>PM2,5   | Feinstaub   | µg/m <sup>3</sup>       |

### 4.2 KÜRZEL

| Kürzel | Begriff   |
|--------|---|
| BTEX   | Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol                                       |
| IAQ    | Indoor Air Quality, Innenraumlufthqualität                                  |
| IEQ    | Indoor Environmental Quality, Innenraumklimaqualität                        |
| IR     | Infra Red, Infrarot   |
| NDIR   | Non Dispersive Infra Red, nicht dispersives Infrarot                        |
| PM     | Particulate Matter, Feinstaub   |
| TVOC   | Total Volatile Organic Compounds, gesamte flüchtige organische Verbindungen |
| VOC    | Volatile Organic Compounds, flüchtige organische Verbindungen               |
| WHO    | World Health Organization, Weltgesundheitsorganisation                      |

### 4.3 MASSEINHEITEN

|     |                           |
|-----|---------------------------|
| ppb | Teile pro Milliarde       |
| ppm | Teile pro Million         |
| Bq  | Becquerel                 |
| CFU | koloniebildende Einheiten |

## 5 GRUNDSATZ

Die Luftqualität ist zusammen mit der thermischen Behaglichkeit, dem visuellen Komfort und dem akustischen Komfort ein Bestandteil der Raumklimaqualität. Einige Schadstoffe stehen in engem Zusammenhang mit Parametern des Wärmekomforts, wie unten beschrieben.

Die Raumlufthqualität wird als akzeptabel definiert, wenn „keine Schadstoffe in Konzentrationen oberhalb der zulässigen Grenzwerte vorhanden sind und wenn eine große Mehrheit der exponierten Personen keine Unzufriedenheit äußert“. Der subjektive Ansatz, d.h. die Untersuchung der Zufriedenheit der anwesenden Personen, ihrer Beschwerden und ihrer Wahrnehmungen, ist ein komplexes Thema und kann nicht durch objektive Messungen untersucht werden, die Gegenstand dieser UNI/PdR sind.

Die in einem Klassenzimmer vorhandenen Schadstoffe können zwei Ursachen haben.

- Intern:
  - Sie werden von den Materialien ausgeschieden, aus denen die Struktur und die Möbel des Klassenzimmers bestehen;
  - Sie werden durch die Stoffwechselaktivitäten, der im Klassenzimmer anwesenden Personen, ausgeschieden;
  - Sie werden durch die Tätigkeiten, der im Klassenzimmer anwesenden Personen ausgeschieden;
  - Sie werden von vorhandenen Anlagen/Systemen ausgeschieden, wenn diese nicht ordnungsgemäß gewartet werden.
- Extern:
  - Fahrverkehr;
  - Gasförmige Emissionen aus zivilen und industriellen Anlagen;
  - Diffuse Emissionen von Baustellen und von unter freiem Himmel gelagertem Material;
  - Natürliche gasförmige Emissionen aus dem Untergrund (z.B. Radon).

Die Schadstoffbelastung in einem Raum nimmt zu, wenn gleichzeitig die folgenden Probleme auftreten:

- Unzureichender Luftaustausch;
- technische Mängel an technologischen Systemen, Konstruktionen und internen Elementen (Beschichtungen, Verkleidungen);
- Überhitzung (höhere Temperaturen können die Emission bestimmter Materialien begünstigen).

Die Schadstoffbelastung in einem Innenraum kann auf zwei verschiedene Arten kontrolliert werden:

- Durch den Leiter, indem er einige signifikante Parameter wie z.B. den CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Luft selbstständig überwacht  
 Vorteile: geringe Kosten, Kontrolle über den gesamten Zeitraum der Schultätigkeit;  
 Nachteile: wenige messbare Parameter, es ist geschultes Personal erforderlich.
- Durch den Leiter, indem er ein Prüflabor beauftragt  
 Vorteile: größere Anzahl messbarer Parameter, höhere Messgenauigkeit;  
 Nachteile: hohe Kosten.

Diese beiden Vorgehensweisen können in einigen Fällen alternativ, in anderen Fällen notwendigerweise in Kombination zur Anwendung kommen.

In Tabelle 1 sind die Parameter aufgeführt, die selbstständig gemessen werden können, und diejenigen, die die Einschaltung eines Prüflabors erfordern. Weitere Einzelheiten sind unter dem Punkt 7.4 beschrieben.

**Tabelle 1 - Parameter zur Luftqualität**

|   |   |
|---|---|
| Parameter, die von der Schule in eigener Regie gemessen werden können   | Die wichtigsten Parameter, die die Hinzuziehung eines Prüflabors erfordern  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)</li> </ul> Ergänzende Parameter (optional): <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lufttemperatur</li> <li>- relative Luftfeuchtigkeit</li> <li>- Luftdruck</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Formaldehyd</li> <li>- VOC, TVOC</li> <li>- Radon</li> <li>- Feinstaub</li> <li>- biologische Messungen</li> <li>- NOx</li> <li>- ...</li> </ul> |

## **6 VORBEREITENDE ANALYSEN UND ORTSBESICHTIGUNG VON SCHULGEBÄUDEN**

### **6.1 ALLGEMEINES**

Die Einstufung des Gebäudezustands ist die Grundlage für die Bewertungen der Vorgehensweise bei der Messung der Parameter der Raumluftqualität.

Für die Bewertung der Vorgehensweise bei den Messungen der Raumluftqualität kann die Norm UNI EN ISO 16000-32 hinzugezogen werden, in der die Anforderungen für die Erkundung des Vorhandenseins von Schadstoffen oder anderen schädlichen Faktoren in Gebäuden, die anschließende Probennahme in Verdachtsbereichen und die Identifizierung der Menge und Art des Schadstoffs beschrieben werden.

### **6.2 ORTSBESICHTIGUNGEN**

Anhang A enthält ein Beispiel für ein Formular zur Durchführung einer Ortsbesichtigung in einem Schulgebäude zum Zweck der Beurteilung von Luftqualität, einflussnehmenden Parametern sowie der technischen Systeme.

## **7 INDIKATOREN, SCHADSTOFFE UND MESSVERFAHREN**

### **7.1 ALLGEMEINES**

Die Messung der Luftqualität muss unbedingt korrekte Informationen liefern, und die Person, die die Messung durchführt, muss daher spezifische Kenntnisse über die Techniken und den Kontext haben, in dem die Messung durchgeführt wird. Eine Messung ist das Ergebnis des Einsatzes von Messinstrumenten in Verbindung mit standardisierten Messverfahren, aber auch der Kenntnis der Variablen, die das Ergebnis der Messung beeinflussen, und des Kontextes, in dem die Messung durchgeführt wird.

Um Daten, die z. B. in derselben Umgebung, aber von verschiedenen Instituten gemessen wurden, richtig interpretieren zu können, muss die Person, die die Interpretation vornimmt, den Grad der Gleichwertigkeit der verschiedenen Messmethoden kennen. Die in den UNI-, EN- und ISO-Normen aufgeführten Methoden werden als „Referenzmethoden“ bezeichnet. Alle anderen - nationalen oder alternativen - Methoden können angewendet werden, sofern im Vorfeld überprüft wurde, dass die erzielten Ergebnisse denen der Referenzmethode gleichwertig sind (hierfür gibt es spezielle Normen): Diese Überprüfung

muss von dem Labor durchgeführt werden, welches die alternative Methode anwendet, wobei der Leiter sicherstellen muss, dass das Labor die Überprüfung durchgeführt hat.

Die Prüfmethode beschreibt die Techniken zur Messung eines physikalischen oder chemischen Parameters, der die Luftqualität einer Umgebung beeinflusst. Diese Techniken haben im Wesentlichen zwei Ansätze, die im Folgenden beschrieben werden. Je nach Schadstoff/Indikator können entweder direkte oder indirekte Messungen oder beides vorgenommen werden.

- Indirekte Messung, bei der die zu messende Substanz zunächst in einem geeigneten Medium (Fläschchen, Filter, Lösung) konzentriert und dann in einem zweiten Moment bestimmt wird. Die indirekte Messung ist empfindlicher und präziser als die direkte Messung, denn das Ergebnis stellt die durchschnittliche Schadstoffkonzentration in dem Zeitraum dar, der für die Probenahme benötigt wurde (30 Minuten, 1 Stunde usw.). Ein Nachteil der indirekten Messung besteht darin, dass sie für kurze Probenahmezeiten nicht sehr geeignet ist und ihr Einsatz teurer ist als die direkte Messung.
- Bei der direkten Messung kommen automatische Messinstrumente zum Einsatz, mit denen das Messergebnis in sehr kurzer Zeit vorliegt (Sekunden). Direkte Messungen sind manchmal weniger empfindlich als indirekte Messungen, haben aber den Vorteil, dass sie Trends in der Konzentration eines Schadstoffs im Laufe der Zeit erkennen lassen. Bei der direkten Messung ist es wichtig, dass das Messinstrument das Ereignis zum gleichen Zeitpunkt messen kann, in dem es auftritt.

## 7.2 MASSEINHEIT

Die wichtigsten Maßeinheiten und ihre Umrechnung werden für die folgenden Raumluftparameter beschrieben: Temperatur, Feuchtigkeit, Druck, Gaskonzentration, Belüftungsrate.

### 7.2.1 TEMPERATUR

Die am weitesten verbreitete Maßeinheit ist das Grad Celsius (Symbol °C), während die Maßeinheit für die Temperatur im Internationalen System (SI) das Kelvin (Symbol K) ist. Die Umrechnung zwischen Grad Celsius und Kelvin ist wie folgt:  $T [K] = T [°C] + 273,15$

### 7.2.2 FEUCHTIGKEIT

Der am häufigsten verwendete Parameter ist die relative Luftfeuchtigkeit, definiert als das Verhältnis zwischen der in einem bestimmten Luftvolumen enthaltenen Wasserdampfmasse und der maximalen Dampfmasse, die in demselben Volumen unter gesättigten Bedingungen enthalten ist (diese muss bei einer bestimmten Temperatur ermittelt werden). Die relative Luftfeuchtigkeit wird in % angegeben.

Der Parameter, der die relative Luftfeuchtigkeit mit der Temperatur in Beziehung setzt, wird als spezifische Luftfeuchtigkeit bezeichnet. Er ist definiert als der Wasserdampfgehalt der feuchten Luft, d. h. das Verhältnis zwischen der Masse des Wasserdampfes und der Masse der trockenen Luft, die in demselben Volumen feuchter Luft enthalten ist. Die spezifische Luftfeuchtigkeit wird in  $\text{kg}_v/\text{kg}_{as}$ , ausgedrückt, wobei der Index v für Dampf (vapore) steht, während der Index as (aria secca) für trockene Luft steht.

### 7.2.3 LUFTDRUCK

Eine physikalische Größe, die das Verhältnis zwischen der Gewichtskraft der Luftsäule über einer Fläche und der Größe der Fläche ausdrückt. Er wird im internationalen System in Pascal (Pa) gemessen. Das Instrument, mit dem er gemessen wird, ist das Barometer.

### 7.2.3.1 Druckdifferenz (oder Differenzdruck)

Der Druckunterschied zwischen der Innenseite (des Gebäudes) und der Außenseite hängt vom Temperaturgradienten und dem Unterschied in der Luftdichte zwischen Innen- und Außenseite ab. Bei Abwesenheit anderer Kräfte (z. B. Wind) und unter der Annahme, dass es keinen Kamineffekt gibt, steht die Unterseite des Gebäudes im Unterdruck im Verhältnis zur Außenseite und die Oberseite unter Druck im Verhältnis zur Außenseite, wenn es drinnen wärmer ist als draußen. Wenn die Innenluft kälter ist, ist das Gegenteil der Fall. Dieses Phänomen ist eng mit der Migration von Radongas aus dem Boden in die Innenräume verbunden. Der Druckunterschied wird in  $\Delta p$  ausgedrückt.

### 7.2.4 GASE IN DER LUFT

Die Konzentration gasförmiger Schadstoffe in der Luft wird allgemein wie folgt ausgedrückt:

- ppm: Teile des Schadstoffs pro Million Teile Luft. 1 ppm = 1000 ppb
- ppb: Teile des Schadstoffs pro Milliarde Teile Luft. 1 ppb = 1/1000 ppm
- mg/m<sup>3</sup>: Milligramm des Schadstoffs pro Kubikmeter Luft
- µg/m<sup>3</sup>: Mikrogramm des Schadstoffs pro Kubikmeter Luft
- Vol%: Konzentration eines Schadstoffs, ausgedrückt als Verhältnis zum Luftvolumen
- Bq/m<sup>3</sup>: Becquerel pro Kubikmeter Luft, drückt die Radioaktivität eines Gases aus
- Fasern/Liter: Anzahl der Fasern pro Liter Luft.

Zur Umrechnung der Maßeinheiten werden die folgenden Gleichungen genutzt:

**Tabelle 2 - Umrechnung der Konzentrationen**

| Gas             | Umrechnung bei 25°C             |
|-----------------|---------------------------------|
| CO              | 1 ppb = 1,146 µg/m <sup>3</sup> |
| CO <sub>2</sub> | 1 ppb = 1,800 µg/m <sup>3</sup> |
| HCHO            | 1 ppb = 1,228 µg/m <sup>3</sup> |
| NO <sub>2</sub> | 1 ppb = 1,882 µg/m <sup>3</sup> |
| O <sub>3</sub>  | 1 ppb = 1,963 µg/m <sup>3</sup> |

### 7.2.5 LUFTWECHSELRATE UND VOLUMENSTROM

Die Luftwechselrate stellt die Geschwindigkeit dar, mit welcher die Luft in einem Raum durch Lüften oder Belüften ausgetauscht wird. Sie wird berechnet als die ausgetauschte Luftmasse im Verhältnis zum Gesamtvolumen des betreffenden Raums und wird für einen Zeitintervall von einer Stunde angegeben.

Zur Beschreibung des Luftwechsels in Innenräumen werden die folgenden Maßeinheiten verwendet:

- Volumenstrom: m<sup>3</sup>/h, L/s/Person, L/s/pro Fläche
- Belüftungsrate: vol/h, h<sup>-1</sup>.

### 7.3 INDIKATOREN UND SCHADSTOFFE

Die wichtigsten Indikatoren und Schadstoffe, welche die Luftqualität beeinflussen, sind in den folgenden Tabellen beschrieben. Für jeden Parameter werden eine Beschreibung, Einheiten zur Messung und ein Beispiel für die Darstellung und Ablesung der Daten gegeben.

#### Anleitung zum Lesen der Tabellen und Diagramme

Die in den Diagrammen angegebenen Werte sind als Beispiel für eine grafische Darstellung gemäß Anhang E zu verstehen, der sich auf die Darstellung von Messungen bezieht. Die Diagramme sind daher als Beispiele zu verstehen und dürfen nicht als Grenzwerte oder Richtwerte angesehen werden. Die Maßeinheiten für die einzelnen Parameter sind auf den Achsen dargestellt. Weitere Details finden Sie in der Beschreibung im Anschluss an die Diagramme.

#### Messunsicherheit

Jede Messung ist mit einem Fehler behaftet. Dieser Fehler muss geschätzt und dem Messergebnis mit dem Vorzeichen  $\pm$  zugeordnet werden. Der mit dem Ergebnis verbundene Messfehler wird als „Messunsicherheit“ bezeichnet. Der Ansatz zur Abschätzung der Messunsicherheit ist eine komplexe Angelegenheit und wird in diversen Normen behandelt, von denen die wichtigste der ISO/IEC Guide 98-3:2008 ist.

