

# Kurzfassung

## Länderuntersuchungsprogramm V (LUPE V)

### Luftqualität in Schulklassenräumen im Anschluss an energetische Sanierungen



**Landeslabor Berlin-Brandenburg**

**Landesamt für Gesundheit und  
Soziales Berlin**



**Bayerisches Landesamt für  
Gesundheit und Lebensmittelsicherheit**

**T. Lahrz<sup>1</sup>, R. Burghardt<sup>1</sup>, P.Pfeiler<sup>1</sup>**

**D. Kadler<sup>2</sup>**

**H. Fromme<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Landeslabor Berlin-Brandenburg  
Abt IV - FB4 Umweltbezogener Gesundheitsschutz,  
Landesmessstelle für Gefahrstoffrecht und Innenraumhygiene  
Invalidenstraße 60, 10557 Berlin

<sup>2</sup> Landesamt für Gesundheit und Soziales Berlin  
Abteilung Gesundheit –Umweltbezogener Gesundheitsschutz –  
Turmstraße 21, 10559 Berlin

<sup>3</sup> Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit,  
Sachgebiet Chemikaliensicherheit und Toxikologie  
Pfarrstraße 3, 80538 München

## **Zielsetzung des Projektes**

Das Projekt hatte zum Ziel, in energetisch sanierten Schulklassenräumen die Innenraumluftqualität zu ermitteln und die verwendeten Belüftungsarten hinsichtlich ihres Einflusses auf die gesundheitlichen und rechtlichen Anforderungen zu vergleichen. Dadurch sollen mit Blick auf die Luftqualität die Effekte derartiger Interventionen beschrieben und ggf. Verbesserungen aus gesundheitlicher Sicht vorgeschlagen werden, die es ermöglichen die Klimaschutzaspekte baulicher Sanierungen von Schulen mit dem Gesundheitsschutz der Schulraumnutzer in Einklang zu bringen.

## **Untersuchungen**

Zwischen Dezember 2013 und April 2015 wurden in der kühlen Jahreszeit Untersuchungen zur Luftqualität in Berliner Schulen (überwiegend Grundschulen) durchgeführt, die zwischen 2011 und 2013 energetisch saniert wurden. Dabei wurden umfangreiche Untersuchungen in 22 Klassenräumen, von denen 10 nach der Sanierung weiterhin mittels der Fenster frei belüftet und 12 maschinell mit Raumlufttechnischen Anlagen (RLT) belüftet wurden. Während der Unterrichtsstunden waren unabhängig von der Lüftungsart im Mittel 21 Schüler anwesend. Die Raumvolumina betragen im Mittel ca. 180 m<sup>3</sup> mit einem pro Person vorhandenen Raumvolumen von ca. 8,5 m<sup>3</sup> je Schüler.

Die Räume mit maschineller Lüftung wurden unter den jeweils vorgefundenen Einstellungen untersucht, ohne dass zusätzliche Lüftungsmaßnahmen über Fenster erfolgten. Die Lüftungsanlagen waren in der Regel noch nicht auf den Anforderungswert von 1000 ppm Kohlendioxid sondern meist auf Außenluftvolumenströme (gemäß DIN EN 13779: IDA 3 „mäßige Raumluftqualität“) ausgelegt, die zu einer Konzentration von 1000 – 1400 ppm CO<sub>2</sub> in den Klassenräumen führen sollte.

Für die natürlich belüfteten Räume wurde eine Mindestlüftung vor dem Unterricht, in jeder Pause und nach dem Unterricht festgelegt. Zusätzliche Lüftungsmaßnahmen wurden empfohlen und von den Raumnutzern nach Bedarf und individuellem Empfinden durchgeführt, so dass eine praktikable aber für fensterbelüftete Klassenräume überdurchschnittliche Lüftung stattgefunden hat.

Für Parameter, wie Kohlendioxid, Temperatur, relative Feuchte und diverse Staubfraktionen wurden Messungen unter Nutzungsbedingungen über den Unterrichtszeitraum einer ganzen Schulwoche durchgeführt. Nach Bereinigung um nicht repräsentative Unterrichtsstunden wurden insgesamt 445 Unterrichtsstunden ausgewertet. Zusätzlich wurden an einem regulär besuchten, möglichst repräsentativen Unterrichtstag von Unterrichtsbeginn bis –ende die Parameter: flüchtige organische Verbindungen (VOC, TVOC), flüchtige Carbonylverbindungen (Formaldehyd u.a.), die Feinstaubfraktion PM<sub>10</sub> (gravimetrisch) und luftgetragene Endotoxine untersucht. In der Mitte des ausgewählten Unterrichtstages wurden über den Zeitraum

einer Unterrichtsstunde die Luft auf Schimmelpilze und Bakterien untersucht. Ergänzend wurden exemplarische Bestimmungen der Luftwechselzahl durchgeführt und nach Beendigung des Unterrichtes Bodestaub gesammelt und auf Endotoxine untersucht.

