Kommentar zur „*Evaluation von Bestandsschulen mit und ohne mechanische Lüftungsanlagen*“ von W. Müller und K. Richter-Kowalewski, Senatsverwaltung Stadtentwicklung und Wohnen, Berlin

Frank Helleis und Thomas Klimach
Max-Planck-Institut für Chemie, Hahn-Meitner-Weg 1, 55131 Mainz, Deutschland
Kontakt: frank.helleis@mpic.de

Version 1.2, 17.04.2023

Zusammenfassung

Das kommentierte Papier von Müller und Richter-Kowalewski (Müller and Richter-Kowalewsky, 2021) stützt sich auf zwei wesentliche Quellen:

1. die Masterarbeit von Melvin Malinowsky bei Prof. Dr.-Ing. Frank Dittwald „Lufthygiene in Klassenräumen – ein Systemvergleich unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten“ (Malinowsky and Dittwald, 2018);
2. die Studie der URS Deutschland GmbH: „Vertiefende Evaluierung der energetischen Sanierung – [Berliner Umweltentlastungsprogramm] UEP II“ (Lühr and Goerke, 2015).

Eine direkte Überprüfung der wissenschaftlichen Qualität und Belastbarkeit der ersten Quelle war bisher nicht möglich, da diese weder öffentlich zugänglich ist, noch auf Nachfrage bei Herrn Müller und beim Betreuer der Masterarbeit Prof. Dittwald zur Verfügung gestellt wurde. Die zweite Quelle wurde von Herrn Müller zur Verfügung gestellt, es fehlt allerdings die Dokumentation zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit. Aufgrund des Umfangs der Kommentare wird die Studie separat analysiert.

Zur Einordnung der in (Müller and Richter-Kowalewsky, 2021) zitierten Daten und Schlussfolgerungen und mangels der Originalquellen wurden die relevanten Größen von uns mit öffentlich zugänglichen Rechenwerkzeugen ermittelt (siehe Anhang). Der Vergleich zeigt, dass in (Malinowsky and Dittwald, 2018) etwa 20-fach höhere bedarfsgebundenen Kosten für lüftungsbedingte Wärmeverluste angesetzt werden als zu erwarten wäre und dass die in (Müller and Richter-Kowalewsky, 2021) veranschlagten wirtschaftlichen Aufwendungen für RLT einen Faktor 15 bis 30 höher liegen als für CO2-geführte Fenster-Dauerlüftung im gleichen Gebäude zu erwarten wäre.

Nach der URS Studie (Lühr and Goerke, 2015) läge allein der gemessene Stromverbrauch der RLT-Anlage der Kreativgrundschule Treptow-Köpenick (RLT) ca. 5-mal höher als die aus dem Lüftungswärmeverlust berechnete rückgewinnbare Wärme (siehe Anhang).

Ein wissenschaftlich nachvollziehbarer Beleg dafür, dass der Einsatz von zentralen oder dezentralen RLT-Anlagen in Schulen wirtschaftlich sinnvoll ist, wird weder durch Malinowski noch durch die URS Studie erbracht. Neuere Studien weisen ebenfalls das Gegenteil nach (Kremer, Rewitz and Müller, 2021; Kaup, 2022).

Ebenso wenig wurde bisher wissenschaftlich nachvollziehbar nachgewiesen, dass der Einsatz von RLT-Anlagen in Schulen im Vergleich zu CO2-geführter Fensterlüftung ökologische Vorteile bringen könnte, siehe die Kommentierung des Papiers „Lüftung unter Pandemiebedingungen“ des AK Klimatechnik und begleitende Studien (Helleis and Klimach,

2022; Helleis, Klimach and Pöschl, 2023a). Das Gegenteil ist anhand von Feldstudien belegbar (Peper *et al.*, 2007; Greml *et al.*, 2008; Jagnow and Gebhardt, 2017; Reiß *et al.*, 2017).