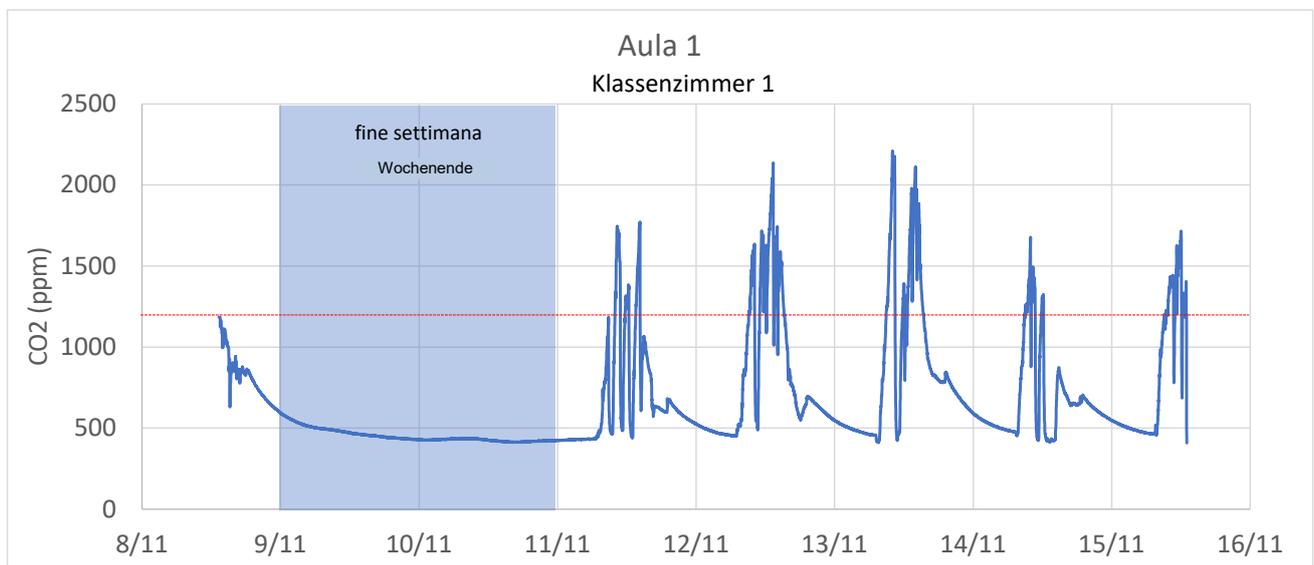
#### Dauer der Überwachung

Die Dauer der Überwachung hängt von ihren Zielen, den Eigenschaften der Messinstrumente und den erzielten Ergebnissen ab.

**Tabelle 3 - Kohlendioxid**

|   |   |
|---|---|
| Was ist das?                                      | CO <sub>2</sub> ist ein farb- und geruchloses Gas, ein Abfallprodukt der Zellatmung: Es wird vom Menschen durch das Ausatmen ausgestoßen. Es wird auch durch Verbrennungsprozesse erzeugt. Es ist der wichtigste Indikator für die Luftqualität. Obwohl CO <sub>2</sub> in geringen Konzentrationen kein Schadstoff ist, wird es gemessen, weil sich damit die Konzentration von Innenraumschadstoffen leicht quantifizieren lässt. |
| Quellen   | Die Hauptquelle für CO <sub>2</sub> -Emissionen in Innenräumen von Schulen sind Menschen.   |
| Zweck der Überwachung                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Beurteilung der Luftqualität in Räumen, in denen sich Personen aufhalten; kontinuierliche Überwachung.</li> <li>– Feststellen der Eigenschaften der freien/mechanischen Lüftung.</li> <li>– Beurteilung der Luftwechselstrategie.</li> <li>– Überprüfung von Lösungen für die Nachrüstung (Öffnungen, Belüftungssysteme...).</li> <li>– Vergleich mit Werten aus der Norm.</li> </ul>      |
| Maßeinheit  | ppm (Bezugsnormen: UNI EN 16798-1 und UNI EN ISO 16000-26).   |
| Messprinzip                                       | Infrarotsensoren (IR) oder nichtdispersive Infrarotsensoren (NDIR).   |
| Technische Bezugsnorm                             | Die UNI EN ISO 16000-26 beschreibt, wie Messungen der Kohlendioxidbelastung zu planen sind.   |
| Was der Überwachungsbericht enthalten sollte (bei | Zusätzlich zu den in Anhang B aufgeführten Inhalten (die sich auf die Norm UNI EN ISO 16000-26 beziehen) können die folgenden zusätzlichen  |

|   |   |
|---|---|
| Messungen durch ein Prüflabor)  | Informationen gesammelt werden, um das Verständnis der Überwachungsdaten zu verbessern: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Anzahl der Schüler (stundenweise);</li> <li>– Merkmale und Funktionsweise des Belüftungssystems (sofern vorhanden);</li> <li>– Öffnen/Schließen der Fenster/Türen.</li> </ul>  |
| Dauer, Details zum Messzeitraum und operative Angaben zur Überwachung | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Dauer: mindestens 1 Woche plus ein Wochenende.</li> <li>– Messintervall: 1 Minute.</li> <li>– Ort der Messung: gemäß UNI EN ISO 16000-26: Installation in einer Höhe von 1,0 bis 1,5 m über dem Boden als repräsentative Höhe der Atemluft der Anwesenden. Messinstrumente sollten nicht in der Nähe von Wärmequellen (Heizungs-, Wärmestrahlungssysteme) und von Öffnungen/Einlässen von Belüftungsanlagen aufgestellt werden. Ein Beispiel für die richtige Aufstellung ist in Abbildung 2 dargestellt.</li> </ul> |
| Beeinflussung durch andere Parameter                                  | Ja: Luftwechselrate, Lufttemperatur.  |
| Regulatorische oder gesetzliche Grenzen                               | Die Norm UNI EN 16798-1 beschreibt Aspekte der Eingangsparameter für das Innenraumklima für verschiedene Behaglichkeitskategorien. Der Wert von 1200 ppm (800 + 400) ppm wird als Referenzwert für gute Luftqualität in Schulgebäuden herangezogen. In Ermangelung von Überwachungsdaten wird der Wert von 400 ppm als Referenzwert für die CO <sub>2</sub> -Konzentration der Außenluft herangezogen (Quelle: UNI CEN/TR 16798-2).   |

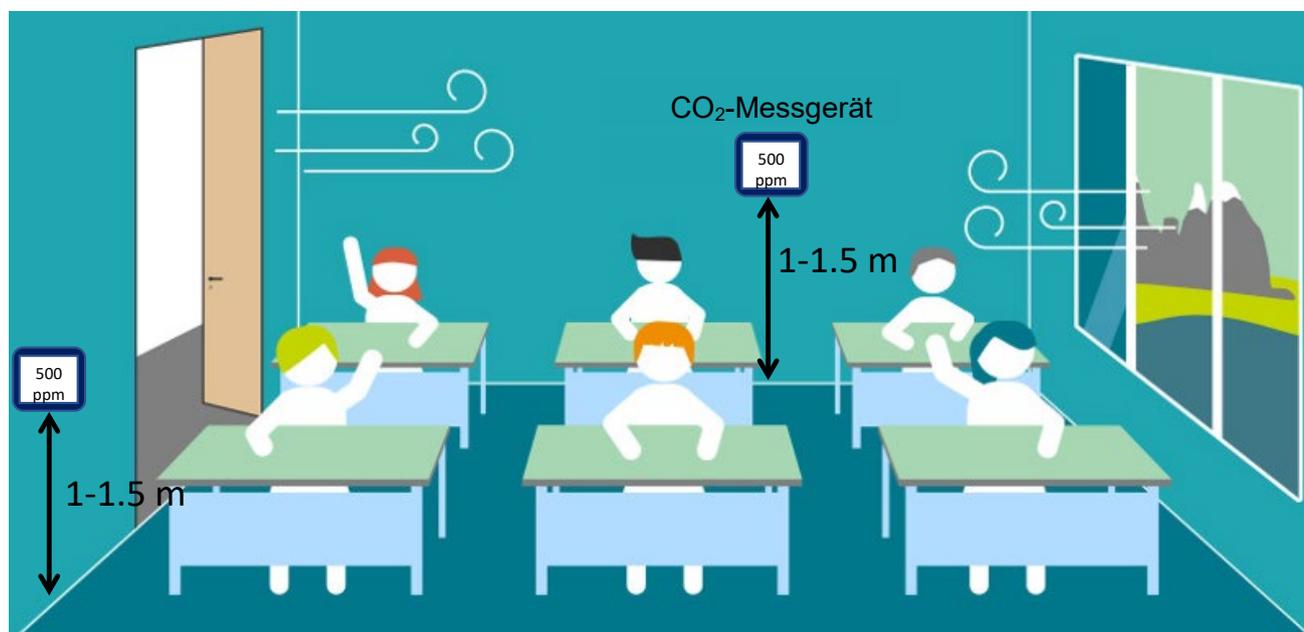
Abbildung 1- Beispiel für die Darstellung von CO<sub>2</sub> Daten

In Abbildung 1 ist ein grafisches Beispiel für die Konzentration von CO<sub>2</sub> dargestellt. Wichtige Elemente, die das Lesen der Grafik erleichtern sollen, sind:

- Titel (z. B. der Raum, in dem die Messung durchgeführt wurde) und Maßeinheit;
- repräsentatives Zeitintervall (in der Grafik eine Woche mit hervorgehobenem Wochenende; es ist möglich, die Messwerte eines einzelnen Tages detailliert darzustellen);

- berücksichtigte normative Grenzwerte (mit dem jeweiligen Bezug). In der Grafik ist ein Grenzwert von 1200 ppm angegeben (UNI EN 16798-1, Klasse II).

**Abbildung 2 - Beispiel für die Aufstellung von CO<sub>2</sub>-Messinstrumenten**



Die Abbildung zeigt zwei Beispiele für die Aufstellung von CO<sub>2</sub>-Messinstrumenten. Die Positionierung/Aufstellung bezieht sich auch auf die Messung anderer Parameter wie Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit, wenn diese mit einem einzigen Gerät gemessen werden.

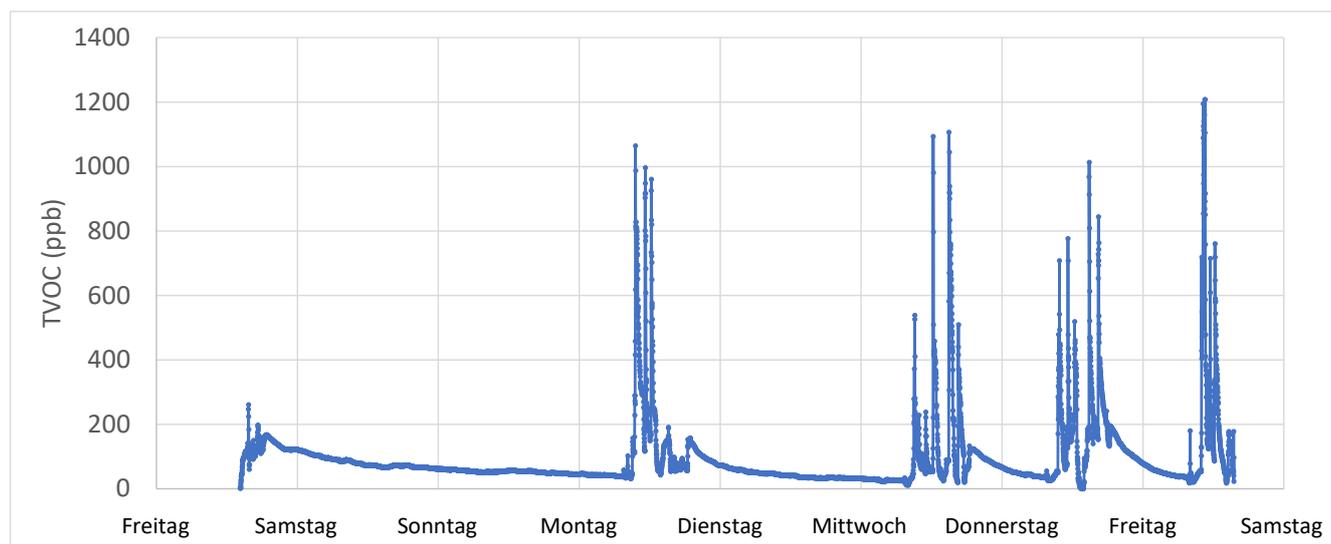
**Tabelle 4 - VOC und TVOC**

|               |   |
|---------------|---|
| Was sind das? | <p>Die Klasse der flüchtigen organischen Verbindungen - VOC - umfasst diverse Verbindungen mit unterschiedlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften, denen jedoch gemeinsam ist, dass sie leicht flüchtig sind. Diese Verbindungen zeichnen sich durch das Vorhandensein von organisch gebundenem Kohlenstoff aus. Es handelt sich um gasförmige Schadstoffe, die von draußen oder aus internen Quellen stammen können: aliphatische, aromatische und chlorierte Kohlenwasserstoffe, Aldehyde (z. B. Formaldehyd), Terpene, Alkohole, Ether und Ketone, BTEX (Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol).</p> <p>Die Summe der einzelnen flüchtigen organischen Verbindungen wird als TVOC (Total Volatile Organic Compounds) bezeichnet; es handelt sich um zahlreiche Gruppen von Verbindungen, die einzeln nur schwer zu bestimmen sind, so dass es manchmal vorgezogen wird, sie als Summe aller Verbindungen zu bestimmen.</p> <p>Eine detaillierte Liste der Quellen der einzelnen VOCs findet sich im Informationsanhang B der EN ISO 16000-32.</p> |
| Quellen       | <p>Die internen Quellen für einen Innenraum sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– die Materialien, aus denen die Gebäudehülle und die Innenausstattung besteht;</li> <li>– die anwesenden Personen;</li> </ul>   |

|  |   |   |
|--|---|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>– die ausgeübten Tätigkeiten.</li> </ul> <p>Die externen Quellen sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Kraftfahrzeugverkehr;</li> <li>– - Emissionen durch Luftströme ziviler und industrieller Herkunft.</li> </ul>  |   |
| Zweck der Überwachung  | Wie bei anderen Schadstoffen besteht der Zweck der Messung darin, die Lüftung und/oder Filterung so zu optimieren, dass ein bestimmter Schadstoff nicht in Konzentrationen vorhanden ist, die entweder schädlich oder störend sind.   |   |
|  | VOC   | Bestimmung der Konzentrationen einzelner VOCs   |
|  | TVOC  | Kontinuierliche Beurteilung der TVOC-Konzentrationen  |
| Maßeinheit   | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ppb  |   |
| Messprinzip  | VOC   | Probennahme mit Sammelröhrchen, Passivsammlern, gaschromatographische Bestimmung  |
|  | TVOC  | Wie bei VOC und dann <i>Aufsummierung</i>   |
| Technische Bezugsnorm  | UNI EN ISO 16000-5  |   |
| Was der Überwachungsbericht enthalten sollte (bei Messungen durch ein Prüflabor) | <p>Bei der Planung der Überwachung müssen die relevanten Parameter angegeben werden. Die gemessenen Parameter müssen im Bericht zusammen mit der Messunsicherheit angegeben werden.</p> <p>Die Ergebnisse einer gaschromatographischen Messung der VOCs sind für jede einzelne Verbindung anzugeben, ausgedrückt als Konzentration und in Verbindung mit der Messunsicherheit.</p> <p>Bei der Verwendung von Passivsammlern müssen die zur Berechnung des Ergebnisses verwendeten Umrechnungsformeln angegeben werden, einschließlich der Diffusionskoeffizienten und Absorptionsraten.</p> <p>Bei der Analyse einer einzelnen Verbindung können nicht alle vorhandenen VOCs identifiziert werden, so dass die Summe unterschätzt wird. Bei der Analyse der TVOCs werden alle VOCs auf ein einziges Signal reduziert, das einer Referenz-VOC (z. B. Isobutylen) zugeordnet wird. Die unterschiedliche Reaktion der einzelnen Verbindungen auf die Referenz-VOC bedeutet, dass das Ergebnis wiederum unter- oder überschätzt wird.</p> <p>Niedermolekulare Aldehyde, Amine und hochpolare flüchtige organische Verbindungen können ausgeschlossen werden und müssen daher separat mit geeigneten Methoden bestimmt werden.</p> |   |
| Kontrolle der Messqualität und der Messinstrumentierung                          | Für die Messung sind spezielle Messinstrumente und Fachkenntnisse erforderlich, über welche Prüflabors verfügen. Die Akkreditierung des Tests ist eine Garantie für die Zuverlässigkeit des Ergebnisses.  |   |
| Dauer, Details zum Messzeitraum und operative Angaben zur Überwachung            | VOC   | Bei natürlich gelüfteten Räumen, wenn der Beitrag durch die Materialien beachtet werden soll: 15 Minuten lang intensiv lüften, danach sollten alle Öffnungen für 8 Stunden (optimal über Nacht) geschlossen werden. Die Probennahme sollte bei geschlossenen Türen und Fenstern durchgeführt werden. Um Informationen über die Wirksamkeit einer stündlich erfolgenden Intensivlüftung zu erhalten, wird der Raum nach der Probennahme durch Öffnen von Türen und Fenstern für 5 Minuten intensiv gelüftet. Die Türen und Fenster werden wieder |

|                                      |  |  |
|--------------------------------------|--|--|
|                                      |  | geschlossen und nach einer Wartezeit von 1 Stunde wird eine weitere Probe entnommen.<br>Bei mechanisch belüfteten Räumen: die Anlage mindestens 3 Stunden vor Beginn der Messung einschalten. Die Funktionsweise der Anlage aufzeichnen. |
|                                      | TVOC   | Kontinuierliche Messung: Den Raum für die normalen Tätigkeiten nutzen. Vor der Messung ist keinerlei Vorbereitung erforderlich.  |
| Beeinflussung durch andere Parameter | Ja: Temperatur, relative Feuchtigkeit und Luftwechselrate (Quelle: UNI EN ISO 16000-5)   |  |
| Normative oder gesetzliche Grenzen   | Grenzwerte für durch Baustoffe verursachte Emissionen sind in der Norm EN 16798-1 festgelegt; für die TVOC-Konzentration in der Luft gibt es keinen spezifischen Grenzwert. Es gibt Richtwerte, die von der WHO und von nicht-italienischen Stellen (z. B. dem deutschen Umweltbundesamt) festgelegt wurden. |  |

