



## Luft, Licht, Wärme und Akustik – Der Einfluss gesunden Raumklimas auf die Lernfähigkeit

Tobias Burgholz

### Heinz Trox Wissenschafts gGmbH Forschungsschwerpunkt Schulen

#### Feldstudie (2019)

##### Ziel

Status Quo im Bereich Luftqualitätsmanagement, Akustik und Beleuchtung erfassen

##### Ablauf

(April bis Juli, Aachen und Neukirchen-Vluyn)  
eintägige Messungen unter Nutzungsbedingungen  
in 23 Schulen, 48 Räumen und 210 Schulstunden

**Werden Klassenräume den ständig wachsenden  
Anforderungen gerecht?**

#### Interventionsstudie (2020 bis 2025)

##### bisherige Schritte

- Sanierung von 4 Klassenräumen (Neukirchen-Vluyn) und Installation einer modularen Integrallösung aus
- CO<sub>2</sub>-geregeltem Lüftungsgerät (bis zu 100 % Frischluft)
  - Akustikdecke für bessere Sprachverständlichkeit
  - tageslicht-/präsenzgesteuerter Beleuchtung

##### nächste Schritte

- subjektives Nutzerfeedback erheben
- Untersuchungen zum Einfluss auf Lernfähigkeit

## Feldstudie Verschiedene Lüftungskonzepte



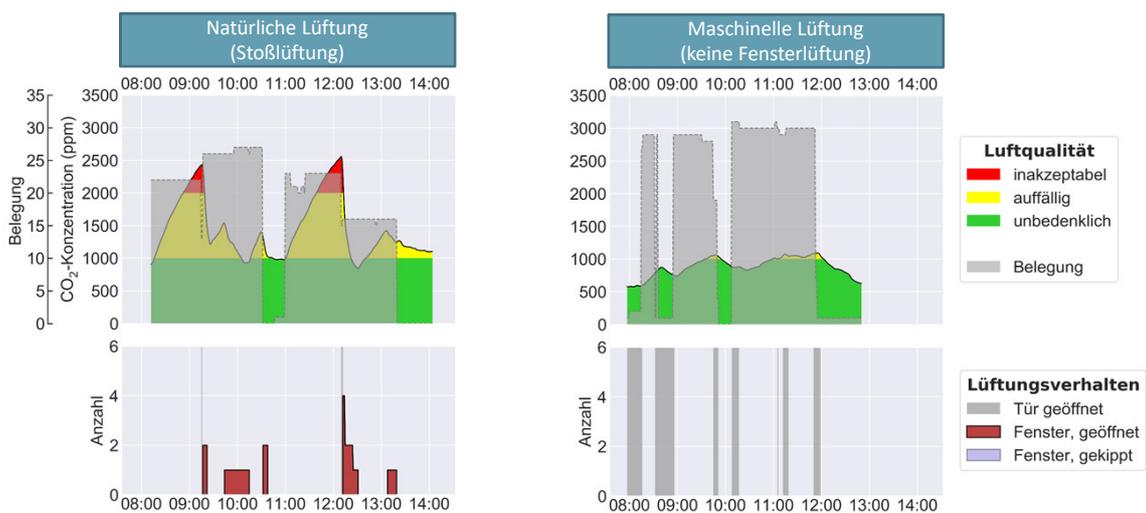
	Natürliche Lüftung	Maschinelle Lüftung
		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>manuelles Fensterlüften ganzjährig notwendig</li> <li>abhängig von günstigen Umgebungsbedingungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Luftzufuhr automatisch geregelt (CO<sub>2</sub>/Zeit)</li> <li>kein manuelles Fensterlüften notwendig</li> </ul>
UE/Räume	143 (33)	32 (9)
Umgebung	6 bis 26 °C	6 bis 31 °C

3 | 11.11.2021

Luft, Licht, Wärme und Akustik – Der Einfluss gesunden Raumklimas auf die Lernfähigkeit | Tobias Burgholz



## Feldstudie Fensterlüftung vs. maschinelle Lüftung



4 | 11.11.2021

Luft, Licht, Wärme und Akustik – Der Einfluss gesunden Raumklimas auf die Lernfähigkeit | Tobias Burgholz



## Natürliche Lüftung

### (Gute?) Gründe für unzureichende Fensterlüftung



- zu warm, zu kalt
- zu laut
  - Sportunterricht, Straße, Rasenmäher, Taube, ...
- zu gefährlich
- zu unpraktisch
  - weht auf, knallt zu, Blätter fliegen weg, ...
- zu wenig Platz
  - Fensterbank dient als Abstellfläche
  - Fenster öffnen in Sitzbereich
- sonstige Gründe
  - „Vogelnest“
  - abgeschlossen
  - Griff klemmt/fehlt