Dass mit kontinuierlicher Fensterlüftung unbedenkliche CO2 Konzentrationen in Klassenräumen eingehalten werden können, ist durch Modellrechnungen, Laborexperimente, Feldstudien und geltende Arbeitsschutzregeln hinlänglich belegt (BAUA ASR A3.6, 2012; Fitzner and Finke, 2012; von Grabe, Svoboda and Bäumler, 2014; Erhart *et al.*, 2015; Knaus *et al.*, 2019; Umweltbundesamt, 2020; Ostmann *et al.*, 2022; Schwarzbauer, 2022; Helleis, Klimach and Pöschl, 2023b).

Anhang

Heizwärmebedarf für Zuluftrate 30 m³/(h p)

Für die typische Wärmelast aufgrund der Anwesenheit eines „mittleren“ Schülers (1.60 m, 55 kg) im Klassenraum ergibt sich nutzungsbedingt konservativ folgender Wert (Persily, 2017; Reiß *et al.*, 2017):

Wärmlast (ruhiger Schüler + LED Licht + Apps) = 87W + 5W + ca. 3W = ca. 95W

Solare Gewinne sowie Transmissionsverluste über die Fassade werden hier nicht berücksichtigt, sie treten unabhängig von der Nutzung auf und sollten somit nicht als nutzungsbedingt gelten. Für den spezifischen nutzungsbedingten Wärmeverlust ergibt sich bei Lüftung mit 30 m³/(h p):

Wärmeverlust, nutzungsbedingt = 0.0083m³/(s p) * 1.2 kWs/(m³ K) = 10 W/(K p)

Für eine angestrebte operative Temperatur im Klassenraum > 20°C (z. B. ~ 20.75°C) und dem sich bei Fensterdauerlüftung einstellenden Temperaturunterschied zwischen Wand (~22°C) und Luft (~19.5°C) ergibt sich die nutzungsbedingte Heizgrenze (ohne Sonne und Transmissionsverluste) zu:

Heizgrenze = 19.5°C – 95 W / 10K/W = 10°C

Der IWU Gradtagzahl Rechner gibt für Berlin Buch basierend auf den DWD Daten für das Jahr 2020 mit einer Höhenkorrektur um 60 m und der Heizgrenze von 10°C folgende Heizgradtage (HGT) und Heiztage (HT) (IWU, 2021):

HGT 10 = 805 Kd, HT 10 = 173 d

Für den Korrekturfaktor zur Kompensation des Leerstandes (Wochenende, Ferien (15 d/Heizperiode)) wird mit Hilfe der Heiztage folgender Faktor berechnet:

Heizschultage = 173 d * 5/7 – 15 d = 109 d

Korrektur = 109 d / 173 d = 0.63

Mit einer mittleren Nutzungszeit von 7 Zeitstunden pro Tag ergeben sich

Heizgradschulstunden = 805 Kd/a * 7 h/d * 0.63 = 3550 Kh/a

Kombiniert mit dem spezifischen Wärmeverlust ergibt sich der jährliche nutzungsbedingte Heizwärmebedarf pro Schüler zu:

Heizwärmebedarf = 3550 Kh/a * 10 W/(K p)

= **36 kWh/(a p)**

Setzt man einen Gas-Brennwert Wärmeerzeuger an (Gesamtwirkungsgrad incl. Verteilung 90%) und nimmt für den Gaspreis 2018 ca. 7 ct/kWh Endenergie an, ergibt sich für den nutzungsbedingten finanziellen Aufwand pro Schüler Kosten von ca.