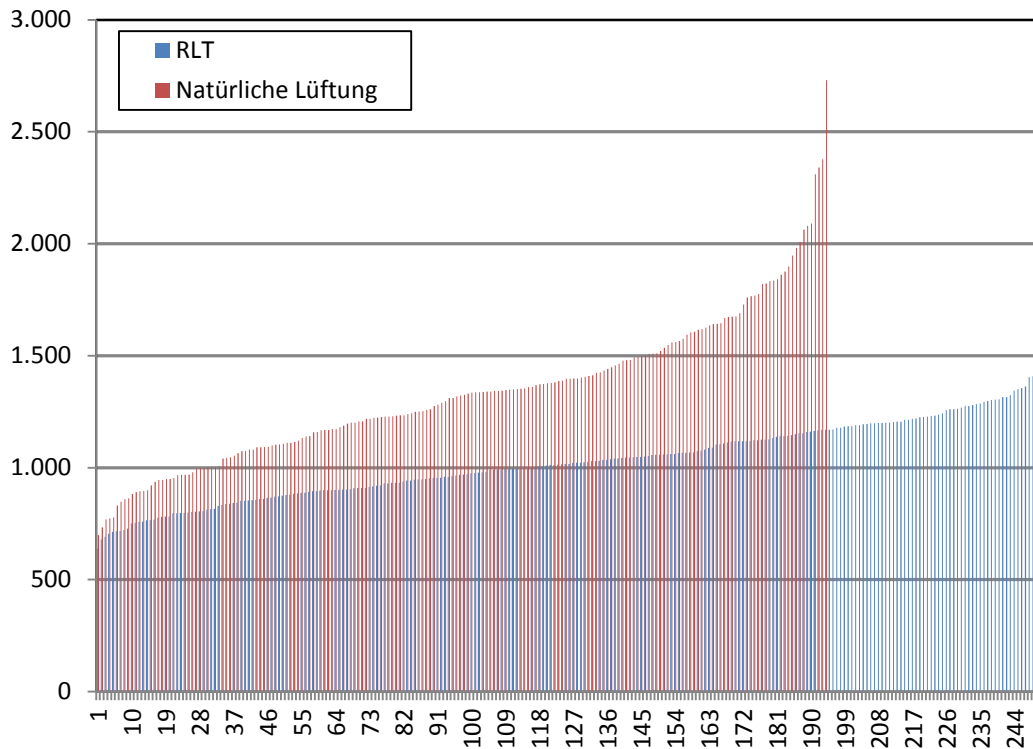


Messaufbau am Hauptmesstag

## Ergebnisse

Beim Vergleich der Lüftungsarten zeigten sich deutliche Unterschiede beim Kohlendioxid, dem klassischen Leitparameter für die Innenraumluftqualität. Während in den Klassenräumen mit maschineller Lüftung im Median aller Unterrichtsstunden eine CO<sub>2</sub>-Konzentration von ca. 1000 ppm erreicht wird, liegt sie für die fensterbelüfteten Räumen bei ca. 1300 ppm.

Durch die maschinelle Lüftung konnten nicht nur die mittleren CO<sub>2</sub>-Konzentrationen sondern auch die Spitzenwerte (max. 1490 ppm) deutlich gesenkt werden, während bei der freien Lüftung erheblich höhere Werte (max. 2730 ppm) registriert wurden. In den fensterbelüfteten Klassenräumen fanden 82 % der Unterrichtszeit oberhalb des hygienisch unbedenklichen Bereiches bzw. der gemäß Arbeitsstättenverordnung geforderten CO<sub>2</sub>-Konzentration von 1000 ppm statt. Über 30 % der Zeit lagen die Werte über 1500 ppm und 7% des Unterrichtes zeigten hygienisch inakzeptable Konzentrationen über 2000 ppm. Demgegenüber sorgt bereits die zum Untersuchungszeitraum vorgefundene Raumluftechnik für eine erheblich bessere Luftqualität, indem sie gewährleistete, dass die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen nie über 1500 ppm anstiegen und fast die Hälfte des Unterrichtes im hygienisch unbedenklichen Bereich (< 1000 ppm) stattfanden.