[1] <http://669.g.akamai.net/9/69/10688/v1/mg5.allicine.fr/acmedia/medias/rmedia/18/96/48/19/20595548.jpg>

## Feldstudie

### Weitere Ergebnisse zur Beleuchtung und Raumakustik



#### Beleuchtung

##### untersucht

horizontale Beleuchtungsstärken pro Tisch

##### subjektive Rückmeldungen (Auszug)

- unzureichende und ortsabhängige Ausleuchtung
- schlechte Positionierung der Leuchten
- teilweise Schattenwurf und Flackern

##### objektive Ergebnisse

- in 50 % der Räume: Unterschreitung des Richtwertes an mindestens einem Tisch
- in 20 % der Räume: mediane Beleuchtungsstärke aller Tische unterhalb des Richtwertes

#### Raumakustik

##### untersucht

Nachhallzeiten und Hintergrundgeräuschpegel

##### subjektive Rückmeldungen (Auszug)

- teilweise sehr hohe Lärmpegel
- starke Stimmbeanspruchung
- Stress, teilweise beeinträchtigtes Sozialleben

##### objektive Ergebnisse

- nur 12 von 55 Klassenräumen (21 %) genügten inklusiven Anforderungen (Nachhallzeit)
- Hintergrund- und Betriebsgeräusche allein erfordern zum Teil angehobenes Sprechen

## Heinz Trox Wissenschafts gGmbH Forschungsschwerpunkt Schulen

### Feldstudie (2019)

#### Ziel

Status Quo im Bereich Luftqualitätsmanagement, Akustik und Beleuchtung erfassen

#### Ablauf

(April bis Juli, Aachen und Neukirchen-Vluyn)  
eintägige Messungen unter Nutzungsbedingungen  
in 23 Schulen, 48 Räumen und 210 Schulstunden

**Werden Klassenräume den ständig wachsenden  
Anforderungen gerecht?**

### Interventionsstudie (2020 bis 2025)

#### bisherige Schritte

Sanierung von 4 Klassenräumen (Neukirchen-Vluyn) und  
Installation einer modularen Integrallösung aus

- CO<sub>2</sub>-geregeltem Lüftungsgerät  
(bis zu 100 % Fischlufte)
- Akustikdecke für bessere Sprachverständlichkeit
- tageslicht-/präsenzgesteuerter Beleuchtung

#### nächste Schritte

- subjektives Nutzerfeedback erheben
- Untersuchungen zum Einfluss auf Lernfähigkeit

7 | 11.11.2021

Luft, Licht, Wärme und Akustik – Der Einfluss gesunden  
Raumklimas auf die Lernfähigkeit | Tobias Burgholz

## Interventionsstudie Sanierung eines Klassenraums

Lüftungsgerät  
(Heizkreiseinbindung)

LED-Beleuchtung

Akustikdecke



**Antonius-Grundschule**  
(Neukirchen-Vluyn, Herbst 2020)

8 | 11.11.2021

Luft, Licht, Wärme und Akustik – Der Einfluss gesunden  
Raumklimas auf die Lernfähigkeit | Tobias Burgholz

## Interventionsstudie

### Studienergebnisse zur Auswirkung maschineller Lüftung

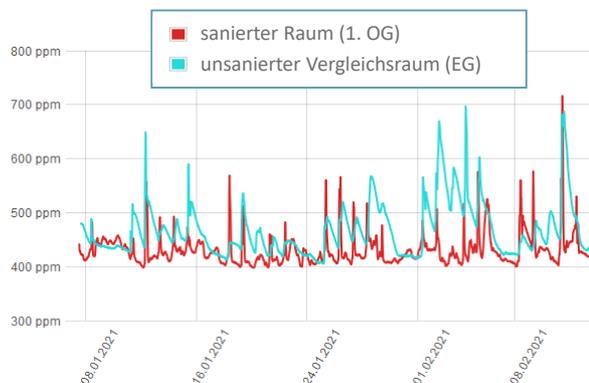


#### Einfluss auf Lernfähigkeit

- **Coley et al. (2007) [2]**  
Zunahme des CO<sub>2</sub>-Gehaltes von 690 auf 2.909 ppm  
→ 5 % geringere Konzentration und Aufmerksamkeit
- **Bako-Biro et al. (2012) [3]**  
Anhebung des Volumenstroms von 1 auf 8 l/s pro Person  
→ Leistungszunahme um 15 % (Worterkennung)