Heizkosten = 36 kWh/(a p) / 0.9 * 0.075 €/kWh

= **2.8 €/(a p)**

Der nutzungsbedingte Heizwärmebedarf für eine 25-köpfige Klasse ergibt sich dann zu

Heizkosten (Klasse) = 2.8 €/(a p) * 25 p = **70 €/a**

Bei den derzeitigen Gaspreisen von 12 ct/kWh ergäben sich ein nutzungsbedingter Aufwand von

Heizkosten (2023) = 36 kWh/(a p) / 0.9 * 0.12 €/kWh

= **5 €/(a p)**

Überprüfung der ganzheitlichen Kostenbetrachtung (Anhang D, Masterarbeit Malinowsky/Dittwald)

Für die kapitalgebunden Kosten der betrachten Lüftungsanlagen werden 308.000 € (zentrale Anlagen) bzw. 925.000 € (dezentrale Anlagen) angegeben. Inwieweit diese Werte miteinander vergleichbar sind, ist nicht klar, da scheinbar die Daten verschiedener Schulen genutzt wurden und die Schülerzahlen bei Vollbelegung nicht bekannt sind. Für die SK Schule in der Paul-Junius-Straße 25-27 im Bezirk Lichtenberg wurde diese Zahl (600 Schüler) einem Zeitungsbericht entnommen. Zur Berechnung von Energieverbrauchswerten kann die Bruttogeschoßflächenzahl von ca. 6000 m² herangezogen werden, wir schätzen eine Energiebezugsfläche von 90% davon, also ca. 5400 m², entsprechend einer Belegungsfläche von 9 m²/Schüler – in Übereinstimmung mit (Reiß *et al.*, 2017).

Zur Bestimmung der Annuitäten der kapitalgebundenen Kosten von RLT Anlagen werden typische Nutzungszeiträumen der Anlagen von ca. 15 Jahren (Kremer, Rewitz and Müller, 2021; Kaup, 2022) angesetzt. Warum die Annuitäten in der Masterarbeit für einen Investitionszeitraum von nur 10 Jahren berechnet wurden, ist nicht nachvollziehbar.

Die Investitionskosten typischer dezentraler Anlagen werden in anderen Veröffentlichungen mit ca. 10.000…15.000 €/Raum angegeben, man würde also für solche Anlagen nur Gesamtkosten von ca. 600p / (25p/r) * 12.000 € = 300.000 € erwarten, also ziemlich genau dieselbe Größe wie bei zentralen Anlagen (Umweltbundesamt, 2017; WOLF GMBH, 2017; Kremer, Rewitz and Müller, 2021; Viessmann Climate Solutions SE, 2021; Kaup, 2022). Warum die Investitionen für dezentrale Geräte hier 3mal höher angenommen werden, ist weder wissenschaftlich noch praktisch nachvollziehbar.

Die angegebenen Kosten für den Wärmebedarf der raumlufttechnischen Systeme erscheinen sehr hoch, da mit diesen Anlagen bei 30 m³/(h p) normalerweise kaum noch Heizwärmebedarf während der Nutzungszeit entsteht – die Überprüfung kann mit dem online Tool AHULife der RWTH Aachen durchgeführt werden (*AHULife*, 2021).

Die angegebenen Kosten von 17.3 €/(a p) würden bei 0.07 €/kWh trotz Wärmerückgewinnung einem sehr hohen nutzungsbedingten Wärmebedarf entsprechen:

Heizwärmebedarf = 17.3 €/(a p) / 0.07 €/kWh = **247 kWh/(a p)**

Dieser Wert liegt ca. einen Faktor 7 über dem lüftungsbedingten Heizwärmebedarf bei Fensterlüftung (siehe oben). Berechnet man allerdings daraus mit der Belegungsfläche von 9 m²/Schüler den flächenspezifischen Heizwärmebedarf, ergeben sich

Heizwärmebedarf = 247 kWh/(a p) / 9 m²/p = **27.4 kWh/(m² a)**

Diesen Wert kann man direkt mit den Erkenntnissen des Büro URS vergleichen, nach denen die Anforderungen der EnEV typisch um 40-50% übertroffen wurden (Seite 1, Lühr and

Goerke, 2015). Aus der Vergleichstabelle des Energieausweises lassen sich für einen Neubau ein Referenzwert von ca. 50 kWh/(m² a) ablesen, ein Wert von 27.4 kWh/(m² a) / 0.55 = 49.8 kWh/(m² a) ist damit sehr plausibel.