CO<sub>2</sub>-Unterrichtsstundenmittelwerte (ppm) in frei belüfteten Räumen und Räumen mit RLT

In Räumen von Gemeinschaftseinrichtungen liegen gegenüber Wohn- und Büroräumen erfahrungsgemäß deutlich höhere Staubbelastungen vor, was auch mit dieser Untersuchung bestätigt wurde. Im Zusammenhang mit der besseren Lüftung in den maschinell belüfteten Räumen ergaben sich gleichzeitig niedrigere Feinstaubkonzentrationen. Unabhängig von der Lüftungsart ergaben sich signifikante Korrelationen von Kohlendioxid- und PM<sub>10</sub>-Konzentrationen. Bezogen auf den Median lagen die PM<sub>10</sub>-Konzentrationen um ca. ein Viertel (24 %) niedriger. Für den PM<sub>10</sub>-Staub fanden sich positiv signifikante Korrelationen der PM<sub>10</sub>-Konzentrationen zu den Konzentrationen aller anderen Schwebstaubfraktionen. Dementsprechend zeigten sich auch bei allen anderen Staubfraktionen ca. 20 % geringere Konzentrationen in den Klassenräumen mit raumluftechnischen Anlagen.

Hinsichtlich der klimatischen Bedingungen wiesen die fensterbelüfteten Räume erwartungsgemäß eine deutlich höhere Schwankungsbreite mit Minimaltemperaturen um 18°C gegenüber 21-22 °C bei maschineller Lüftung auf. Die mittleren Temperaturen lagen bei 22 °C gegenüber 24 °C und damit ca. 2 °C niedriger. Die relative Feuchte lag jahreszeitgemäß auf niedrigem Niveau und zeigte mit einem Median von jeweils 33 % rel.F. keine relevanten Unterschiede zwischen den Lüftungsarten.

An den Hauptmesstagen mit dem o.g. umfangreichen Untersuchungsprogramm wiesen die maschinell belüfteten Klassenräume gegenüber dem Wochenmittel etwas höhere Kohlendioxidkonzentrationen (Median 1140 gegenüber 1017 ppm) auf, während die frei belüfteten

Räume praktisch keinen Unterschied (Median 1310 zu 1324 ppm) erkennen ließen. Somit war der Unterschied zwischen den Lüftungsarten am Hauptmesstag etwas geringer als im Mittel über die gesamte Unterrichtswoche.

Die Schweb- und Feinstaubfraktionen wiesen praktisch gleiche Konzentrationen wie im Wochenmittel auf. Auch hier liegen die PM<sub>10</sub>-Konzentrationen in den Klassenräumen mit Fensterlüftung ca. 30 % über denen mit maschineller Lüftung. Ebenfalls bestätigt wurden die positiv signifikanten Korrelationen der PM<sub>10</sub>-Konzentrationen zu den Konzentrationen der anderen Schwebstaubfraktionen.

Darüber hinaus ergaben sich Korrelationen des PM<sub>10</sub>-Staubes zur Konzentration der Schimmelpilze in der Luft sowie zur Konzentration der Endotoxine, die mit dem PM<sub>10</sub>-Staub assoziiert sind. Die Anzahl der ins Verhältnis gesetzten Messergebnisse ist relativ gering, so dass diese rechnerisch statistische Signifikanz nur eine eingeschränkte Aussagekraft hat. Es kann aber von einer Tendenz zu niedrigeren Konzentrationen von Schimmelpilzen und Endotoxinen bei geringeren PM<sub>10</sub>-Werten ausgegangen werden, sofern die abgeschiedenen Partikel gleiche Gehalte aufweisen.

Die Summen der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC) lagen insgesamt auf sehr niedrigem Niveau und überwiegend im Bereich hygienisch unbedenklicher Werte unterhalb von 300 µg/m<sup>3</sup>. In allen Klassenräumen lagen die TVOC-Werte deutlich unterhalb von 1000 µg/m<sup>3</sup> (max. 455 µg/m<sup>3</sup>). Es werden auch keine Vorsorgerichtwerte (Richtwert I) überschritten. Weder hinsichtlich des hygienischen Leitwertes TVOC noch hinsichtlich einzelner Stoffe ergaben sich bedeutsamer Unterschiede zwischen den Lüftungsarten.

