

Vorläufige Dokumentation Abluftanlage für Klassenräume

Thomas Klimach und Frank Helleis

10. November 2020

1 Vorwort

Liebe Eltern, Schüler*innen, Lehrer*innen und andere Interessierte,

besondere Zeiten erfordern besonderes Handeln. Wir vom Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz haben uns lange überlegt, ob und wie wir im Rahmen unserer Möglichkeiten zur Erleichterung der Situation und der Bewältigung der besonderen Herausforderungen beitragen können.

Aerosole sind ein Schwerpunkt unserer wissenschaftlichen Arbeit, und so ist es nicht verwunderlich, dass wir uns seit Monaten mit der Effizienz von Masken aller Art und der Ausbreitung von Aerosolen in geschlossenen Räumen beschäftigen, was uns mehr oder minder direkt zu Forschungsprojekten im Bereich Schule führt.

Über unser rein wissenschaftliches Interesse hinaus sahen wir aber auch konkreten Handlungsbedarf, nicht nur, weil auch wir teilweise Kinder im Schulalter haben, sondern auch weil wir als öffentlich finanzierte Einrichtung ein großes Interesse am Gemeinwohl haben.

Wir haben einen einfachen und pragmatischen Vorschlag einer low-cost Abluftanlage zum Selbstbau entwickelt, die die Raumlufthygiene nachhaltig verbessern kann. Besonders für die große Anzahl schwierig zu lüftender Klassenräume sehen wir dies derzeit als effektive und nachhaltige Lösung an.

Wir möchten betonen, dass dieses Dokument einen vorläufigen Charakter hat und ggf. nach und nach ergänzt wird. Dies gilt auch für die Interpretation der in diesem Dokument präsentierten Messdaten und die Angaben zu Stücklisten und die Baubeschreibung. Uns erreichen täglich Anfragen sowie Angebote, das Projekt zu unterstützen. Falls beispielsweise Bauteile wie Verteilerstücke in größeren Mengen verfügbar wären, werden wir diese Information aktualisieren.

Abschließend möchten wir betonen, dass unsere Anlage nicht das konsequente Einhalten von Sicherheitsmaßnahmen wie das Tragen von Masken ersetzt. Sie kann sie vielmehr ergänzen, um so das Risiko einer Infektion mit dem Corona-Virus während des Unterrichts zu verringern.

2 Haftungsausschluss und Nutzungsbedingungen

Die Inhalte dieses Dokuments wurden nach eigenüblicher Sorgfalt erstellt. Wir übernehmen jedoch keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der bereitgestellten Inhalte. Es wird insbesondere keine Gewähr dafür übernommen, dass die hier beschriebene Abluftanlage die dargestellten Funktionen erfüllt und sich für die dargestellte bzw. beabsichtigte Verwendung eignet. Die Nutzung der Inhalte erfolgt auf eigene Gefahr des Nutzers. Mit der Zusendung dieses Dokumentes und dessen Verwendung kommt keinerlei Vertragsverhältnis oder sonstige Rechtsbeziehung zustande.

Die Inhalte dieses Dokuments werden unter der Creative Commons Lizenz CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de>) lizenziert. Als Quelle ist das Max-Planck-Institut für Chemie anzugeben.

3 Funktion

Die von uns entwickelte Abluftanlage nimmt ausgeatmete Luft, die möglicherweise Viren oder Bakterien enthält, gezielt mit Hilfe von Abzugshauben aus der direkten Umgebung von Personen auf, die an Tischen sitzen. Die Abluft gelangt über Verbindungsrohre in ein Zentralrohr und wird mit Hilfe eines Ventilators durch ein gekipptes Fenster nach draußen geführt.

Die an einem warmen Körper aufsteigende Luft unterstützt die Aufnahme und bringt diese zusammen mit der ausgeatmeten Luft innerhalb von etwa zehn Sekunden direkt in die Abzugshaube.

Die Zuluft kann wie beim normalen manuellen Lüften durch ein gekipptes Fenster oder eine geöffnete Tür erfolgen. Alternativ kann sie über Filter von draußen zugeführt werden. Der Querschnitt der Zuluftöffnung sollte mindesten dem halben Rohrquerschnitt des Zentralrohres entsprechen. Die Zuluftöffnung sollte sich nicht vertikal über der Abluftöffnung befinden, sondern vorzugsweise erheblich darunter.

Gegenüber dreimaligem Stoßlüften pro Stunde kann die Anlage die Anreicherung von SARS-CoV 2 um bis zu einer Größenordnung und CO₂ um bis zu einem Faktor drei senken. Gleichzeitig kann sie die Energieverluste durch das Lüften deutlich reduzieren.