Es liegt also nahe anzunehmen, dass die Angaben der bedarfsgebundenen Kosten von gesamten Gebäuden verglichen wurden und nicht von „ausgewählten Lüftungssystemen" (Seite 3, Lühr and Goerke, 2015).

Geht man davon aus, dass bei Einsatz von Wärmerückgewinnung praktisch kaum nutzungsbedingter Heizwärmebedarf entsteht (geschätzt 90% transmissions- und infiltrationsbedingt), kann der nutzungsbedingte Teil des Heizwärmebedarfs des Gebäudes separiert betrachtet und damit die betrachteten Lüftungssysteme realistisch verglichen werden:

Heizwärmebedarf Transmission/Infiltration = 17.3 €/(a p) * 0.9 = **15.6 €/(a p)**

Dieser Wert ist von allen Wärmekosten abzuziehen, da er durch die Lüftung nicht positiv beeinflussbar ist, evtl. Rückgewinne durch WRG sind bereits beachtet.

Die folgende Tabelle zeigt die jährlichen Kosten pro Schüler für die verschiedenen Varianten unter Berücksichtigung der gegeben Zahlen, 15 Jahre Nutzungszeit, den angesprochenen Korrekturen (grün für Transmissions- und Infiltrationskorrektur), zusammen mit den von uns berechneten Annuitäten (in rot) für den lüftungsbedingten Wärmebedarf (siehe oben):

	RLT zentral	RLT dezentral	Dauerlüftung	Stoßlüftung
Kapital	34	103	0	0
Strom	9.7	2.8	0	0
Wärme	17.3/**1.7**	17.3/**1.7**	82/**66.4** **2.8**	39.0/23.4 **1.4**
Wartung	1.9	4,7	0	0
Summe	**62.9/47.3**	**127.8/112.2**	**82/66.4** **2.8**	**39.0/23.4** **1.4**

Wie man sieht, wurden die bedarfsgebundenen Kosten für Wärme bei Dauerlüften um ca. einen Faktor 20 zu hoch angesetzt. Da die Masterarbeit nicht vorliegt, kann nicht im Detail überprüft werden, wie diese abnorm hohen Werte zustande kommen.

Damit entbehren praktisch alle Schlussfolgerungen und Empfehlungen der Masterarbeit einer wissenschaftlich nachvollziehbaren Grundlage, insbesondere die Behauptung der Energie- oder Kosteneinsparung durch RLT/WRG. Eine detaillierte Betrachtung der auf weit überhöhten Zahlen basierenden Schlussfolgerungen erscheint nicht notwendig.

Vorläufige Überprüfung der ganzheitlichen Kostenbetrachtung (Anhang D, Studie der URS Deutschland GmbH)

Mit den in Anhang D gegeben Zahlen ist keine Überprüfung irgendwelcher Ergebnisse oder Schlussfolgerungen möglich. Die Studie der URS Deutschland GmbH wurde uns mittlerweile zugestellt (Lühr and Goerke, 2015).

Hinsichtlich des Vergleichs mit unseren Studien sind allerdings folgende Aussagen bemerkenswert (Seite 2, Seite v der Zusammenfassung):

„Als wirtschaftlich besonders effizient erwiesen sich Standardmaßnahmen, wie z. B. Wärmedämmverbundsysteme und Gas-Brennwert-Heizungen“.

„Bei der Auswertung wurde deutlich. dass insbesondere etablierte Maßnahmen, wie z.B. Wärmedämmverbundsysteme und Pelletkessel zu einem guten Effizienzwert beitrugen.“

Diese Aussagen entsprechen unseren Analysen und denen von Peper et al., nachdem durch Sanierung/Neubau von Schulen im Passivhausstandard Energiebedarf und -Verbrauch gegenüber dem Bestand im Bereich Stadtgebiet Frankfurt/Main um bis zu 90% gesenkt werden konnte (Peper *et al.*, 2007).