Abbildung 3 - Beispiel für die Darstellung von TVOC-Daten



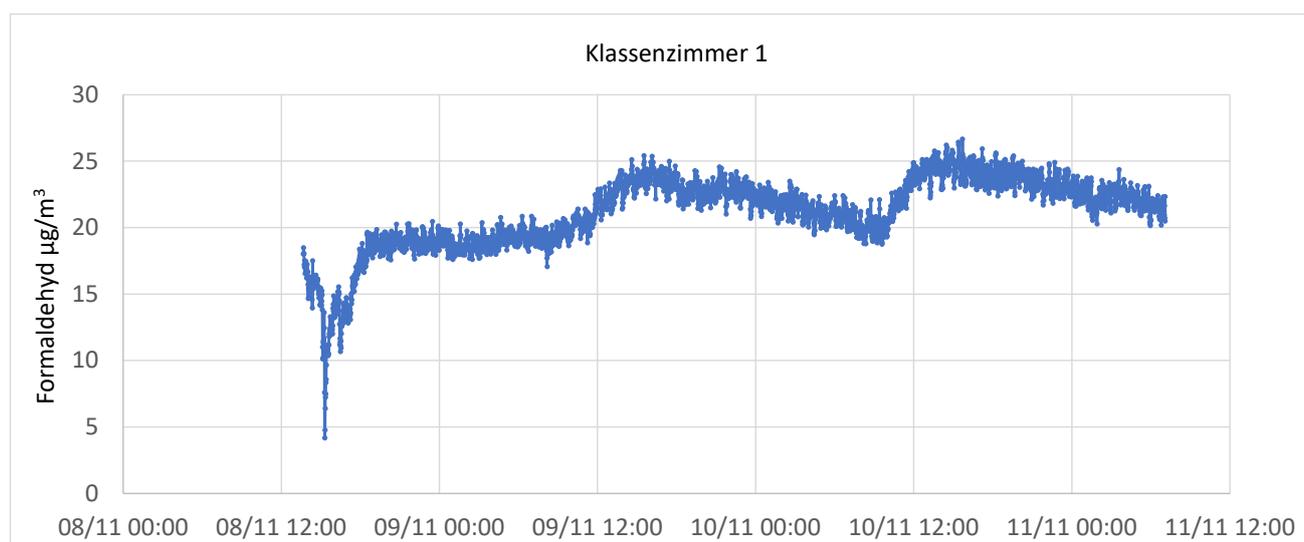
Die Grafik zeigt den Trend der TVOCs (ausgedrückt in ppb), die kontinuierlich in einem Klassenzimmer gemessen wurden.

Tabelle 5 - Formaldehyd

|  |   |
|--|---|
| Was ist das?   | Eine der häufigsten und bekanntesten flüchtigen organischen Verbindungen (VOC), ein farbloses Gas mit stechendem, reizendem Geruch. Laut IARC ist es ein Karzinogen der Klasse A1, was der Hauptgrund für die Forschung und das Bestehen eines gesetzlichen Grenzwertes ist. Es wird in der chemischen Industrie, bei der Herstellung von Einrichtungsgegenständen und in Reinigungsprodukten verwendet. Viele Bauprodukte enthalten Formaldehyd, insbesondere wird es bei der Herstellung von Harzen verwendet, die wiederum bei der Produktion von Spanplatten und Holzwerkstoffen, Klebstoffen, Dämmstoffen usw. eingesetzt werden. Formaldehyd wird auch noch viele Jahre von den Klebstoffen bzw. Leimen freigesetzt, in denen es enthalten ist. |
| Quellen  | Es ist nicht nur ein Verbrennungsprodukt (Tabakrauch und andere Brandquellen), sondern wird auch von Harnstoff-Formaldehydharzen freigesetzt, die für Dämmstoffe verwendet werden, sowie von Harzen, die für Spanplatten und Sperrholz, Polster, Teppichböden, Vorhänge und andere Textilien verwendet werden, die einer Knitterschutzbehandlung unterzogen werden, sowie von Harzen für andere Einrichtungsmaterialien und Melaminschäume.   |
| Zweck der Überwachung  | Punktuelle Überwachung: Überprüfung der Konzentration auf Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte.<br>Kontinuierliche Überwachung: Bewertung der zeitlichen Schwankungen der Formaldehydkonzentration in Abhängigkeit von der Temperatur und anderen Parametern, wie z. B. der Belüftungsrate des Raumes.<br>Andere Zwecke (UNI EN ISO 16000-2):<br>– Überprüfung der Wirksamkeit von Sanierungsmaßnahmen.   |
| Maßeinheit   | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , $\text{mg}/\text{m}^3$ , ppm   |
| Messprinzip  | Es gibt mehrere Methoden zur Messung von Formaldehyd. Grundsätzlich erfüllen sie unterschiedliche Bedürfnisse und können in Kurzzeitmessungen mit aktiver Probennahme, Langzeitmessungen mit Aktiv- oder Passivsammlern und kontinuierliche Messungen unterteilt werden:<br>– Hochdruck-Flüssigkeitschromatographie (HPLC), Behandlung des Absorbermaterials mit DNPH;<br>– Luftprobennahme mit einem Sammelröhrchen oder anderem Absorber, Reaktion mit einem Reagenz, analytische Bestimmung (nach ISO 16000-3).  |
| Technische Bezugsnorm  | UNI EN ISO 16000-2<br>ISO 16000-3 (Kurzzeitüberwachung – 1 Stunde)  |
| Was der Überwachungsbericht enthalten sollte (bei Messungen durch ein Prüflabor) | – Umgebungsbedingungen während der Messung (Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit)<br>– Standort der Messinstrumente<br>– Überprüfung der Klimatisierung, die in den Stunden vor der Messung unter ausgewogenen Bedingungen durchgeführt wurde<br>– Einstellung und Funktionsweise der Belüftungssysteme, sofern vorhanden  |

|   |   |   |
|---|---|---|
| Dauer, Details zum Messzeitraum und operative Angaben zur Überwachung | Punktuelle Messung (Kurzzeitüberwachung)  | Bei natürlich belüfteten Räumen: 15 Minuten lang intensiv lüften, danach sollten alle Öffnungen mindestens 8 Stunden lang (optimal über Nacht) geschlossen werden. Die Probennahme sollte bei geschlossenen Türen und Fenstern durchgeführt werden.<br>Bei mechanisch belüfteten Räumen: die Anlage mindestens 3 Stunden vor Beginn der Messung einschalten. Die Funktionsweise der Anlage notieren.<br>Etwaige Dauer: zwischen 30 Minuten und mehreren Stunden.<br>Das Rundschreiben des Gesundheitsministeriums enthält keine Angaben über die Dauer der Messung. |
|   | Kontinuierliche Messung (Langzeitüberwachung)   | Den Raum für die normalen Tätigkeiten nutzen. Vor der Messung ist keinerlei Vorbereitung erforderlich.<br>Etwaige Dauer: 2 Tage.<br>Diese Messung ist sehr komplex und sollte in spezifischen Situationen bewertet werden.  |
| Beeinflussung durch andere Parameter                                  | Ja: (Innen- und Außen-)Temperatur, Feuchtigkeit und Belüftung haben einen erheblichen Einfluss auf das Testergebnis.  |   |
| Regulatorische oder gesetzliche Grenzen                               | Rundschreiben des Gesundheitsministeriums Nr. 57 vom 22. Juni 1983: Grenzwert der Formaldehydkonzentration: 0,1 ppm = 123 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .<br>Weltgesundheitsorganisation: Grenzwert der Formaldehydkonzentration: 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . |   |

**Abbildung 4 - Beispiele für die Darstellung von Formaldehyddaten bei kontinuierlicher Messung**

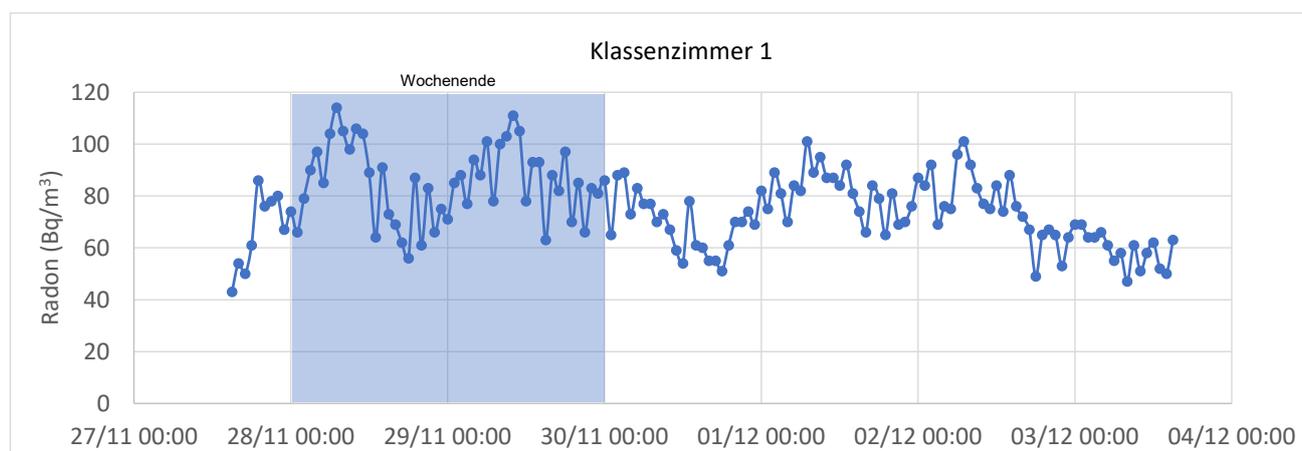


Die Grafik zeigt die kontinuierliche Überwachung eines Kindergartengruppenraumes im Winter während eines Wochenendes. Die Konzentrationsschwankungen hängen mit der schwankenden Raumtemperatur zusammen.

Tabelle 6 - Radon

|  |  |   |
|--|--|---|
| Was ist das?   | Ein farbloses, radioaktives Edelgas natürlichen Ursprungs, das durch den Zerfall von Uran entsteht. Radon ist in der Erdkruste vorhanden und dringt durch Risse, Spalten oder offene Stellen im Fundament in Gebäude ein.  |   |
| Quellen  | Die Hauptquelle für Radon in Wohnungen sind das Gestein unter dem Gebäude und der Erdboden bis zur Oberfläche, aus dem sich das Radongas ausbreitet. Sekundäre Quellen können Baumaterialien sein.   |   |
| Zweck der Überwachung  | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Jährliche Überwachung: Überprüfung der Konzentration auf Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte.</li> <li>– Kontinuierliche Überwachung über einen Zeitraum von weniger als einem Jahr: Bewertung der in den Räumen vorhandenen Konzentrationen zum Zeitpunkt ihrer Nutzung; Bewertung der zeitlichen Schwankungen der Radonkonzentration in Abhängigkeit von der Temperatur und anderen Parametern, wie z. B. der Belüftungsrate des Raumes.</li> </ul> Andere Zwecke: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Überprüfung der Wirksamkeit von Sanierungsmaßnahmen</li> </ul> |   |
| Maßeinheit   | Bq/m <sup>3</sup>  |   |
| Messprinzip  | <u>Passive Messsysteme:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Kernspurdetektoren (auch <i>Dosimeter</i> genannt)</li> <li>– Elektretdetektoren</li> </ul> <u>Aktive Messsysteme:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Gasdetektoren (Ionisierungskammer)</li> <li>– Szintillationsdetektoren</li> <li>– Halbleiterdetektoren (Silizium)</li> </ul>  |   |
| Technische Bezugsnorm  | UNI ISO 11665-1<br>UNI ISO 11665-4 (passive Probennahme)<br>UNI ISO 11665-5 (kontinuierliche Messung)<br>UNI ISO 11665-6 (punktuelle Messungen)  |   |
| Was der Überwachungsbericht enthalten sollte (bei Messungen durch ein Prüflabor) | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Standort der Messinstrumente.</li> <li>– Umgebungsbedingungen (Vorhandensein oder nicht von Belüftungsanlagen etc.), Anzahl der Fenster/Türen.</li> <li>– Etage.</li> </ul>   |   |
| Dauer, Details zum Messzeitraum und operative Angaben zur Überwachung            | Passive Probennahme  | Das Gesetzesdekret 101/2020 sieht einen Messzeitraum von 1 Jahr vor.                                  |
|  | Kontinuierliche Messungen  | Der Messzeitraum variiert je nach Zielsetzung der Überwachung von 1 Woche bis zu längeren Zeiträumen. |
| Beeinflussung durch andere Parameter   | Ja: Temperatur und Belüftungsrate.   |   |
| Regulatorische oder gesetzliche Grenzen  | Gesetzesdekret 101/2020: maximaler Referenzwert, ausgedrückt als Jahresmittelwert der Radonaktivitätskonzentration in der Luft: 300 Bq/m <sup>3</sup> (Schulgebäude gehören zu den Arbeitsstätten). Bei diesem Wert handelt es sich um einen Referenzwert, d. h. es wird empfohlen, Maßnahmen zur Verringerung der Konzentrationen zu ergreifen, auch wenn der Grenzwert noch nicht erreicht ist, sich aber nähert.  |   |

Abbildung 5 - Beispiel für die Darstellung von Radon-Daten



Schwankungen der Radonkonzentration in einer Schule während einer Woche im Winter.