4 Dimensionierung

Zur Ermittlung der notwendigen Luftflüsse schätzen wir das Volumen der vom Körper erwärmten Luft in der Grenzschicht zwischen einer Person und der Luft wie folgt ab: ca. 5 cm (Dicke der Grenzschicht) x 80 cm (Umfang der Person). Mit einer Vertikalgeschwindigkeit von ca. 10 cm/s (gemessen) resultiert daraus ein Fluss von 4l/s. Bei zwei an einem Tisch sitzenden Personen benötigt man einen Fluss von ca. 8l/s (entspricht 29 m³/h) Durchsatz durch unsere Abzugshaube. Für einen Schulraum mit 26 Schülern und einem Lehrer ergeben sich in der Summe: 14 (Tische) x 29 m³/h = 406 m³/h.

Dies entspricht beim Volumen eines typischen Schulraumes von 200 m³ einer Raumluftwechselrate von ca. 406 m³/h / 200 m³ = 2/h, äquivalent zu einer optimalen stündlichen Stoßlüftung.

Die Anlage sollte offen unter einer Decke montierbar sein, keine Gewichtsprobleme hinsichtlich der Deckentragfähigkeit verursachen, geräuscharm sein und nach Möglichkeit auch energiesparend arbeiten. Daher sind Ventilatoren mit kleiner Leistung (20 W), relativ großem Durchmesser, geringer Drehzahl und geringem Differenzdruck (4 Pa) sinnvoll.

Es errechnet sich ein Innendurchmesser für die Verbindungsrohre von ca. 70 mm bei einer maximalen Länge von 3 m. Um für zukünftige Anwendungen wie z.B. die Kombination mit Umluftfiltern oder Wärmerückgewinnung genügend Reserven zu haben, nehmen wir die nächst größere DN90.

Der Innendurchmesser des Hauptrohres mit der durchschnittlichen Länge von 8 m ergibt sich aus der Anforderung eines Druckabfalls von höchstens 1 Pa/4 m aufgrund des pneumatischen Abgleichs zu mindestens 250 mm. Wir haben aus praktischen Gründen einen Durchmesser von 315 mm gewählt, da diese Größe direkt kompatibel zu gängigen Bodenventilatoren ist. Zudem ist der damit verbundene Umfang von 1 m auch passend zu 1 m breiter Rollenware diverser Materialien.

Zum pneumatischen Abgleich werden bei kürzeren Verbindungsrohren Lochscheiben aus Pappe o.ä. in die Rohre geklemmt. Für die Dimensionierung der Löcher dieser Scheiben planen wir eine Berechnungsmaske zu veröffentlichen, so dass man die passende Scheibe aus der jeweiligen Rohrleitungslänge und dem längsten Rohr berechnen kann. Messungen an den letzten Testinstallationen haben ohne den Abgleich bei Längenunterschieden von ca. 2,3 m eine Abweichung der Flüsse von knapp 20 % ergeben.

7 Systemkomponenten

Das System besteht aus mehreren Komponenten:

1. Fensteranschluss (Bild 8)
2. Ventilatorkasten (Bild 8)
3. Rohrverteiler (Bild 9)
4. Zentralrohrsegment (Bild 10)
5. Verbindungsrohr (Bild 10)
6. Abzugshauben mit Bogen (Bild 10)

7. Befestigungsmaterial, Haken, Bindedraht (Bild 13)

Als Ventilator wurde ein modifizierter Tisch- bzw. Bodenventilator (Durchmesser ca. 300 mm) genutzt und in einen Ventilatorkasten gebaut, der direkt in das Zentralrohr passt.

Die Abdichtung des Abluftfensters kann mit verschiedenen Materialien erfolgen (Bild 8). Relativ gut einsetzbar sind Abdeckungen von mobilen Klimageräten (Bild 8b).

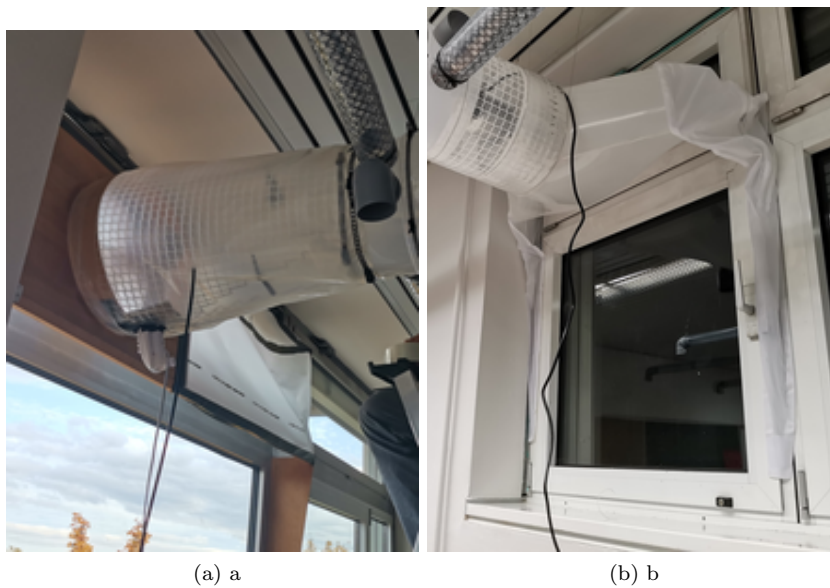


Abbildung 8: Zwei mögliche Varianten zur Fensterabdichtung: (a) Holz-Umbau und (b) Abdeckungen von mobilen Klimageräten mit Klett