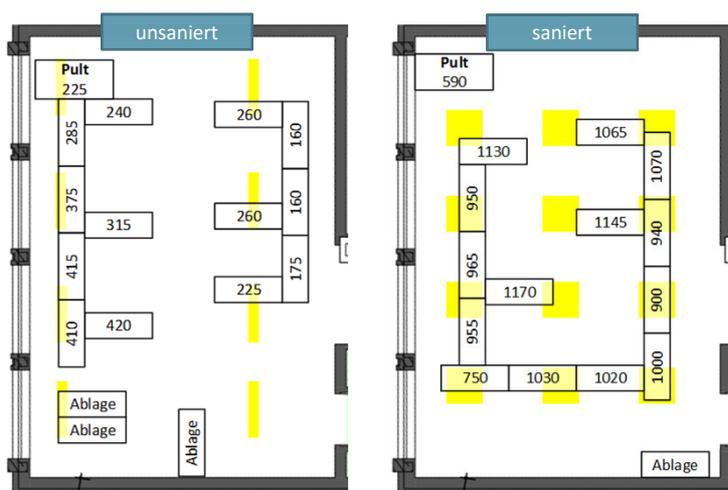
#### Einfluss auf Fehlzeiten

- **Shendell et al. (2004) [4]**  
Anstieg um 1.000 ppm CO<sub>2</sub>-Konzentration  
→ Fehlzeiten der SuS steigen um 10 bis 20 %



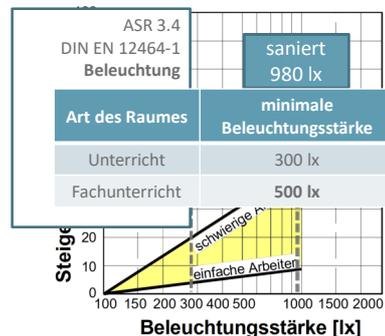
## Interventionsstudie

### Beleuchtung



#### Steigerung der Beleuchtungsstärke

- Arbeitsleistung steigt
- Ermüdung nimmt ab
- Fehlerrate nimmt ab



[5] Ch. Schierz (2005), „Grundlagen der Ökologie I“, Institut für Hygiene- und Arbeitsphysiologie, Eidgenössische Technische Hochschule

## Interventionsstudie Raumakustik



### Der Lombard-Effekt



Sprechaktivität	Aerosolkonzentration (ml/m³)
Atmen	0,0018
Sprechen	0,0096
Lautes Sprechen, Singen	0,0600

• 5,33  
• 6,25  
• 33,3

[6] Buonanno et al. 2020

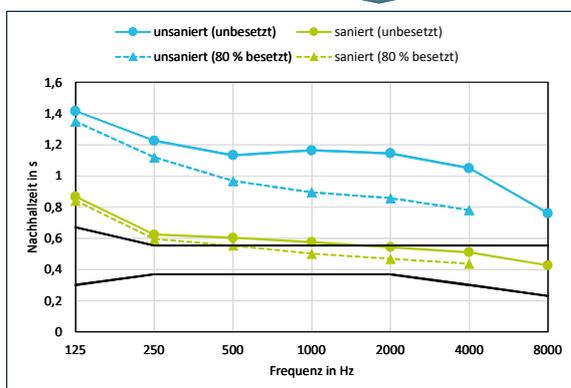
→ Verbesserung der Raumakustik kann dazu beitragen, das Infektionsrisiko deutlich zu reduzieren!

## Interventionsstudie Raumakustik

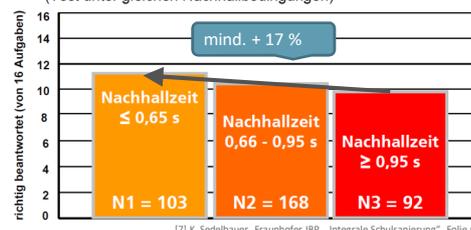


### mittlere Nachhallzeit (250 bis 2000 Hz)

- unsaniert: 1.17 s
- saniert: 0.59 s



### Leistung von Zweitklässlern beim Kategorisieren von Lauten. (Test unter gleichen Nachhallbedingungen)



[7] K. Sedelbauer, Fraunhofer IBP, „Integrierte Schulsanierung“, Folie 6

- Lärm ist eine der **Hauptursachen für Stress** an Schulen [8, 9]
- Dauerhafte Lärmexposition führt bereits bei mittleren Schallpegeln zu **Störungen der zentralen Hörverarbeitung und der Aufmerksamkeitskontrolle** [10]
- Längere Nachhallzeiten bedingen **höhere Absentismusraten** [11]
- Gehörschäden/-verlust, Schwindel, chronischer Bluthochdruck, Kopfschmerzen und Angstgefühle sind nicht nur **medizinisch relevant**, sie **beeinträchtigen auch das Sozialeben** von Lehrkräften, ihren Familien und Menschen in ihrer Umgebung [12]