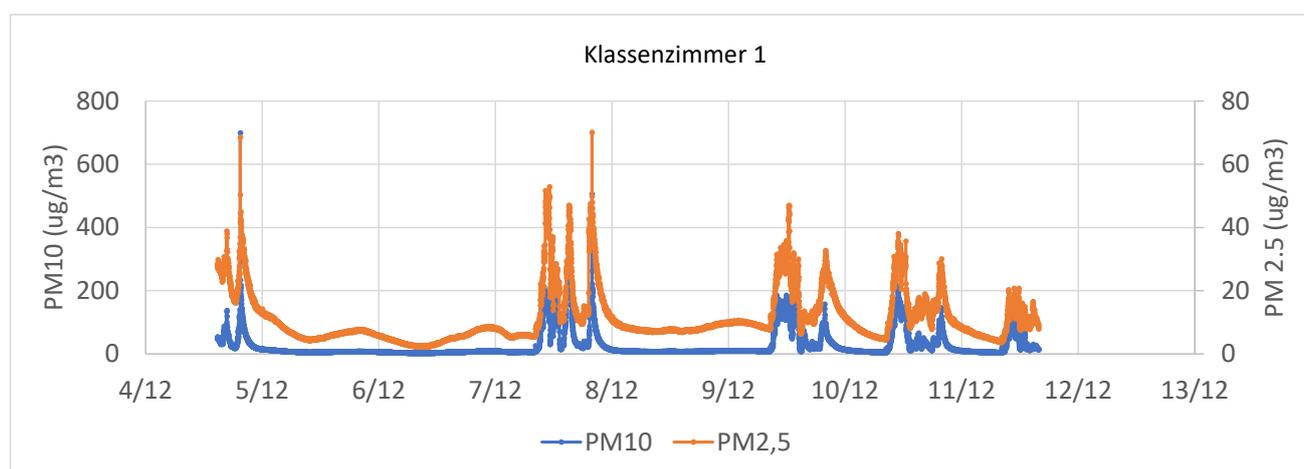
Tabelle 7 - Staub (Feinstaub)

|                       |   |
|-----------------------|---|
| Was ist das?          | „Staub“ bezieht sich auf alle festen Partikel, die lange genug in der Luft schweben, um die Atemwege zu beeinträchtigen. Die Abkürzung PM „Particulate Matter“ lässt sich mit „Schwebstaub“ übersetzen, die Zahl daneben gibt die Größe des Partikeldurchmessers an, der bis zu 10 Mikron oder Mikrometer betragen kann (1 Mikron = 1 Millionstel eines Meters). PM10 wird auch als thorakale Fraktion bezeichnet, da sie durch die Nase in den Rachen und die Luftröhre (in den ersten Teil des Atmungssystems) gelangt. Kleinere Partikel (mit einem Durchmesser von weniger als 2,5 Mikrometern), die als PM2,5 oder lungengängige Fraktion bezeichnet werden, können dagegen noch tiefer in die Lunge gelangen.   |
| Quellen               | Indoor: Verbrennung (Kamine und Öfen zum Heizen und zur Nahrungszubereitung), Abschuppung der Haut, Freisetzung aus Baumaterialien und Einrichtungselementen, Aufwirbelung von Staub im Zusammenhang mit verschiedenen Tätigkeiten, schlecht gewartete Klimaanlage.<br>Outdoor: Abgase von Verkehrsmitteln mit Benzin- und Dieselmotor (Autos, Busse, Lastwagen, Mopeds usw.), Aufwirbelung von Staub auf Straßenoberflächen, Verbrennung von Biomasse und Heizöl in Heizungsanlagen und Kaminen.   |
| Zweck der Überwachung | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Identifizierung der wichtigsten Indoor- und Outdoor-Schadstoffquellen, die mit PM10 und PM2,5 in Verbindung gebracht werden, sowie ihrer chemischen Eigenschaften und Abschätzung ihres relativen Beitrags;</li> <li>– Sammlung spezifischer Informationen zur Erleichterung der Entscheidungsprozesse der zuständigen Stellen bei der Bewertung der Exposition anwesender Personen gegenüber PM10 und PM2,5 sowie gegenüber toxischen Stoffen unter Berücksichtigung der verschiedenen Aufenthaltsdauern in einem bestimmten Innenraum;</li> <li>– Überprüfung der Einhaltung der von den zuständigen Behörden oder internationalen Organisationen (z. B. WHO) festgelegten Richt- oder Referenzwerte.</li> </ul> |

|  |   |  |
|--|---|--|
| Maßeinheit   | $\mu\text{g}/\text{m}^3$  |  |
| Messprinzip  | Kontinuierliche Messung   | Laserdiffraktometer  |
|  | Punktweise Messung  | Gravimetrisches Verfahren: Bestimmung der Massenkonzentration von Feinstaub durch Filtrieren auf Filtern und Wiegen mit einer Waage. Für die Gesamtstaubmenge, für PM10 und PM2,5. |
| Technische Bezugsnorm  | UNI EN 12341 (gravimetrisches Verfahren): PM10 und PM2,5<br>ISO 16000-34<br>ISO 16000-37(PM2,5)   |  |
| Was der Überwachungsbericht enthalten sollte (bei Messungen durch ein Prüflabor) | Siehe Anhang B.   |  |
| Kontrolle der Messqualität und der Messinstrumentierung                          | <p>Die Norm UNI EN 12341 enthält alle wesentlichen Angaben zum Verfahren. Diese Norm beschreibt insbesondere:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– die Konstruktions- und Leistungsmerkmale, denen die Probennahmeköpfe (Trägheitsimpaktoren für das selektive „Abscheiden“ der PM10- und PM2,5-Fraktion), die Ansaugleitungen, die Halterungen zur Unterbringung der Filter und die Ansaugsysteme entsprechen müssen;</li> <li>– die Verfahren zur Aufbereitung, zum Transport, zur Verpackung und zur Lagerung von Filtermembranen;</li> <li>– die Anforderungen an die Analysenwaage und die Verfahren zur gravimetrischen Bestimmung;</li> <li>– die Verfahren zur Kontrolle und Sicherung der Qualität;</li> <li>– - die Messkriterien und Darstellung der Ergebnisse.</li> </ul>  |  |
| Dauer, Details zum Messzeitraum und operative Angaben zur Überwachung            | <p>Für die Festlegung des Beobachtungszeitraums sollten die von den zuständigen Behörden festgelegten oder die in den WHO-Leitlinien (2021) enthaltenen Richtwerte herangezogen werden. Wenn nämlich die ermittelte Konzentration mit einem Richtwert verglichen werden soll, muss die Dauer der Überwachung dem Zeitraum entsprechen, der dem Richtwert zugeordnet ist (für PM10 und PM2,5 sind dies nominell 24 Stunden). Ist die Dauer der Probennahme hingegen kürzer als die durch den Richt-/Referenzwert vorgesehene Dauer, und wird sie auf Grundlage von Schulaktivitäten, der Anwesenheit von Personen oder der Aktivierung interner Quellen gewählt, liefert die Messung einen Orientierungswert, der bei der Identifizierung und Abschätzung der möglichen Beiträge zum Kontaminationsniveau einer bestimmten Umgebung nützlich ist, das durch die Aktivität der einzelnen zum Zeitpunkt des Nachweises in Betrieb befindlichen Quellen verursacht wird.</p> <p>Es ist daher notwendig, Informationen sammeln, ob Personen an- oder abwesend sind, was sie in den Räumlichkeiten machen, ob mechanische Belüftungssysteme bzw. die Heizung in Betrieb ist oder nicht usw. In jedem Fall sollten die Parameter und Nutzungsbedingungen der Innenräume angegeben werden, die für die Messungen als repräsentativ angesehen werden können.</p> |  |

|   |  |
|---|--|
|   | Die Häufigkeit der Messungen wird in Abhängigkeit vom Überwachungsziel geplant, wobei die Aktivitäten, die Quelle(n), die möglichen zeitlichen Schwankungen (stündlich, täglich, monatlich, saisonal) und die mikroklimatischen Variablen zu berücksichtigen sind. Die PM10- und PM2,5-Sammler, die bei der Probenahme verwendet werden, müssen den Produktmerkmalen aus der Norm UNI EN 12341 entsprechen.  |
| Beeinflussung durch andere Parameter    | Ja: Belüftungsrate.  |
| Regulatorische oder gesetzliche Grenzen | Der 2021 aktualisierte WHO-Richtwert für die jährliche PM2,5-Exposition der Bevölkerung liegt bei 5 µg/m <sup>3</sup> , der Tageswert bei 15 µg/m <sup>3</sup> . Für die Exposition der Bevölkerung gegenüber Feinstaub der Partikelgröße PM10 liegt der Jahresrichtwert der WHO bei 15 µg/m <sup>3</sup> und der Tagesrichtwert bei 45 µg/m <sup>3</sup> . Gemäß dem WHO-Leitfaden 2021 gelten die für PM10 und PM2,5 in der Außenluft festgelegten Richtwerte auch für Innenräume. |

**Abbildung 6 - Beispiel für die Darstellung von Feinstaub-Daten**



Das Diagramm zeigt die Entwicklung von PM10 (in blau, Ablesung der Werte auf der linken Achse) und PM2,5 (in orange, Ablesung der Werte auf der rechten Achse).

**Tabelle 8 - Stickstoffoxide**

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Was ist das?          | Stick(stoff)oxide sind: Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> ) und Stickstoffmonoxid (NO), die in der Luft als rotbraunes, stechend riechendes und hochgiftiges Gas vorkommen können.   |
| Quellen               | Zu den NO <sub>2</sub> -Quellen in Innenräumen gehören Küchenherde, Öfen, Heizungsanlagen mit Heizkesseln in Innenräumen und Tabakrauch in der Raumluft. Eine Quelle im Freien stellen der Fahrzeugverkehr und überdachte Garagen oder Parkhäuser dar, da NO <sub>2</sub> auch in Fahrzeugabgasen enthalten ist. Eine weitere Quelle sind gasförmige Emissionen aus zivilen und industriellen Anlagen. |
| Zweck der Überwachung | Qualitative und quantitative Erfassung von Stickstoffoxiden.   |
| Maßeinheit            | µg/m <sup>3</sup> , ppm  |

|  |   |
|--|---|
| Messprinzip  | Chemilumineszenz UV-Strahlung.  |
| Technische Bezugsnorm  | UNI EN ISO 16000-15<br>UNI EN 14211   |
| Was der Überwachungsbericht enthalten sollte (bei Messungen durch ein Prüflabor) | Bei Verwendung von Passivsammlern ist die zur Berechnung des Ergebnisses verwendete Umrechnungsgleichung anzugeben.<br>In Messergebnissen werden numerische Daten im Allgemeinen so angegeben, dass die letzte Dezimalstelle (signifikante Stelle) gleichzeitig die Größenordnung der Messunsicherheit widerspiegelt. |
| Beeinflussung durch andere Parameter   | Ja: Luftwechselrate.  |
| Regulatorische oder gesetzliche Grenzen  | Der 2021 aktualisierte WHO-Richtwert für die jährliche NO <sub>2</sub> -Exposition der Bevölkerung liegt bei 10 µg/m <sup>3</sup> , der Tageswert bei 25 µg/m <sup>3</sup> .  |

**Tabelle 9 - Biologische Agenzien (in der Luft)**

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Was ist das?          | <p>In der Luft schwebende organische Partikel in der Größenordnung von Mikrometern, die oft an andere, größere Partikel gebunden sind und aus Hausstaubmilben, biologischem Material, Bakterien (z. B. Legionellen), Viren, Pilzen (Schimmelpilzen und Hefen) und Pollen bestehen</p> <p>Die mikrobiologischen Parameter für eine quantitative Basisanalyse lauten wie folgt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Belastung durch psychrophile Bakterien<br/>Bakterien mit einem Wachstum um 22°C (Bereich 15-25°C), die als Indikatoren für eine mikrobielle Umweltkontamination gelten;</li> <li>– Belastung durch mesophile Bakterien<br/>Bakterien mit einem Wachstum um 37°C (Bereich 25-40°C), die als Indikatoren für eine Kontamination menschlichen oder tierischen Ursprungs gelten;</li> <li>– Belastung durch Pilze<br/>einschließlich Schimmel- und Hefepilze, die sehr wichtige Umweltindikatoren sind, da sie sehr oft mit hoher Luftfeuchtigkeit und Staubigkeit, schlechter Belüftung und schlechter Luftqualität zusammenhängen.</li> </ul> |
| Quellen               | <p>Mikroorganismen sind allgegenwärtig und können auf einer Vielzahl von Substraten leben und sich vermehren. In Innenräumen wie Schulen hängt der mikrobielle Beitrag an der Luftqualität vor allem von der Anwesenheit und Bewegung von Personen und Gegenständen ab; darüber hinaus kann die Raumluftqualität durch Luftzirkulation, auch von außen, und, in geringerem Maße, durch die Besonderheiten der Materialien der Umgebung selbst (Möbel, Farben und Wandverkleidungen usw.) beeinflusst werden, die im Laufe der Zeit Stoffe oder Partikel an die Umgebung abgeben können.</p>  |
| Zweck der Überwachung | <p>In Schulräumen ist das Risiko durch das Vorhandensein biologischer Agenzien hauptsächlich infektiöser und allergischer Natur, je nach dem, wie hoch der Gehalt an Bakterien, Viren, Pilzen, Pollen und anderen Komponenten organischen Ursprungs im Bioaerosol ist. Die Expositionswege, die zu gesundheitsgefährdenden Zuständen führen können, sind hauptsächlich das Einatmen und/oder der Kontakt mit</p>   |

|  |  |  |
|--|--|--|
|  | kontaminierter Luft/Oberflächen. Die Probennahme und Analyse von Bioaerosolen ermöglicht nicht nur die Bewertung der biologischen Eigenschaften der Luft, sondern ist auch ein unverzichtbares Instrument zur Vorbeugung von Gesundheitsrisiken für die Bevölkerung im Allgemeinen und die Schulbevölkerung im Besonderen.<br>Das Hauptziel ist daher die Überprüfung auf eine Kontamination durch Bakterien und Pilze.                    |  |
| Maßeinheit   | CFU/m <sup>3</sup> Luft (Koloniebildende Einheiten pro Kubikmeter Luft)<br>MPN/m <sup>3</sup> Luft (Höchstwahrscheinliche Anzahl von Mikroorganismen pro Kubikmeter Luft)  |  |
| Messprinzip  | Gravimetrische Probennahme oder über Sedimentation   | Die Mikroorganismen, die von luftgetragenen Partikeln (PM) getragen werden, werden durch Ablagerung auf der Oberfläche einer Petrischale bekannter Größe gesammelt, die für eine bestimmte Zeit der Luft ausgesetzt wird und ein geeignetes Kulturmedium enthält. Nach angemessener Bebrütung der Petrischalen wird die Anzahl der gewachsenen Kolonien gezählt und die Messung als Anzahl pro Flächeneinheit ausgedrückt. Bei dieser Methode ist es nicht möglich, die Anzahl der nachgewiesenen Mikroorganismen mit einem bekannten Luftvolumen in Beziehung zu setzen, und sie wird durch den Grad der Belüftung und durch die Luftfeuchtigkeit beeinflusst, die in der kontrollierten Umgebung herrscht. |
|  | Probennahme  | Durch Ansaugung kann eine bestimmte Luftmenge direkt auf ein festes, für das mikrobielle Wachstum geeignetes Nährsubstrat oder in ein flüssiges Medium zur anschließenden Analyse geleitet werden.<br>Es wird die Konzentration der Mikroorganismen gemessen, die im Bioaerosol des mit einem speziellen Gerät als Probe gezogenen Luftvolumens vorhanden sind, wobei die unterschiedliche Verteilung der Bakterien auf ein Minimum reduziert wird.  |
| Technische Bezugsnorm  | UNI EN ISO 16000-19:2014 Probennahmestrategie für Schimmelpilze<br>UNI EN ISO 14698-1:2004 Kontrolle der Biokontamination<br>Unichim-Verfahren 1962-2:2006 Arbeitsumgebungen - Verunreinigung der Luft durch Mikroben (Bakterien und Myceten) Bestimmung mithilfe eines Aktivsammlers für orthogonale Einwirkung<br>ISTISAN-Berichte 20/03 Raumluftqualität in Schulen: Strategien zur Überwachung chemischer und biologischer Schadstoffe |  |
| Was der Überwachungsbericht enthalten sollte (bei Messungen durch ein Prüflabor) | Zusätzlich zu den Angaben in Anhang B sollte der Bericht Folgendes enthalten:<br><ul style="list-style-type: none"> <li>– Art und Merkmale des Innenraums und die Situation zum Zeitpunkt der Probennahme (z. B. nach dem Unterricht, nach Reinigung der Räume usw);</li> <li>– die dort stattfindenden Aktivitäten;</li> <li>– - die Merkmale des Außenbereichs.</li> </ul>   |  |

|   |   |
|---|---|
| Dauer, Details zum Messzeitraum und operative Angaben zur Überwachung | Da die mikrobielle Konzentration mit der Möglichkeit der Inhalation während der Exposition in Beziehung zu setzen ist, sollten die Sammler in einer durchschnittlichen Höhe von 1,5 m über dem Boden angebracht werden, um eine durchschnittliche Höhe der ersten Atemwege des Menschen zu simulieren. Bei der Überwachung in Schulen, in denen sich Kinder aufhalten (Kindergärten und Grundschulen), ist die Probennahmehöhe auf 1 m zu reduzieren. Die Proben sollten auch in der Nähe der Mitte des zu überwachenden Raumes und in einem Abstand von mindestens 1 m zu Wänden, Türen und Fenstern entnommen werden. |
| Beeinflussung durch andere Parameter                                  | Ja: Luftwechselrate, Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit in der Raumluft und in Bauteilschichten.   |
| Regulatorische oder gesetzliche Grenzen                               | Die Schwankungen aufgrund der Empfänglichkeit und der individuellen Reaktion auf das Risiko einer mikrobiellen Infektion ist so groß, dass eine Festlegung von Expositionsgrenzwerten nicht möglich ist, die von der internationalen wissenschaftlichen Gemeinschaft akzeptiert werden und als Schwellenwerte verwendet werden können.<br>Es können die in den INAIL-, ISS- und WHO-Leitlinien angegebenen Referenzwerte verwendet werden. Die Referenzwerte müssen zum untersuchten Kontext passen und im Laufe der Zeit entsprechend den Merkmalen der zu überwachenden Umgebung berücksichtigt werden.               |

**Abbildung 7 - Darstellung der Messergebnisse in tabellarischer Form**

| Beschreibung des Messpunktes | Datum der Probennahme | Parameter         | Bedingungen        | MPN/m <sup>3</sup> |
|------------------------------|-----------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Extern                       | 31/08                 | Kolonien bei 22°C | Nach der Reinigung | <b>120</b>         |
| Extern                       | 31/08                 | Kolonien bei 36°C | Nach der Reinigung | <b>65</b>          |
| Extern                       | 31/08                 | Schimmelpilze     | Nach der Reinigung | <b>460</b>         |
| Abschnitt                    | 31/08                 | Kolonien bei 22°C | Nach der Reinigung | <b>85</b>          |
| Abschnitt                    | 31/08                 | Kolonien bei 36°C | Nach der Reinigung | <b>80</b>          |
| Abschnitt                    | 31/08                 | Schimmelpilze     | Nach der Reinigung | <b>268</b>         |

Die Tabelle zeigt die Konzentrationen der Belastung durch Bakterien und Pilze in einem Klassenzimmer und im Freien.