Die Anzahl der Koloniebildenden Bakterien in der Luft der Klassenräume ist deutlich höher als in der Außenluft und auch erheblich höher als in anderen Innenräumen. Aufgrund der Schwankungsbreite der Einzelergebnisse ist kein signifikanter Unterschied zwischen den Lüftungsarten zu erkennen.

Die Konzentration der Schimmelpilze in den Klassenräumen bewegte sich insgesamt betrachtet auf niedrigem Niveau. In den meisten Fällen lagen die Konzentrationen unterhalb der Außenluftwerte. Die höchsten Konzentrationen waren in den fensterbelüfteten Klassenräumen zu verzeichnen und das Niveau bei den maschinell belüfteten Räumen tendenziell niedriger. Aufgrund der Anzahl der Untersuchungen lässt jedoch auch hier nur eine Tendenz erkennen aber kein signifikanter Unterschied ableiten.

Die Endotoxin-Konzentrationen in der Luft liegen in einer Größenordnung, wie sie aus vorangegangenen LUPE-Untersuchungen in Schulen bekannt sind und bestätigen die gegenüber anderen Innenräumen erhöhte Belastung in Klassenräumen.

## Schlussfolgerungen

Basierend auf Art und Ausführung der energetischen Sanierungen von Berliner Schulen, die zwischen 2011 und 2013 durchgeführt wurden, ergaben sich aus hygienischer Sicht deutliche Verbesserungen hinsichtlich der Innenraumluftqualität durch die Verwendung mechanischer Belüftungen der Klassenräume. Dies gilt auch vor dem Hintergrund, dass die raumlufttechnischen Anlagen gemäß der damaligen Planungen in der Regel noch nicht auf die aktuellen Anforderungen ausgelegt wurden und in der Praxis erst etwa für die Hälfte der Unterrichtsstunden für hygienisch unbedenkliche Kohlendioxidkonzentrationen sorgen.

Weitere Verbesserungen sind zu erwarten, wenn die Auslegung solcher Anlagen den Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung sowie des Ausschusses für Innenraumrichtwerte hinsichtlich der Einhaltung von 1000 ppm Kohlendioxid (im Mittel einer Unterrichtsstunde) entspricht. Die maschinelle Belüftung beinhaltet zusätzlich sowohl die Möglichkeit einer Wärmerückgewinnung als auch die Nutzung der Nachtkühle in der warmen Jahreszeit. Die energetische Betrachtung der Sanierungs- und Lüftungsarten war nicht Gegenstand dieser Untersuchung.

In den Klassenräumen, die nach der energetischen Sanierung mittels der neu eingebauten Fenster belüftet wurden, zeigten sich deutlich höhere Kohlendioxid- und Feinstaubkonzentrationen, obwohl bereits über die regelmäßige Lüftung vor dem Unterricht und in den Pausen hinaus zusätzlich gelüftet wurde. Eine Verbesserung der bestehenden Situation ist insbesondere in der kalten Jahreszeit sowohl organisatorisch als auch aufgrund von Beeinträchtigungen der Behaglichkeit schwer umzusetzen. Auch wenn das Verbesserungspotential für die Fensterlüftung begrenzt ist, sollten bei zukünftigen Maßnahmen die konstruktiven Möglichkeiten, wie sie z.B. in den Ausführungshinweisen der VDI-Lüftungsregeln zu Schulen (VDI 6040 Blatt 2) beschrieben sind, nachgewiesen werden. Bei entsprechender Beachtung kann so, abgesehen von der Winterzeit, wenigsten für den überwiegenden Teil des Jahres für eine ausreichende Lüftung gesorgt werden. Als weitere Möglichkeit verbleibt nur die Reduzierung der Schüleranzahl in den Klassenräumen.

Für die ganzjährige Gewährleistung hygienisch unbedenklicher Luft ist auch nach den Ergebnissen dieser Untersuchung die Nutzung der mechanischen Lüftung als notwendig und zukunftsweisend anzusehen. Dabei sollte auch die Möglichkeit der „hybriden Lüftung“ in Form einer maschinellen Grundlüftung, in Kombination mit einer zusätzlichen Fensterlüftung, in die Planungen einbezogen werden.

Im Zusammenspiel mit einem vorschriftsgemäßen Luftwechsel ist grundsätzlich auch auf eine nutzungstägliche staubbindende Reinigung zu achten, da so das Potential für die Anreicherung partikelgebundener Schadstoffe und deren Übergang in die Atemluft von vornherein möglichst gering gehalten wird.