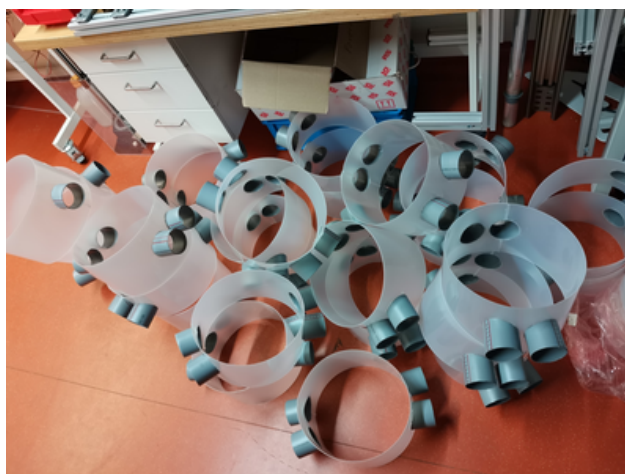


Abbildung 9: Verteiler mit HT DN 75 Rohr mit Muffe



Abbildung 10: Zentralrohr, Verbindungsrohre und Hauben

8 Material

Folgende Materialien haben wir bisher verwendet, ausgehend von 17 Absaugstellen im Raum und einer durchschnittlichen Absaugrohrlänge von 1.7 m sowie einer Deckenhöhe von 3.5 m. Bisher haben wir die Absaugrohre mit 75 mm Innendurchmesser aufgebaut. Um einen etwas höher Fluss bei gleicher Ventilatorleistung zu erhalten werden die nächsten Räume in der IGS-Bretzenheim mit 90 mm weiten Absaugrohren ausgestattet:

	Pro Raum		
Große Rohre			
Folienschlauch 500 mm 0,2 mm transparent	7,5	m	Bild 19
Stützgitter PE N903 004 Rolle: 1 m x 20 m	7,5	m	Bild 18
Kleine Rohre			
HT-Winkel DN 75 87° (alternativ DN 90)	17	St	Bild 22
HT-Abzweigung DN 75 87° (alternativ DN 90)	1	St	Bild 22
Stützgitter PE N902 010 Rolle: 1,2 x 100 m	28,9	m	Bild 18
- in 26 cm Streifen schneiden			
Folienschlauch 125 mm (alternativ 150 mm)	28,9	m	Bild 19
0,2 mm transparent			
Hauben			
Flachfolie 0,2 mm auf 2 m Rolle transparent	17	m ²	Bild 17a
3 mm Edelstahl in 3 m Stäben	17	St	Bild 17a
Verzweiger			
Klebeband Tesa 50 m x 5 cm Glasfaser klar	5	m	
PP Platten 1,5 mm 2 x 1 m	4,6	St	
- in 181 mm Streifen schneiden			
HT DN 75 Rohr 2 m (alternativ DN 90)	1,1	m	Bild 9
- in 6,5 cm Stücke schneiden			
Schweißdraht 4 mm PP	0,03	kg	Bild 21
Befestigungsmaterial			
Kabelbinder Soft-Tie (26cm lang)	66	St	Bild 20
Eisendraht verzinkt	15,4	m	Bild 13
Draht clipse (Federdraht)	6	m	Bild 13
Ventilator+Box			
PE/PP Platte 2 mm 2 x 1 m	0,5	St	
Lüfter: Tisch/Bodenventilator 30 cm	1	St	
Fensterabdichtung	1	St	Bild 8
Schweißdraht 4 mm PE	0,07	kg	Bild 21

9 Werkzeuge

9.1 Das Verteiler-Schweißgerät

Hierbei handelt es sich um ein selbst hergestelltes Drehteil, das mit Heizkartuschen betrieben wird. Man benötigt es, um die Verteiler zu bauen (Bild 11). Es hat zwei Funktionen:

1. das Durchgangsloch herstellen

2. das Rohrstück anschweißen



Abbildung 11: Verteiler-Schweißgerät (Spezialwerkzeug selbstgefertigt)