Seite 90: ***„Die generierten Energieeinsparungen sind erheblich, jedoch ist die wirtschaftliche Sinnhaftigkeit aufgrund der hohen Investitions- und Wartungskosten eher zweifelhaft.“***

Auf Basis der erhobenen Daten ist eine Quantifizierung der „generierten Energieeinsparungen“ nicht möglich, da keine Quantifizierung der Lüftungswärmeverluste stattfand (siehe Zitate unten). Die erste Aussage ist also nicht wissenschaftlich belegbar. Allein der Strom-Mehrverbrauch der Kreativgrundschule Treptow-Köpenick (wahrscheinlich aufgrund der RLT) von ca. 20 kWh/(m² a) ist ca. 5-mal höher als die aus dem rechnerischen Lüftungswärmeverlust rückgewinnbare Wärme - ca. 36 kWh/(m² p) / 9 (m²/p) = 4 kWh/(m² a), siehe oben. Die Lüftungsanlage in der Kreativschule scheint hochgradig ineffizient betrieben zu werden.

Die Autoren räumen ein:

Seite 90: ***„Als besonders kontrovers stellt sich die Verwendung von Lüftungsanlagen dar.“***

Seite 17: ***„Eine quantitative Bewertung der Wärmeverluste fand nicht statt“.***

Seite 67: ***“Eine seriöse Abschätzung der Höhe der potentiellen Einsparungen ist aufgrund der vielen Unbekannten (Anzahl der geöffneten Fenster, auf Kipp oder komplett geöffnet) nicht möglich.“***

Referenzen

AHULife (2021). Available at: https://ahulife.eonerc.rwth-aachen.de/ (Accessed: 2 October 2021).

BAUA ASR A3.6 (2012) *Technische Regel für Arbeitsstätten*. Available at: https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/ASR/pdf/ASR-A3-6.pdf?__blob=publicationFile (Accessed: 17 May 2021).

Erhart, T. *et al.* (2015) 'Experimental Validation of Basic Natural Ventilation Air Flow Calculations for different Flow Path and Window Configurations', *Energy Procedia*, 78, pp. 2838–2843. Available at: https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.644.

Fitzner, K. and Finke, U. (2012) *Lüftungsregeln für freie Lüftung: Projekt F 2072*. Dortmund: BAuA (Forschung).

von Grabe, J., Svoboda, P. and Bäumler, A. (2014) 'Window ventilation efficiency in the case of buoyancy ventilation', *Energy and Buildings*, 72, pp. 203–211. Available at: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.10.006.

Greml, A. *et al.* (2008) 'Evaluierungen von Klassenzimmerlüftungen in Österreich und Erstellung eines Planungsleitfadens', *Berichte aus Energie und Umweltforschung*, 14.

Helleis, F. and Klimach, T. (2022) 'Kommentar zu "Lüftung unter Pandemiebedingungen", AK Klimatechnik 2022'. Available at: https://www.ventilation-mainz.de/comments.html.

Helleis, F., Klimach, T. and Pöschl, U. (2023a) *Wirksamkeit, Energieeffizienz und Nachhaltigkeit verschiedener Lüftungsmethoden hinsichtlich Luftqualität und Infektionsschutz in Innenräumen: Fensterlüften, Abluftventilatoren, Raumlufttechnik und Luftreiniger*. Zenodo. Available at: https://doi.org/10.5281/zenodo.7586167.

Helleis, F., Klimach, T. and Pöschl, U. (2023b) *Wirksamkeit, Energieeffizienz und Nachhaltigkeit verschiedener Lüftungsmethoden hinsichtlich Luftqualität und Infektionsschutz in Innenräumen: Fensterlüften, Abluftventilatoren, Raumlufttechnik und Luftreiniger*. Zenodo. Available at: https://doi.org/10.5281/zenodo.5070421.

IWU (2021) *Institut Wohnen und Umwelt (IWU): Energiebilanzen für Gebäude*. Available at: https://www.iwu.de/publikationen/fachinformationen/energiebilanzen/ (Accessed: 1 October 2021).