**Tabelle 10 - Biologische Agenzien (auf Oberflächen)**

|                       |   |
|-----------------------|---|
| Was ist das?          | In Innenräumen können Oberflächen ein ideales Substrat für das Wachstum der Bakterienflora bieten, da sich Mikroorganismen und entsprechende Nährstoffe, die sie zu ihrer Aufrechterhaltung benötigen, entweder durch direkten Kontakt oder durch Sedimentation von Schwebstoffen in der Raumluft ansammeln können.<br>Andere Oberflächen, die kontrolliert werden müssen, sind die von Lüftungsanlagen (Luftkanäle). |
| Quellen               | Wie für biologische Agenzien (in der Luft).   |
| Zweck der Überwachung | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Die ordnungsgemäße Reinigung von Oberflächen in Innenräumen wie Tische, Stühle, Griffe und Toiletten überprüfen.</li> <li>– Den Zustand der Belüftungskanäle überprüfen.</li> </ul>  |

|  |   |   |
|--|---|---|
| Maßeinheit   | Koloniebildende Einheiten (CFU) pro cm <sup>2</sup><br>Koloniebildende Einheiten (CFU) pro Abklatschplatte  |   |
| Messprinzip  | Mikrobiologisches Verfahren   | Bezogen auf die Methode mit Schwamm, flexiblen Slides, Kontaktstreifen und Tupfern. |
| Technische Bezugsnorm  | ISO 18953 (für Oberflächen)<br>UNI EN 15780 (für Luftkanäle)  |   |
| Was der Überwachungsbericht enthalten sollte (bei Messungen durch ein Prüflabor) | Das, was auch zur Luftprobennahme angegeben ist.  |   |
| Dauer, Details zum Messzeitraum und operative Angaben zur Überwachung            | Für Oberflächen: Die Probennahme kann erfolgen, indem die Abklatschplatte mit dem für das Wachstum der zu überwachenden Mikroorganismen geeigneten Nährmedium (oder flexible Slides) auf die zu kontrollierende Oberfläche gedrückt wird. Alternativ können angefeuchtete sterile Tupfer oder Schwämme verwendet und auf der zu kontrollierenden Stelle gerieben werden. Bei gebrauchsfertigen Sets sind die Anweisungen des Herstellers zu befolgen.<br>Für Luftkanäle UNI EN 15780. |   |
| Regulatorische oder gesetzliche Grenzen  | INAIL-Leitlinien "Mikrobiologische Kontamination von Oberflächen in Arbeitsumgebungen" (2017).<br>Zur Beurteilung des Kontaminationsstatus von Oberflächen im schulischen Umfeld können zwei Analyseverfahren eingesetzt werden, die bereits in anderen Bereichen zur Bestimmung von Mikroorganismen auf Oberflächen verwendet werden: mit Abklatschplatten (z. B. Compact Dry, Rodac Weight, Maxi Contact Plate) und mit Tupfern (Quelle: ISTISAN-Berichte 20/3).                    |   |

Abbildung 8 - Darstellung der Messergebnisse in tabellarischer Form

| Beschreibung des Punktes            | Datum der Probennahme | Parameter                         | Bedingungen        | CFU/Abklatschplatte |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|--------------------|---------------------|
| Klassenzimmer 3: Tisch in der Mitte | 31.08.2021            | Aerobe mesophile (Gesamt)Keimzahl | Nach der Reinigung | 12                  |
| Klassenzimmer 3: Tisch in der Mitte | 31.08.2021            | Schimmelpilze                     | Nach der Reinigung | 1                   |
| Klassenzimmer 3: Lehrerpult         | 31.08.2021            | Aerobe mesophile (Gesamt)Keimzahl | Nach der Reinigung | 5                   |
| Klassenzimmer 3: Lehrerpult         | 31.08.2021            | Schimmelpilze                     | Nach der Reinigung | 0                   |

Tabelle 11 - Asbest

|  |  |
|--|--|
| Was das ist und Quellen  | <p>Asbest ist ein allgemeiner, im Handel gebräuchlicher Begriff für eine Gruppe von Mineralien, die zur Amphibol- und Serpentinegruppe gehören und chemisch aus Calcium- und Magnesiumsilikathydraten bestehen.</p> <p>Aufgrund seiner Eigenschaften wird Asbest seit den 1930er Jahren in großem Umfang in der Industrie verwendet, entweder in reiner Form oder gemischt mit anderen Materialien, z. B. in Verbindung mit Zement zur Herstellung von Asbestzement (für die Herstellung von Dachziegeln, Flach- und Wellplatten, Rohrleitungen usw.) oder mit anderen Chemikalien zur Herstellung von Wärme- oder Schalldämmung.</p> <p>Das bloße Vorhandensein von Asbest stellt nicht immer ein Risiko dar; es kann zu einem Risiko werden, wenn das asbesthaltige Material so abgebaut oder beschädigt wird, dass sich die Fasern in der Umgebung verteilen, z. B. durch mechanische oder thermische Beanspruchung, abfließendes Wasser oder auch durch Vandalismus.</p> <p>Obwohl das Gesetz 257/1992 die Verwendung und Herstellung von Asbest und asbesthaltigen Materialien verboten hat, besteht die Gefahr einer Asbestexposition weiterhin, da sich die meisten asbesthaltigen Materialien in öffentlichen Gebäuden, Schulen und auch in Wohngebäuden befinden, die aus der Zeit vor 1980 stammen. (Quelle: Projekt zur Kartierung von Asbest in Schulen, Latium 2015).</p> <p>Die wichtigsten Quellen in Schulgebäuden sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Fußbodenbeläge aus Vinyl-Asbest-Platten;</li> <li>– Wärmedämmung hinter Heizkörpern;</li> <li>– Verputz;</li> <li>– Dichtungen von Heizkesseln;</li> <li>– Anstriche.</li> </ul> |
| Gesetzliche Grundlagen   | <p>Unter dem Gesichtspunkt der Identifizierung von Asbest in Schulen und der damit verbundenen Verantwortlichkeiten ist die wichtigste Durchführungsmaßnahme die Beachtung des Ministerialerlasses vom 06.09.1994. In diesem Erlass wird beschrieben, wie asbesthaltige Materialien identifiziert werden können, welche Aufgaben bei der Risikominderung anfallen und welche Schritte bei der Sanierung und Beseitigung der Materialien zu unternehmen sind.</p>   |
| Einzelheiten und Zweck der Überwachung, Maßnahmen bei Asbestverdacht | <p>Es ist oft schwer zu erkennen, ob Dächer, Platten, Fliesen, Rohre oder andere Materialien tatsächlich Asbest enthalten, da sie denen ohne Asbest sehr ähnlich sehen können. Das Alter des Gebäudes ist ein guter Hinweis, denn Asbest ist in Italien seit 1994 verboten. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass ein nach 1994 errichtetes oder vollständig renoviertes Gebäude keine Asbestmaterialien mehr enthält. In anderen Fällen ist es notwendig, einen Sachverständigen hinzuzuziehen, der in einigen Fällen das verdächtige Material analysieren muss.</p> <p>Das Vorhandensein von Asbest in einem Gebäude stellt an sich kein Gesundheitsrisiko für die anwesenden Personen dar, vorausgesetzt, das Material ist in gutem Zustand und wurde nicht manipuliert, durchstoßen, zerschnitten oder in irgendeiner Weise beschädigt. Wenn das Material</p>   |

|                            |  |
|----------------------------|--|
|                            | <p>jedoch durch normale Abnutzung, Witterungseinflüsse oder Manipulationen beschädigt wird, können Fasern freigesetzt werden, die eine ernsthafte Gefahr für die menschliche Gesundheit darstellen.</p> <p>Die Betreiber bzw. Leiter von Gebäuden, in denen asbesthaltige Materialien gefunden wurden, sind verpflichtet, diese regelmäßig zu überprüfen.</p> <p>Die Sanierung asbesthaltiger Materialien birgt in der Regel ein Risiko, und zwar sowohl ein berufliches Risiko für die an der Beseitigung beteiligten Personen als auch ein Umweltrisiko im Zusammenhang mit der Art und Weise, wie das Material als Abfall entsorgt wird, und der möglichen Kontamination der von der Maßnahme betroffenen Bereiche. Um eine Gefährdung zu verhindern, müssen im Falle einer Sanierung sehr strenge Vorschriften eingehalten werden (siehe M.D. vom 06. September 1994).</p> |
| Maßeinheit und Überwachung | <p>Fasern/Liter</p> <p>Nach dem Grundsatz der Risikominimierung muss die Konzentration der Asbestfasern in der Luft weniger als 1000 lungengängige Fasern pro Liter betragen. Es ist zu beachten, dass bei der Raumlufüberwachung nur die Faserkonzentration zum Zeitpunkt der Probennahme gemessen werden kann. Daher sollten die Ergebnisse als zusätzliche Informationen betrachtet werden und können eine detaillierte Bewertung unter Einbeziehung aller externen Faktoren nicht ersetzen.</p>  |

### 7.3.1 ÖFFNEN/SCHLIESSEN VON FENSTERN UND TÜREN

Die Kontrolle der Öffnungsart von Fenstern und Türen liefert Informationen zur Einstufung der schulischen Räumlichkeiten. Setzt man die Daten zum Öffnen und Schließen mit den Schadstoffkonzentrationen in Beziehung, ist es möglich, die Luftwechselrate in Abhängigkeit von Art und Häufigkeit des Öffnens der Fenstern und Türen zu beschreiben.

Tabelle 12 - Parameter, Messinstrumente, Bezugnahme und Details zur Messung der Luftqualität (*Zusammenfassung*)

| Zu messende Parameter                   | Messinstrumente<br><i>Details</i>  | Bedarf/<br>Abwesenheit<br>der Raumnutzer | Dauer und Details der<br>Messungen      | Referenznormen für die<br>Probennahme oder<br>Rechtsgrundlagen           | Referenznormen zu<br>Grenzwerten oder<br>Rechtsgrundlagen                    |
|---|--|--|---|--|--|
| CO <sub>2</sub>                         | Analysator, Zentraleinheit,<br>Datenlogger<br><i>Kontinuierliche Messung</i> | Anwesenheit                              | Messintervall: 1 Minute                 | UNI EN ISO 16000-26  | UNI EN 16798-1 und<br>CEN/TR 16798-2   |
| VOC                                     | Canister<br><i>Punktweise Messung</i>  | Abwesenheit                              | 30 Minuten - 2 Stunden                  | UNI EN ISO 16000-5   | Grenzwerte für einige<br>VOCs  |
| TVOC                                    | PID<br><i>Kontinuierliche Messung</i>  | Ab-<br>/Anwesenheit                      | Überwachungsdauer:<br>Stunden/Tage      |  |  |
| Formaldehyd                             | DNPH Absorber<br><i>Punktweise Messung</i>                                   | Abwesenheit <sup>1</sup>                 | 30 Minuten - 2 Stunden                  | UNI EN ISO 16000-2<br>ISO 16000-3<br>ISO 16000-4                         | Rundschreiben des<br>Gesundheitsministeriu<br>ms Nr. 57 vom 22. Juni<br>1983 |
| Radon                                   | Kontinuierliche<br>Messung   |  | Messintervall: 10 Minuten               | UNI ISO 11665-1<br>UNI ISO 11665-5<br>(kontinuierliche Messung)          |  |
|   | Dosimeter<br><i>Punktweise Messung</i>                                       |  | 1 Jahr                                  | UNI ISO 11665-1<br>UNI ISO 11665-4 (passive<br>Probennahme)              | Gesetzesdekret<br>101/2020   |
| Feinstäube (PM <sub>x</sub> )           | Kontinuierliche<br>Messung   |  | Messintervall: 10 Minuten               | UNI EN 12341<br>ISO 16000-34<br>ISO 16000-37(PM <sub>2,5</sub> )         |  |
|   | Punktweise Messung   | Ab-<br>/Anwesenheit                      | 30 Minuten - 2 Stunden                  |  |  |
| Stickstoffdioxide<br>(NO <sub>2</sub> ) | <i>Kontinuierliche Messung</i>   |  |   | UNI EN ISO 16000-15<br>UNI EN 14211                                      |  |
| Biologische<br>Analysen                 | Keimsammler<br><i>Punktweise Messung</i>                                     | Abwesenheit                              | Messdauer: 15 Minuten für<br>jeden Raum | UNI EN ISO 16000-19<br>UNI EN ISO 14698-1<br>Unichim-Methode 1962-2:2006 | INAIL-, ISS- und WHO-<br>Leitlinien  |
| Asbest                                  |  | Abwesenheit                              |   | M.D. 06.09.1994  | M.D. 06.09.1994  |

<sup>1</sup> UNI EN ISO 16000-2: kann in Anwesenheit der Personen durchgeführt werden

## 7.4 MESSVERFAHREN, MESSINSTRUMENTE UND KONTROLLE DER DATENQUALITÄT

Messungen zur Luftqualität können durchgeführt werden:

- von einem akkreditierten Prüflabor, gemäß der Norm UNI CEI EN ISO/IEC 17025;
- von einem nicht zertifizierten Prüflabor, einem Fachmann, einem Institut, wie von der Richtlinienreihe ISO 16000 vorgesehen.

Die Messungen können ihrerseits mit einem Messinstrument durchgeführt werden:

- das mit der technischen Bezugsnorm übereinstimmt;
- das nicht mit der technischen Bezugsnorm übereinstimmt.

Für Messungen, die mit Messinstrumenten durchgeführt werden, die nicht der technischen Bezugsnorm entsprechen, sind nachstehend Hinweise aufgeführt, und zwar was die Durchführung einer geplanten Kontrolle zur Sicherung der Messqualität bestimmter Luftqualitätsparameter und -indikatoren betrifft. Es ist auch möglich, Daten zu den unten beschriebenen Parametern über Gebäudemanagement- und -regelungssysteme zu erfassen: Auch in diesem Fall müssen die in Abschnitt 7.4.1 genannten Kontrollen durchgeführt werden, um die Qualität der Daten zu gewährleisten.