## Interventionsstudie

### Rückmeldungen einer Lehrerin und Grundschulklasse ...

#### ... zur Luftqualität

- „Wann immer wir den Klassenraum betreten, fühlt es sich so an, als ob gerade die Fenster offen gewesen wären.“
- „Den Geruch von ‚Pumakäfig‘ haben wir mit zwei lachenden Augen hinter uns gelassen.“

#### ... zur Beleuchtung (Präsenzmelder)

- „Dann können wir ja nie vergessen, das Licht auszumachen!“

#### ... zur Akustik

- „Die maschinelle Lüftung ist nur dann wahrzunehmen, wenn der Klassenraum still (also leer) ist und man genauinhört.“
- „Geräusche [...] hallen weniger, sodass auch in Partner- oder Gruppenarbeitsphasen eine angenehme Lautstärke herrscht.“

#### ... zum Lernklima

- „Es ist spürbar, dass die SuS sich länger konzentrieren können und die Müdigkeit im Klassenraum nachgelassen hat.“
- „Ein gesteigertes Sicherheitsgefühl, das wiederum zu einem erhöhten Wohlbefinden führt, mündet in einer gelasseneren Lehrkraft mit einer entspannteren SuS-Gruppe.“



## Parametrisches Modell

### Vorplanungstool

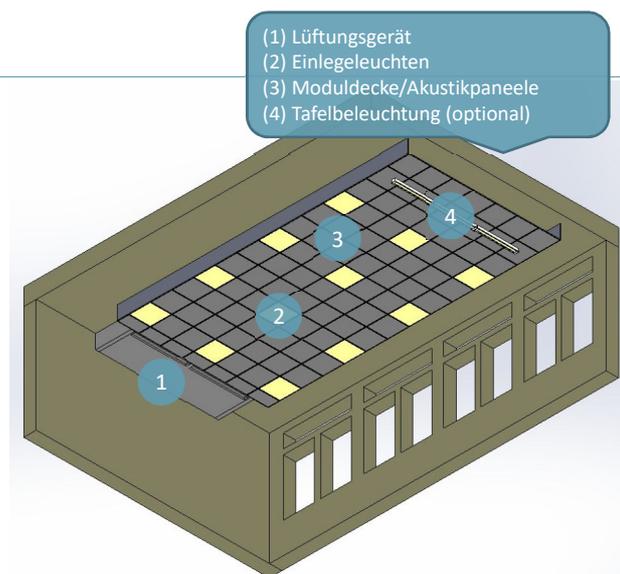


- Entwicklung eines Tools zur Vorplanungshilfe
- Nutzereingabe von Raumparametern
- automatischer Vorschlag für Positionierung und Anzahl von Leuchten und Paneelen

#### Veröffentlichung

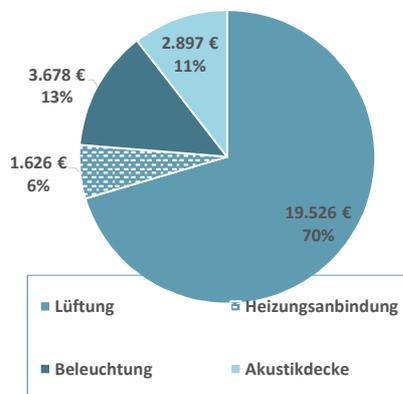
Beitrag auf BuildingSimulation 2021

➤ in Kürze auf unserer Webseite verfügbar



## Interventionsstudie

### Kostenabschätzung der Sanierungsmaßnahmen



#### Annahmen basierend auf Interventionsstudie

- Anwesende: 25 (24 SuS + 1 Lehrkraft)
- jährliche Wartungskosten (Filterwechsel): 200 €
- Lebenszyklus RLT-Gerät: 15 Jahre
- Lebenszyklus LED-Beleuchtung: 20 Jahre
- Sanierungsintervall Decke: 20 Jahre

#### Investition und Wartung

(ohne Strom, Rückbau und Entsorgung)

Lüftung mit Heizung:	68,40 € pro Jahr und Person
Beleuchtung:	7,36 € pro Jahr und Person
Akustikdecke:	5,79 € pro Jahr und Person