Jagnow, K. and Gebhardt, K. (2017) 'Energieoptimiertes Bauen – EnEff:Schule Neubau der St. Franziskus-Grundschule in Halle (Saale) als Nullenergiehaus in Holzbauweise, Abschlussbericht', *Forschungsbericht* [Preprint].

Kaup, C. (2022) 'Bewertung der Wärmerückgewinnung mit raumlufttechnischen Geräten in Schulen und vergleichbaren Räumen versus Fensterlüftung', *HLH vdi Fachmedien*, 73(01–02).

Knaus, C. *et al.* (2019) 'Entwicklung von Handlungsempfehlungen für praxisgerechte Lüftungskonzepte und Entwicklung eines CO2-Berechnungstools'. BBSR.

Kremer, M.T., Rewitz, K. and Müller, D. (2021) *Bewertung der Wärmerückgewinnung für die maschinelle Belüftung von Klassenräumen*, *Aachen : RWTH Aachen University*. RWTH Aachen University, p. pages 14 Seiten : Diagramme. Available at: https://doi.org/10.18154/RWTH-2021-07252.

Lühr, O. and Goerke, P. (2015) '„Vertiefende Evaluierung der energetischen Sanierung – [Berliner Umweltentlastungsprogramm] UEP II".' URS Deutschland GmbH.

Malinowsky, M. and Dittwald, F. (2018) *Lufthygiene in Klassenräumen – ein Systemvergleich unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten*. Masterarbeit. Beuth Hochschule für Technik Berlin (FB IV Architektur und Gebäudetechnik.

Müller, W. and Richter-Kowalewsky, K. (2021) 'Evaluation von Bestandsschulen mit und ohne mechanische Lüftungsanlagen'. Senatsverwaltung Stadtentwicklung und Wohnen, Berlin.

Ostmann, P. *et al.* (2022) *Wirksamkeit der einseitigen Fensterlüftung in Klassenräumen : Stoßlüfung*, *12 Seiten (2022). doi:10.18154/RWTH-2022-01310*. RWTH Aachen University, p. pages 12 Seiten. Available at: https://doi.org/10.18154/RWTH-2022-01310.

Peper, S. *et al.* (2007) 'Passivhausschule Frankfurt Riedberg'. PASSIVHAUS INSTITUT. Available at: https://passiv.de/downloads/05_passivhaus-schule_riedberg.pdf (Accessed: 10 February 2021).

Persily, A.K. (2017) 'Carbon Dioxide Generation Rates for Building Occupants'. Available at: https://www.nist.gov/publications/carbon-dioxide-generation-rates-building-occupants-1 (Accessed: 20 February 2022).

Reiß, J. *et al.* (2017) 'Wissenschaftliche Begleitforschung zum Forschungsvorhaben „Energieeffiziente Schulen" Abschlussbericht Phase 2'. Available at: https://edocs.tib.eu/files/e01fb18/1010951262.pdf (Accessed: 10 February 2022).

Schwarzbauer, C. (2022) 'Forschungsprojekt "Sicheres Klassenzimmer": Wirkung verschiedener Lüftungsmethoden hinsichtlich Luftqualität und Infektionsschutz im realen Schulunterricht'. Available at: https://doi.org/10.5281/zenodo.7496827.

Umweltbundesamt (2017) 'Anforderungen an Lüftungskonzeptionen in Gebäuden, Teil 1: Bildungsgebäude'.

Umweltbundesamt (2020) 'Lüften in Schulen'.

Viessmann Climate Solutions SE (2021) *Vitovent 200-P für Kitas & Schulen*, *Viessmann*. Available at: https://www.viessmann.de/de/aktionen/aufatmen.html (Accessed: 28 June 2021).

WOLF GMBH (2017) *Wolf COMFORT-GROSSRAUMLÜFTUNGSGERÄT tech. Dokumentation*. Available at: https://www.wolf.eu/fileadmin/Wolf_Daten/Dokumente/Technische_Dokus/Ventilation/4800620_201704_Comfort_Grossraumlueftung_CGL_DE.pdf (Accessed: 4 July 2021).