Die Durchführung von Messungen mit zuverlässigen Messinstrumenten oder Systemen, deren Ergebnisse kontrolliert werden, ist von grundlegender Bedeutung, um die Aussagekraft der Überwachung zu gewährleisten.

Viele handelsübliche Instrumente und Systeme lassen eine Kalibrierung durch den Benutzer nicht zu. Meistens liegt ihnen eine Konformitätserklärung des Herstellers bei, und eine spätere Kalibrierung kann Kosten verursachen, die den Wert des Instrumentes selbst übersteigen. Die Überprüfung der Funktionstüchtigkeit des Messinstrumentes ist jedoch von größter Bedeutung und sollte in bestimmten Abständen erfolgen, da sich jede Apparatur mit der Zeit abnutzt. Die Instrumente zur Messung von Temperatur, relativer Luftfeuchtigkeit, Luftdruck und Kohlendioxid können vom Benutzer leicht und so oft wie nötig überprüft werden.

Die selbstständige Überwachung (d. h. die Überwachung, die von der Schulleitung durchgeführt werden kann) der Luftqualitätsparameter (CO<sub>2</sub>, Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Druck) erfordert einige Schritte und grundlegende Kenntnisse:

### 1. Registrierung der Ausrüstung

Ein Grundprinzip für die Sicherung der Datenqualität ist die Registrierung der Apparaturen. Jedes installierte Messgerät sollte mit einem eindeutigen Identifizierungscode versehen sein, der auf dem Gerät und auf einem Datenblatt angegeben ist, das die gesamte Historie des Geräts enthält. Die zu registrierenden Mindestangaben sind in Anhang C aufgeführt.

### 2. Maßeinheiten

Instrumente zur Messung der Luftqualität nutzen Maßeinheiten für das Messergebnis; es ist wichtig, sich mit den Maßeinheiten vertraut zu machen und verschiedene Messergebnisse nur dann zu vergleichen, wenn sie in der gleichen Maßeinheit ausgedrückt sind. So ist es z. B.

nicht möglich, eine in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ausgedrückte Konzentration mit einer in ppb oder vol% ausgedrückten zu vergleichen. Vorher sind die diversen Maßeinheiten auf die gleiche Maßeinheit umzurechnen. Einzelheiten zur Umrechnung bzw. Umwandlung sind in Abschnitt 7.2.4 beschrieben.

### 3. Überprüfung der Messinstrumente

Keine Messung ist zuverlässig, wenn nicht zuvor die Funktionsfähigkeit des verwendeten Instruments überprüft wurde. Während des Gebrauchs muss jedes Instrument in bestimmten Abständen überprüft werden.

Vereinfachte Verfahren zur Kalibrierung und Überprüfung sind in Anhang D zu finden.

### 4. Kontrollkarte

Die Kontrollkarte ist in Anhang D beschrieben.

### 5. Aufstellung der Apparaturen, Messbedingungen

Eine Messung muss für den Kontext, in dem sie durchgeführt wird, repräsentativ sein, z. B. ist ein an der Decke eines Klassenzimmers angebrachtes Thermometer für die von den im Klassenzimmer anwesenden Personen empfundene Temperatur nicht repräsentativ; in diesem Fall zeigt das Thermometer eine höhere Temperatur an als auf Höhe der Personen. Ein standardisiertes Messverfahren enthält alle notwendigen Informationen über die Positionierung der Apparaturen und die Bedingungen, die für die Durchführung der Messung erfüllt sein müssen. Ein Beispiel für die Platzierung von Messinstrumenten ist in Abbildung 2 dargestellt.

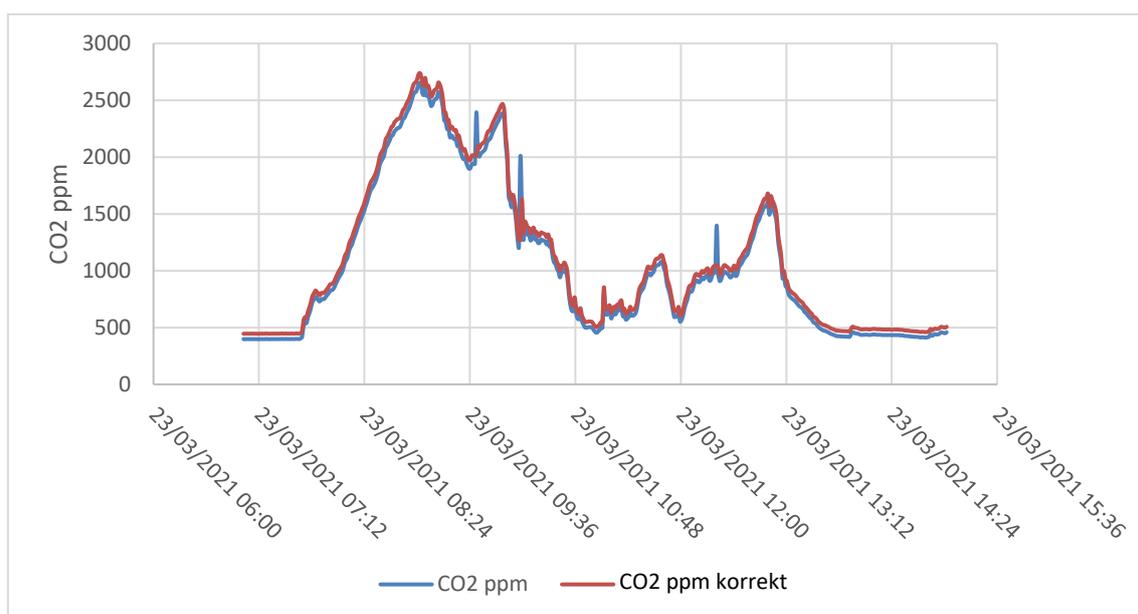
### 6. Messung und Aufzeichnung der Daten

Ein Überwachungssystem besteht aus dem Messinstrument und der Software, die die Daten erfasst und aufzeichnet. Ohne Aufzeichnung kann anschließend keine Beurteilung erfolgen. Das Aufzeichnungskriterium ist nicht willkürlich, jeder Hersteller wählt sein eigenes Kriterium, z.B. Mittelwert der Minute (empfohlen), Mittelwert mehrerer Minuten (5, 10, 15...), punktueller Wert der Minute oder mehrerer Minuten (z.B. zuletzt erfasster Wert von 15 Minuten), und es ist wichtig zu wissen, wie die Software des Messinstruments die Daten erfasst.

### 7. Datenvalidierung und -verarbeitung

Die von der Software erfassten Rohdaten sind noch nicht bereit, interpretiert zu werden, sie müssen zunächst einen wichtigen Vorgang durchlaufen: die Validierung. Bei der Validierung handelt es sich um eine „Bereinigungsaktion“, bei der Daten, die auf Anomalien des Instruments, Abweichungen oder Manipulationen zurückzuführen sind, entfernt werden.

Abbildung 9 - Beispiel für die Validierung von Daten



Das obige Diagramm zeigt Rohdaten (blau) und validierte Daten (rot), die um manipulationsbedingte Spitzenwerte bereinigt wurden.

Um einem Prüflabor die Messung von Luftschadstoffen anzuvertrauen, sind die folgenden Kenntnisse erforderlich:

#### A. Auswahl des Prüflabors

Die Suche nach einem Prüflabor, das bestimmte Analysen durchführt, ist ein schwieriges Unterfangen. Es kann nützlich sein, die ACCREDIA-Webseite zu konsultieren: [www.accredia.it](http://www.accredia.it), banche dati (Datenbanken), ricerca laboratori di prova (Suche nach Prüflaboratorien). Oder wenden Sie sich an die örtliche Umweltbehörde oder das örtliche Gesundheitsamt, um sich beraten zu lassen.

#### B. Akkreditierung

Ein akkreditiertes Prüflabor erfüllt die allgemeinen Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien, die in der Norm ISO/IEC 17025 definiert sind. Ein akkreditiertes Prüflabor garantiert dem Kunden, dass es zur Durchführung bestimmter Prüfungen befähigt ist. In Italien ist „ACCREDIA“ die einzige Akkreditierungsstelle.

#### C. Messverfahren

Standardisierte Messverfahren sind Dokumente, die alle für die Durchführung einer bestimmten Prüfung erforderlichen Verfahren beschreiben. Es ist wichtig, dass das Prüflabor dem Kunden im Vertrag erklärt, welches Messverfahren angewendet werden soll. In den Tabellen 1 bis 9 sind die Bezugnahmen für jeden Schadstoff aufgeführt.

#### D. Prüfbericht

Ist das abschließende Dokument, das das Ergebnis der Messung und alle Informationen enthält, die zur Bewertung des Ergebnisses erforderlich sind. Der Prüfbericht wird von dem Labor erstellt, das die Prüfung durchgeführt hat. Die Informationen müssen klar und

verständlich sein, damit der Kunde sie verstehen und alle durchgeführten Tätigkeiten nachvollziehen kann.

Bei Parametern, die von einem Prüflabor gemessen werden müssen, wie z. B. flüchtige organische Verbindungen und Formaldehyd, ist die Verwendung nicht-professioneller Messinstrumente kritisch. Das Hauptproblem besteht darin, dass sehr kleine Mengen mit Sensoren gemessen werden, deren Empfindlichkeit unzureichend ist. Beispielsweise geben viele handelsübliche Sensoren zur Messung von Formaldehyd einen Messbereich von 0 bis 5 ppm an. In Innenräumen liegt der nicht zu überschreitende Grenzwert für Formaldehyd bei 0,1 ppm, so dass der Sensor empfindlich genug sein muss, um eine Konzentration von mindestens 0,05 ppm (100-mal kleiner) genau zu erkennen.

Die Empfindlichkeit ist daher das Hauptproblem dieser Messinstrumente, und damit auch die Selektivität, d.h. die Fähigkeit, das Signal der gesuchten Substanz von dem anderer „störender“ Substanzen zu „isolieren“; je kleiner die zu messende Menge ist, desto größer ist der Einfluss störender Substanzen auf das Ergebnis.

Wenn die Formaldehydkonzentration in einem Klassenzimmer nach einer Renovierung oder dem Einbau neuer Möbel korrekt gemessen wird, kann man davon ausgehen, dass sie über Jahre hinweg gleich bleibt, wenn sich die Bedingungen in der Zwischenzeit nicht ändern. Dasselbe Prinzip gilt für flüchtige organische Verbindungen, bei denen, von Sonderfällen abgesehen, die Belastung durch die von den Menschen ausgeübte Tätigkeit und die Menschen selbst viel größer als die Belastung durch die Inneneinrichtung und das Gebäude ist. Daher wird sich die Emission flüchtiger organischer Verbindungen bei Kenntnis der ausgeübten Tätigkeit im Laufe der Zeit nicht wesentlich ändern. Wenn diese Schadstoffe einmal richtig gemessen werden und die für niedrige Konzentrationen erforderliche Lüftungsrate bekannt ist, dann reicht die Messung von CO<sub>2</sub>, Temperatur und Luftfeuchtigkeit aus, um die Luftqualität eines Raumes zu überwachen.

Besteht die Notwendigkeit, die Konzentration bestimmter Schadstoffe in einem Raum zu messen, ist es am besten, sich an ein Prüflabor zu wenden, das über die entsprechenden Apparaturen und Kenntnisse verfügt. In diesem Fall sind jedoch Grundkenntnisse erforderlich, um die Arbeit des beauftragten Labors zu bewerten.

Der erste Schritt bei der Messung eines Schadstoffs in der Luft ist die Anwendung einer genormten Prüfmethode, d. h. das anzuwendende Verfahren, die Technik, die Eigenschaften der Apparaturen und die zu verwendenden Materialien. Die Prüfverfahren werden von nationalen und internationalen Gremien wie UNI, EN, ISO ausgearbeitet und herausgegeben, und ihre Anwendung ist nicht zwingend vorgeschrieben, es sei denn, es wird in Rechtsvorschriften darauf verwiesen. Es ist jedoch wichtig, dass ein Labor sie anwendet, zum Beispiel wenn es darum geht, Daten zu vergleichen, die in derselben Umgebung von verschiedenen Instituten gemessen wurden. Wenn unterschiedliche Verfahren (Methoden) verwendet wurden und der Grad der Gleichwertigkeit zwischen einem Verfahren und einem anderen nicht bekannt ist, wird die Interpretation ebenfalls schwierig sein. Es können jedoch auch alle anderen Verfahren verwendet werden, sofern die erzielten Ergebnisse denen des Referenzverfahrens gleichwertig sind (aus diesem Grund gibt es entsprechende Normen).

Es ist daher erforderlich, das anzuwendende Prüfverfahren in Absprache mit dem beauftragten Prüflabor festzulegen.

Die Prüfmethode bzw. das Prüfverfahren beschreibt die Techniken zur Messung eines physikalischen oder chemischen Parameters, der die Luftqualität einer Umgebung beeinflusst. Diese Techniken haben im Wesentlichen zwei Ansätze:

- Indirekte Messung, bei der die zu messende Verbindung zunächst in einem geeigneten Medium (Fläschchen, Filter, Lösung) konzentriert und dann zu einem anderen Zeitpunkt bestimmt wird;
- Bei der direkten Messung kommen automatische Messinstrumente zum Einsatz, mit denen das Messergebnis in sehr kurzer Zeit vorliegt (Sekunden).

Die indirekte Messung ist empfindlicher und präziser als die direkte Messung, denn das erhaltene Ergebnis stellt die durchschnittliche Schadstoffkonzentration in dem Zeitraum dar, der für die Probennahme benötigt wurde (30 Minuten, 1 Stunde, 1 Jahr usw.). Die indirekte Messung ist für kurze Probennahmezeiten nicht sehr geeignet.

Direkte Messungen sind manchmal weniger empfindlich als indirekte Messungen, haben aber den Vorteil, dass sie Trends in der Konzentration eines Schadstoffs im Laufe der Zeit erkennen lassen, was zum Beispiel im Fall von CO<sub>2</sub> sehr wichtig sein kann.

Das Verfahren bestimmt auch, welche Umweltvariablen das Testergebnis beeinflussen.

#### 7.4.1 KONTROLLE DER QUALITÄT BEI SELBST VORGENOMMENEN MESSUNGEN

Die Überprüfung der Qualität von Messinstrument und Messung umfasst zwei Stufen:

- Registrierung der Eigenschaften des Messinstruments (in Anhang C ist ein Beispiel für ein Datenblatt aufgeführt);
- systematische Auswertung und Kontrolle der vom Messinstrument gelieferten Daten durch regelmäßige Aufzeichnung der ausgehenden Daten (Anhang D).

Ein Beispiel für eine Kontrollkarte zur Überprüfung der Qualität der Messung findet sich in Anhang D. Anhand dieses Dokuments kann die Leistung des Messinstrumentes im Laufe der Zeit bewertet und überwacht werden.