## Zusammenfassung

### Feld- und Interventionsstudie

#### Feldstudie

- Fensterlüftung wurde vor der Pandemie nicht ausreichend genutzt → zu hohe CO<sub>2</sub>-Konzentrationen
- Beleuchtung und Akustik in vielen Schulen deutlich unterhalb empfohlener Grenzwerte  
→ **starke Defizite im Bereich Luftqualitätsmanagement, Raumakustik und Beleuchtung**

#### Interventionsstudie

- kombinierte Nachrüstlösung adressiert gleichzeitig Luftqualität, Akustik und Beleuchtung
- Beschränkung der Maßnahmen auf eine einzige Fläche (Decke) nur ein baulicher Schritt notwendig
- Leistungsfähigkeit der SuS wird spürbar erhöht

Lüftung mit Heizung:	68,40 € pro Jahr und Person
Beleuchtung:	7,36 € pro Jahr und Person
Akustikdecke:	5,79 € pro Jahr und Person

→ **Beispiel für wirksame und praktikable Sanierungslösung für Bestandsgebäude**

## Und bis alle Klassenräume mit Lüftungsgerät ausgestattet sind ... Verantwortlichkeiten festlegen!

### 18 verschiedene Dienste ...

- Altpapierdienst
- Anführer
- Austeildienst
- Bücherdienst
- Blumendienst
- Garderobendienst
- Kehrdienst
- Klassenbuchführer
- Klassensprecher
- Kopierdienst
- Mediendienst
- Milch-/Kakaodienst
- Ordnungsdienst
- Schrankdienst
- Tafeldienst
- Terminplaner
- Wasserdienst
- Wohlfühldienst

... aber warum kein Lüftungsdienst?



## Quellen

### Literaturverzeichnis

- [1] <http://a69.g.akamai.net/n/69/10688/v1/img5.allocine.fr/acmedia/medias/nmedia/18/98/48/19/20595548.jpg>
- [2] Coley et al., 2007, „The Effect of Low Ventilation Rates on the Cognitive Function of a Primary School Class“, International Journal of Ventilation, Volume 6, 2007, Issue 2, Pages 107-112
- [3] Bako-Biro et al., 2021, „Ventilation rates in schools and pupils' performance“, Building and Environment, Volume 48, Feb. 2012, Pages 215-223
- [4] Shendell et al., 2004, „Associations Between Classroom CO<sub>2</sub> Concentrations and Student Attendance in Washington and Idaho“, IndoorAir, Volume 14, Issue 5, October 2004, Pages 333-341
- [5] Ch. Schierz (2005), „Grundlagen der Ökologie I“, Institut für Hygiene- und Arbeitsphysiologie, Eidgenössische Technische Hochschule, Kapitel 3
- [6] Buonanno, G.; Stabile, L.; Morawska, L. (2020b): Estimation of airborne viral emission: Quanta emission rate of SARS-CoV-2 for infection risk assessment. In: Environment international 141. DOI: 10.1016/j.en-vint.2020.105794.
- [7] K. Sedelbauer, Fraunhofer IBP, „Integrale Schulsanierung“, Folie 6
- [8] Schönwälder, H.-G.: Die Arbeitslast der Lehrerinnen und Lehrer. Essen: Neue Deutsche Schule, 2001.
- [9] Evans, G., Hygge, S.: Noise and cognitive performance in children and adults. In: Luxon, L.M., Prasher, D. (Eds.), Noise and its Effects, pp. 549-566. New York: Wiley, 2007
- [10] Kujala, T., Shtyrov, Y., Winkler, I., Saher, M., Tervaniemi, M.: Long-term exposure to noise impairs cortical sound processing and attention control. Psychophysiology 41 (2004), pp.875-881.
- [11] MacKenzie, D.J., Airey, S.: Classroom Acoustics. A Research Projekt. Summary Report. Heriot-Watt University, Edinburgh, 1999.
- [12] Hadzi-Nikolova, M., Mirakovski, D., Zdravkovska, M., Angelovska, B., Doneva, N.: Noise Exposure of School Teachers – Exposure Levels and Health Effects. Archives of Acoustics, Vol. 38 (2013), No. 2, pp. 259-264

Heinz Trox Wissenschafts gGmbH  
Forschungsgebiet



**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller**  
Geschäftsführer



**Tobias Burgholz**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

**Heinz Trox Wissenschafts gGmbH**  
Mathieustr. 18  
52074 Aachen  
[info@htx-wissenschaft.de](mailto:info@htx-wissenschaft.de)  
[www.htx-wissenschaft.de](http://www.htx-wissenschaft.de)

Themenfelder des Forschungsgebietes  
der Wissenschafts gGmbH