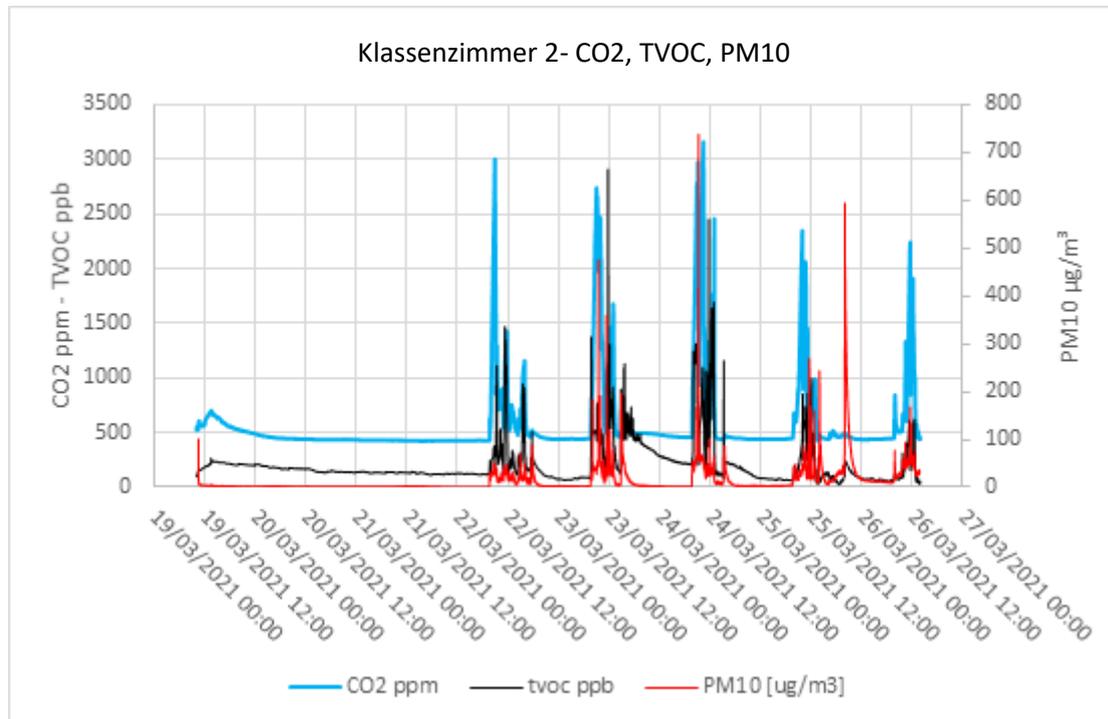
**Tabelle 13 - Parameter zur Luftqualität**

| Parameter, die von der Schule in eigener Regie gemessen werden können   | Die wichtigsten Parameter, die die Hinzuziehung eines Prüflabors erfordern                          |
|---|---|
| - Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )<br><br>Ergänzende Parameter (optional):<br>– Lufttemperatur<br>– relative Luftfeuchtigkeit<br>– Luftdruck | - Formaldehyd<br>- VOC, TVOC<br>- Radon<br>- Feinstaub<br>- biologische Messungen<br>- NOx<br>- ... |

Die Messung der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit kann z. B. nützlich sein, um das Öffnen der Fenster im Fall einer Fensterlüftung zu bewerten. Aus diesem Grund ist es ratsam, im gleichen Zeitintervall Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit zu überwachen.

Die Wahl von CO<sub>2</sub> als Hauptindikator für die Luftqualität wird durch eine breite Palette wissenschaftlicher Literatur und Normen (wie UNI EN 16798-1) unterstützt. Eine vergleichende Grafik (Abbildung 10) zeigt beispielsweise, dass die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen einen ähnlichen Trend aufweisen wie die TVOC- und PM10-Konzentrationen.

**Abbildung 10 - Vergleich von CO<sub>2</sub>, TVOC und PM10**



#### 7.4.1.1 Vereinfachte Verfahren zur Kontrolle der Messinstrumente bei selbst vorgenommenen Messungen

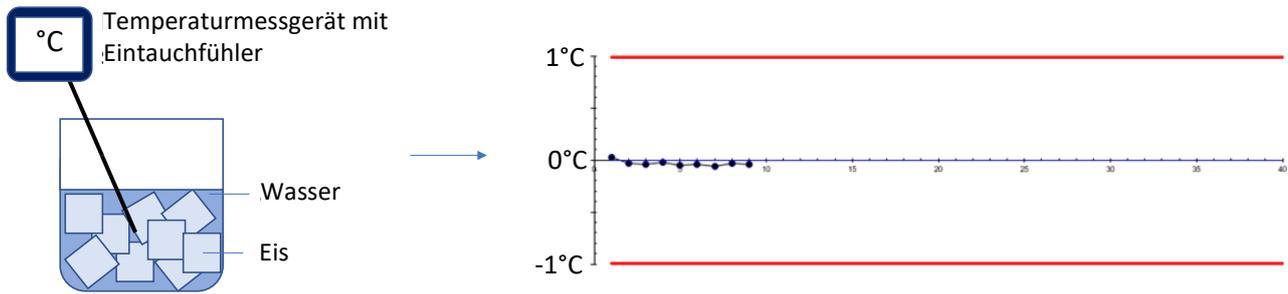
Nachstehend sind die Kontrollverfahren für die folgenden Parameter beschrieben:

- Lufttemperatur
- relative Luftfeuchtigkeit
- Luftdruck
- Kohlendioxid.

##### Lufttemperatur

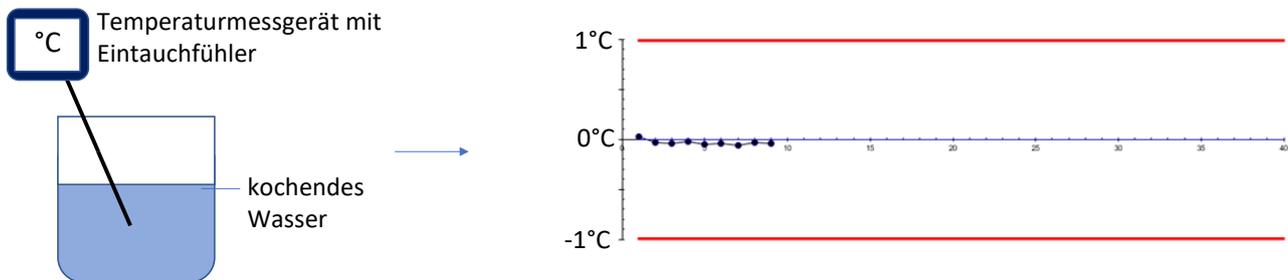
Der Sensor wird einmal in schmelzendes Eis (ein Glas mit Eiswürfeln, die mit Wasser bedeckt sind) und einmal in kochendes Wasser getaucht, um die Werte 0°C und 100°C mit einem guten Genauigkeitsgrad zu erhalten. Die in den Instrumenten zur Messung der Lufttemperatur eingebauten Sensoren erlauben es oft nicht, sie in eine Flüssigkeit einzutauchen; man kann in diesem Fall ein Tauchthermometer verwenden, es wie oben beschrieben kalibrieren und damit die anderen Sensoren mittels Vergleich überprüfen.

**Abbildung 10 – Verfahren zur Kontrolle des Messinstruments bei selbst durchgeführten Temperaturmessungen. Eintauchen ins Eis**



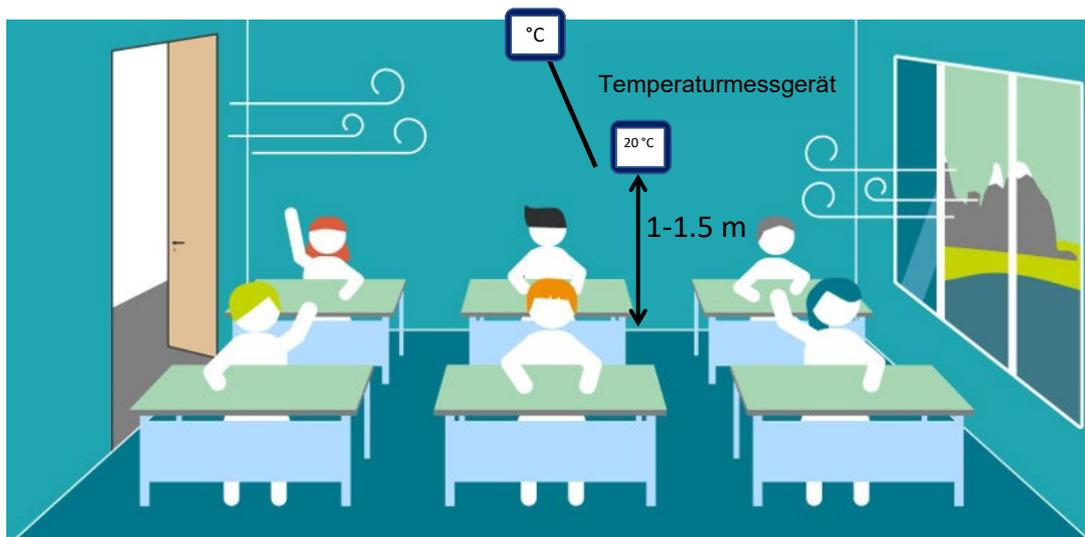
Die Abweichung oder Akzeptanzgrenze sollte  $\pm 1^\circ\text{C}$  betragen.

**Abbildung 11 - Verfahren zur Kontrolle des Messinstruments bei selbst durchgeführten Temperaturmessungen. Eintauchen in kochendes Wasser**



Die Abweichung oder Akzeptanzgrenze sollte  $\pm 1^\circ\text{C}$  betragen.

**Abbildung 12 - Vergleich mit einem im Klassenzimmer angebrachten Instrument**

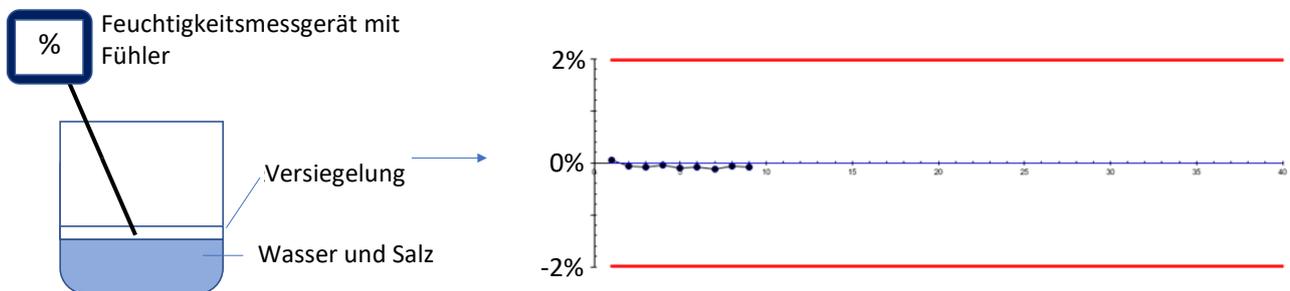


Die Abweichung oder Akzeptanzgrenze hat  $\pm 2^\circ\text{C}$  zu betragen. Es wird die Differenz zwischen dem vom Kontrollinstrument (Tauchthermometer) angezeigten Wert und dem Wert verglichen, der vom Klassenraumthermometer angezeigt wird.

Relative Luftfeuchtigkeit: Kalibrierung mit einer gesättigten Salzlösung.

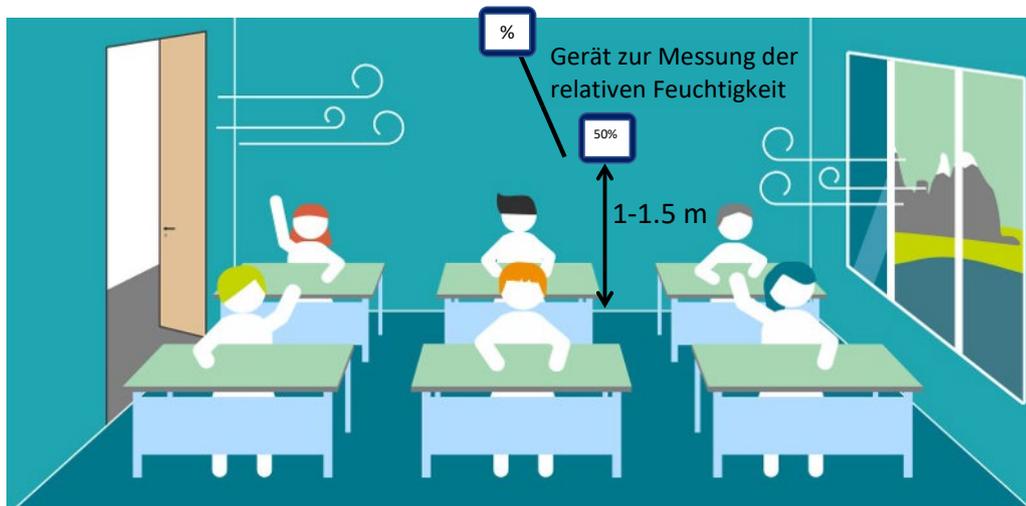
Eine nicht vollständige, aber dennoch ausreichende Kontrolle eines Feuchtigkeitssensors kann durchgeführt werden, indem man den Sensor zunächst einem hygroskopischen Gel (z. B. Silikagel, das billig und leicht erhältlich ist) und dann einer gesättigten Kochsalzlösung aussetzt. Auf diese Weise erhalten wir zwei Kontrollpunkte: einen nahe bei Null und einen bei 75 % relativer Luftfeuchtigkeit. Mit ein wenig handwerklichem Geschick können Sie zwei Plastikgefäße anpassen, eines für das Gel und das andere für die gesättigte Salzlösung; die eine Hälfte der Gefäße wird mit dem Gel oder der Lösung gefüllt, die andere mit dem Sensor (ohne ihn einzutauchen). Wie im Fall der Temperatur kann es praktischer sein, ein Messinstrument mit einer Sonde zu beschaffen, die in das Öffnung eines Gefäßes eingeführt werden kann, und dann damit die in den verschiedenen Räumen installierten Sensoren zu vergleichen.

**Abbildung 13 - Verfahren zur Kontrolle des Messinstruments bei selbst durchgeführten Messungen zur relativen Luftfeuchtigkeit**



Die Abweichung oder Akzeptanzgrenze sollte  $\pm 2\%$  betragen.

**Abbildung 14 - Vergleich mit einem im Klassenzimmer angebrachten Instrument**



Die Abweichung oder Akzeptanzgrenze sollte  $\pm 2\%$  betragen.

Luftdruck

Diese Daten können auf der Website des nächstgelegenen Flughafens oder der nächstgelegenen Wetterstation abgerufen werden. Es ist zu beachten, dass sich der von den Flughäfen angegebene Druckwert immer auf Meereshöhe bezieht, so dass eine Umrechnung auf die Höhe vorgenommen werden muss, in der man sich selbst befindet.

Kohlendioxid

Als Referenzwert kann die CO<sub>2</sub>-Konzentration der Außenluft herangezogen werden, die in einer nicht übermäßig belasteten städtischen Umgebung einen Wert von etwa 450 ppm hat.

Werden Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Luftdruck und Kohlendioxid mit Messinstrumenten des Typs 2) gemessen, deren Zustand wie beschrieben kontrolliert wurde, liefert dies zuverlässige und nützliche Informationen über die Raumluftqualität. Die durchgeführten Kontrollen sollten systematisch dokumentiert werden; ein Beispiel hierfür findet sich in Anhang C.

**ANHANG A**

(informativ)

**FORMULAR FÜR DIE ORTSBESICHTIGUNG VON SCHULEN****A.1 ALLGEMEINES**

Dieser Anhang gibt einen Überblick über die Informationen, die vor und während der Überwachung zu sammeln sind. Diese Informationen können durch spezifische Informationen ergänzt werden. Dieses Formular wurde auf der Grundlage von ISO 16000-Richtlinien und ISTISAN-Berichten entwickelt.

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Datum                   |  |
| Anwesende Personen      |  |
| Formular ausgefüllt von |  |

|   |  |
|---|--|
| Name der Schule   |  |
| Adresse/Hausnummer  |  |
| Anzahl der Stockwerke<br>(oberirdisch/unterirdisch)                   |  |
| Verweis auf die<br>verantwortliche Person                             |  |
| Nützliche Telefonnummern,<br>um mit der Schule Kontakt<br>aufzunehmen |  |

**A.2 NUTZUNG, RÄUME UND STRUKTUR (FÜR JEDES GEBÄUDE - GEBÄUDEEINHEIT/SCHULE/BESTIMMUNGSZWECK)**

|                              |   |
|------------------------------|---|
| Uhrzeiten der Nutzung        |   |
| Anzahl der Klassen           |   |
| Anzahl der Schüler           |   |
| Kantine                      | ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> |
| Turnhalle                    | ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> |
| Werkräume                    | ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> |
| Andere Räume                 |   |
| Besondere Räume              |   |
| Instandhaltung               |   |
| Reinigung der Räumlichkeiten | (Uhrzeiten, wer die Reinigung ausführt...)                |
| WLAN verfügbar               | ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> |

**A.3 EINSTUFUNG DER KLASSENÄUME (FÜR JEDES GEBÄUDE - GEBÄUDEEINHEIT/SCHULE/BESTIMMUNGSZWECK)**

|                        |  |
|------------------------|--|
| Höhe der Klassenräume  |  |
| Fenster (Beschreibung) |  |
| Möblierung             |  |
| Ausstattung            |  |

**A.4 GEBÄUDEDATEN**

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| Baujahr                        |  |
| Jahr der Renovierung/Sanierung |  |
| Umfeld des Gebäudes            | Ländlich <input type="checkbox"/> städtisch <input type="checkbox"/> Stadtmitte <input type="checkbox"/> Leichtverkehr <input type="checkbox"/><br>Schwerverkehr <input type="checkbox"/> Industriegebiet <input type="checkbox"/> |
| Ausrichtung                    | Nord <input type="checkbox"/> Süd <input type="checkbox"/> West <input type="checkbox"/> Ost <input type="checkbox"/>  |
| Energieklasse                  |  |
| Wände                          | Wärmedämmung: ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>  |
| Fenster und Türen              | PVC <input type="checkbox"/> Holz <input type="checkbox"/> Aluminium <input type="checkbox"/> Einbaudatum:<br>Verglasung: einfach <input type="checkbox"/> doppelt <input type="checkbox"/> dreifach <input type="checkbox"/>      |

**A.5 ANLAGEN/INSTALLATIONEN**

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| Brennstoff                            | Methan <input type="checkbox"/> Flüssiggas <input type="checkbox"/> Heizöl <input type="checkbox"/> Biomasse <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/>  |
| Erneuerbare Energien                  | Photovoltaik <input type="checkbox"/> Solarthermie <input type="checkbox"/>   |
| Zum Heizen                            |   |
| Zum Kühlen                            |   |
| Wärmeerzeugung                        | Heizkessel <input type="checkbox"/> Wärmepumpe <input type="checkbox"/> Fernwärme <input type="checkbox"/> Neu <input type="checkbox"/> älter <input type="checkbox"/>  |
| Zusätzliche Heizmöglichkeiten         | (Öfen, Holzöfen, Pelletöfen, ...)   |
| Kälteerzeugung                        | Wärmepumpe <input type="checkbox"/> Chiller <input type="checkbox"/> Neu <input type="checkbox"/> älter <input type="checkbox"/>  |
| Warmwasserbereitung                   | Boiler m. Heizwiderständen <input type="checkbox"/> Heizkessel <input type="checkbox"/> Wärmepumpe <input type="checkbox"/><br>Fernwärme <input type="checkbox"/>   |
| Ausstrahlung                          | Heizkörper <input type="checkbox"/> Fußbodenheizung <input type="checkbox"/><br>Decken-Flächenheizung <input type="checkbox"/> Gebläsekonvektoren <input type="checkbox"/><br>kanalisiertes System <input type="checkbox"/> |
| Regelung                              |   |
| Lüftungsanlagen                       | Zentralisiert <input type="checkbox"/> Dezentral <input type="checkbox"/>   |
| Lüftungsanlagen<br>Wärmerückgewinnung | ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>   |
| Energieverbrauch<br>(Rechnungen)      | Hohe Kosten <input type="checkbox"/> mäßige Kosten <input type="checkbox"/>   |
| Aufzug                                | ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>   |
| Nutzungsperiode der Anlagen           | Zum Heizen<br>Zum Kühlen<br>Lüftungsanlagen   |

**A.6 OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT**

|                            |          |                           |
|----------------------------|----------|---------------------------|
| Klassenraumwände           | Verputzt | verkleidet mit ...        |
| Wände der anderen Räume    | Verputzt | verkleidet mit ...        |
| Wände ...                  | Verputzt | verkleidet mit ...        |
| Fußböden im Klassenraum    | Aus Holz | Keramik/Steinzeug PVC ... |
| Fußböden der anderen Räume |          |                           |
| Fußböden...                |          |                           |

**A.7 PROBLEMATIKEN DER LETZTEN JAHRE**

|                                     |                |
|-------------------------------------|----------------|
| Schimmel                            | (wo?)          |
| Schlechte Luft                      | (wo?)          |
| Gerüche                             |                |
| Trockenheit der Augen               |                |
| Unbehagen                           |                |
| Temperaturen                        | (niedrig/hoch) |
| Radon                               |                |
| Formaldehyd                         |                |
| Hohe CO <sub>2</sub> -Konzentration |                |
| Sonstiges                           |                |

**A.8 WURDEN BEREITS ÜBERWACHUNGEN UND ANALYSEN VORGENOMMEN?**

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

Fotos machen von: Grundrissen (Brandschutz), Klassenzimmern, gemeinsam genutzten Räumlichkeiten, Gebäudehülle, Anlagen/Installationen

Mitzubringende Messinstrumente: Laser-Entfernungsmesser, Fotoapparat.

Anzufordernde Unterlagen: Instandhaltung der Anlagen/Installationen.

**ANHANG B**

(informativ)

**PRÜFBERICHT GEMÄSS UNI CEI EN ISO/IEC 17025**

Der Prüfbericht über die von einem Prüflabor durchgeführte Luftqualitätsmessung muss die nachfolgend aufgeführten Informationen enthalten. Zusätzlich werden in den Tabellen unter Punkt 7.3 weitere spezifische Daten für jeden Indikator und Schadstoff aufgeführt.

- Titel;
- Name und Anschrift des Prüflabors;
- Ort, an dem die Tätigkeiten des Labors ausgeführt werden, einschließlich derjenigen, die in der Schule oder an Standorten außerhalb der Räumlichkeiten des Prüflabors oder in temporären mobilen Standorten des Prüflabors durchgeführt werden;
- eine eindeutige Kennzeichnung, die es ermöglicht, alle Teile als ergänzende Bestandteile des vollständigen Berichts zu erkennen, und ein klarer Berichtsabschluss;
- Name und Anschrift des Kunden;
- Angabe des verwendeten Verfahrens d.h. der angewendeten Methode;
- Beschreibung, eindeutige Identifizierung und, falls erforderlich, der Zustand des Objekts;
- Eingangsdatum des Prüfobjekts/der Prüfobjekte und das Datum der Probennahme, wenn dies für die Gültigkeit und Verwendung der Ergebnisse entscheidend ist;
- das Datum/die Tage, an dem/denen die Labortätigkeiten durchgeführt wurden;
- das Datum der Veröffentlichung des Berichts;
- Verweis auf den Probennahmeplan und das Probennahmeverfahren des Prüflabors oder einer anderen Stelle, wenn diese Informationen für die Gültigkeit oder Verwendung der Ergebnisse entscheidend sind;
- eine Erklärung, dass sich die Ergebnisse nur auf die Punkte beziehen, die geprüft, kalibriert oder per Probennahme untersucht wurden;
- die Ergebnisse, gegebenenfalls mit Angabe der Maßeinheiten;
- Ergänzungen, Abweichungen oder Ausschlüsse vom Verfahren;
- Identifizierung der Person(en), die den Bericht genehmigt hat/haben;
- eindeutige Identifizierung der Ergebnisse von externen Lieferanten.

Zusätzlich zu den aufgeführten Anforderungen müssen die Prüfberichte, soweit für die Interpretation der Ergebnisse erforderlich, Folgendes enthalten:

- Informationen über bestimmte Prüfbedingungen, z. B. Umweltbedingungen;
- Erklärung über die Einhaltung von Anforderungen oder Spezifikationen;
- die Messunsicherheit, die in der gleichen Maßeinheit wie die Messgröße oder bezogen auf die Messgröße (z. B. als Prozentsatz) angegeben wird, wenn:

- sie für die Gültigkeit oder Verwendung der Prüfergebnisse relevant ist,
  - vom Kunden gewünscht wird, oder
  - die Einhaltung einer Spezifikationsgrenze beeinflusst;
- gegebenenfalls Meinungen und Interpretationen;
- zusätzliche Informationen, die für bestimmte Verfahren, Behörden, Kunden oder Kundengruppen erforderlich sein können.

Wenn das Prüflabor für die Probennahme verantwortlich ist, müssen die Prüfberichte den unten aufgeführten Anforderungen entsprechen, sofern dies für die Interpretation der Prüfergebnisse erforderlich ist.

**ANHANG C**

(informativ)

**DATENBLATT DES MESSINSTRUMENTS****C.1 ALLGEMEINES**

Dieser Anhang fasst die Informationen zusammen, die über Messgeräte zu sammeln sind, die zum Messen von Luftqualität (z. B. CO<sub>2</sub>-Messgeräte) und Innenraumparametern (z. B. Thermometer, Hygrometer, ...) verwendet werden.

**C.2 DATENBLATT DES MESSINSTRUMENTS**

|   |  |
|---|--|
| Eigentümer  |  |
| Bezeichnung des Messinstruments                           |  |
| Modell/Typ  |  |
| Serien-/Zulassungsnummer                                  |  |
| Software/Lizenznummer                                     |  |
| Hersteller (Anschrift, Kontakte)                          |  |
| Händler (Anschrift, Kontakte)                             |  |
| Datum des Kaufs/des Erhalts                               |  |
| Datum der Inbetriebnahme                                  |  |
| Verantwortlich für das Instrument                         |  |
| Zustand bei Erhalt (neu, gebraucht, überholt)             |  |
| Identifikations-/Zulassungsnummer                         |  |
| Standort  |  |
| Erstellung des Datenblatts (Name, Datum und Unterschrift) |  |
| Bezugnahme zur Kalibrierung, Zertifikate                  |  |

## ANHANG D

(informativ)

### KONTROLLKARTE

#### D.1 ALLGEMEINES

In diesem Anhang wird der Inhalt der Kontrollkarte zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit eines Messinstruments beschrieben. Zweck dieses Dokuments ist es, zu überprüfen, ob die vom Messgerät gelieferten Daten innerhalb der Akzeptanzgrenze korrekt sind.

#### D.2 KONTROLLKARTE EINES MESSINSTRUMENTS

|   |  |
|---|--|
| Identifikations-/Zulassungsnummer             |  |
| Beschreibung dessen, was zu kontrollieren ist |  |
| Akzeptanzgrenze                               |  |

| Nr. | Datum | Referenzwert | Ablesewert | Akzeptanzgrenze |
|-----|-------|--------------|------------|-----------------|
| 1   |       |              |            |                 |
| 2   |       |              |            |                 |
| 3   |       |              |            |                 |
| ..  |       |              |            |                 |

## ANHANG E

(informativ)

### DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE

#### E.1 ALLGEMEINES

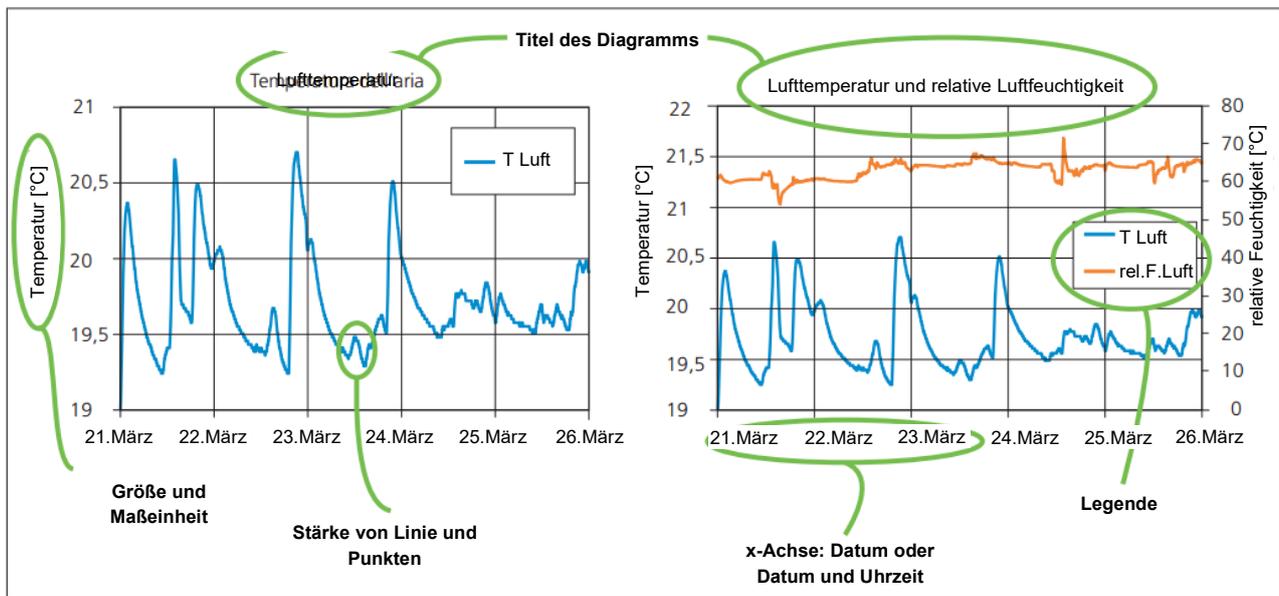
Dieser Anhang enthält Informationen und Beispiele für die Darstellung der Ergebnisse der Überwachung der Luftqualität und anderer Parameter. Dieser Anhang dient dazu, die Lesbarkeit und Interpretation der Messdaten zu verbessern.

#### E.2 KONTINUIERLICHE MESSUNGEN

Die wichtigsten Aspekte zur Gewährleistung einer guten Lesbarkeit der Daten sind:

- die Verwendung einer geeigneten Skala (Höchst- und Mindestwert müssen in Funktion der Daten gewählt werden. In der Temperaturkurve in Abbildung E.1 liegt der Mindestwert bei 19 und der Höchstwert bei 21 °C);
- die Linien und Punkte müssen eine für das Lesen geeignete Dicke haben: Sind sie zu dünn, können sie schwer zu lesen sein, sind sie zu dick, können sich einige Daten überschneiden und daher verloren gehen;
- ein horizontales und vertikales Raster erleichtert das Lesen;
- Farben: Um farbenblinden Menschen das Lesen der Diagramme zu erleichtern, wird die Verwendung leicht erkennbarer Symbole empfohlen;
- die y-Achse muss lesbar sein. Bei der Darstellung von Daten ist es wichtig, die Tageszeit hervorzuheben, auf die sich die Daten beziehen (d.h. ob sich die Daten auf Mitternacht, Mittag, oder eine andere Uhrzeit beziehen);
- bei der Darstellung mehrerer Beobachtungstage (auf der x-Achse) kann es sinnvoll sein, die Schultage sowie die Samstage und Sonntage hervorzuheben;
- durch die Auswahl eines Teils der Daten (z. B. Anwesenheitszeiten in einem Büro) kann das Lesen und die Interpretation erleichtert werden, indem vermieden wird, dass Daten eingefügt werden, die für die Analyse irrelevant sind;
- bei Diagrammen mit zwei Variablen muss die Überlagerung der Daten der beiden Parameter vermieden werden, indem die beiden Skalen angepasst werden (z. B. wurde in dem Diagramm rechts in Abbildung E.1 die Temperaturskala vergrößert: der Höchstwert wurde von 21 auf 22°C erhöht).

Abbildung E.1 - Beispiel für die Darstellung kontinuierlicher Datenreihen



## LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Rapporti ISTISAN 16/16. Strategie di monitoraggio del materiale particolato PM10 e PM2,5 in ambiente indoor: caratterizzazione dei microinquinanti organici e inorganici
- [2] Rapporti ISTISAN 20/3. Qualità dell'aria indoor negli ambienti scolastici: strategie di monitoraggio degli inquinanti chimici e biologici
- [3] WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide (2021)











Membro italiano ISO e CEN

[www.uni.com](http://www.uni.com)

[www.youtube.com/normeuni](http://www.youtube.com/normeuni)

[www.twitter.com/normeuni](http://www.twitter.com/normeuni)

[www.twitter.com/formazioneuni](http://www.twitter.com/formazioneuni)

[www.linkedin.com/company/normeuni](http://www.linkedin.com/company/normeuni)

[www.facebook.com/unmondofattobene](http://www.facebook.com/unmondofattobene)

**Sede di Milano**

Via Sannio, 2 - 20137 Milano  
tel 02700241, [uni@uni.com](mailto:uni@uni.com)

**Sede di Roma**

Via del Collegio Capranica, 4 - 00186 Roma  
tel 0669923074, [uni.roma@uni.com](mailto:uni.roma@uni.com)