9.2 Schere/Blechscherer

für Gittermaterial, Flachmaterial und Flanschstücke

9.3 Kunststoff-Schweißgerät

z.B. Heißluftgebläse mit Schweißschuh (rechts im Bild 12)

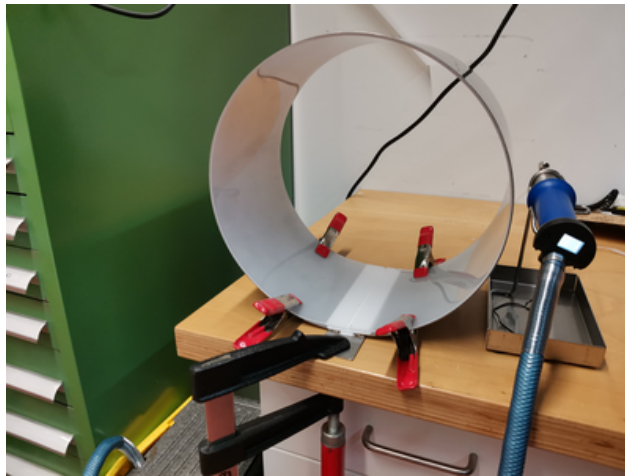


Abbildung 12: Platte zusammenführen und mit Klammern fixieren. Rechts im Bild: Heißluftgebläse mit Schweißschuh.

10 Arbeitsschritte

10.1 Fenster aussuchen

Mittig im Raum und kippbar. Alternativ: Oberlicht, bei dem die Scheibe ausgebaut werden kann.

10.2 Raum ausmessen

Die Tische stehen idealerweise in einem regelmäßigen Raster. Dies hilft der Übersicht, beim Aufbau und gewährleistet zudem die geforderten 1.5 m Abstand. Schnur spannen oder anderen Anhaltspunkt für die Mittellinie des Zentralrohrs suchen. Position der Verteiler festlegen. Pro Verteiler können 4 Einzelrohre angeschlossen werden. Abstand der besetzten Tischkantenmitten zu den entsprechenden Verteilern messen. In der Fertigung müssen dann

- die Zentralrohrsegmente 8 cm kürzer sein als die Punkt-zu-Punkt-Messung.
- die Einzelrohre 21 cm kürzer sein als die Punkt-zu-Punkt-Messung.

10.3 Materialien besorgen

- Gittermatten und Schlauchfolie im Verpackungszubehörhandel
- Kunststoffplatten im Baumarkt/Großhandel
- Draht und HT-Abflussrohr im Baumarkt

10.4 Befestigung an der Decke

Wegen des geringen Gewichts kann die Anlage an bestehende abgehängte Decken montiert werden. Die günstigste Variante ist, aus 1.5 mm Federstahldraht pas-



(a) a



(b) b

Abbildung 13: Zur Befestigung an der Decke: (a) Aus 1.5 mm Federstahldraht gebogene Haken/Ösen zur Befestigung an der Decke und (b) Eisendraht verzinkt

sende Haken/Ösen zu biegen (Bild 13a). Einschraubhaken oder spezielle Halter funktionieren auch bzw. sind bei Betondecken nötig.

10.5 Verteiler

Die Verteiler sind das komplizierteste Stück der Anlage. Derzeit gibt es Gespräche mit Herstellern, diese auf Grund des großen Interesses in Serie fertigen zu lassen. Solange es die Teile jedoch noch nicht zu kaufen gibt bzw. wenn Lust und Zeit zum Basteln besteht, hier unsere Vorgehensweise.

1. Flachmaterial schneiden: 181 mm x 1000 mm
Das klappt am Besten auf einer großen Schlagschere, funktioniert bei einer begrenzten Stückzahl aber auch mit einer Handschere.
2. Je einen Streifen zu einem großen Rohrstück zusammenschweißen:
 - die zugeschnittene Platte in einem Bogen zusammenführen, bis zwischen den kurzen Seiten ein etwa 2 mm großer Spalt entsteht (Bild 12)
 - die kurzen Seiten mit Klammern fixieren. Wir haben uns hierzu eine Hilfe aus Edelstahlblech gebaut (Bild 12), die die Form vorgibt und an der die Enden fixiert werden können. Es sollte auch funktionieren, wenn man die beiden kurzen Enden im richtigen Abstand auf einer Holzplatte festklemmt.
 - ein ca. 20 cm langes Stück vom Schweißdraht abschneiden
 - das Schweißgerät auf ca. 270°C einstellen und nach Erreichen der Temperatur das Schweißdrahtstück einführen, kurz warten bis es weich wird, und dann das Gerät langsam unter Druck über den Spalt führen.
 - Abkühlen lassen und anschließend die Fixierung lösen
 - Überstehende Reste des Schweißdrahts abknipsen/-schneiden

3. Anschweißstücke schneiden (Bild 14)

Ziel ist es, den benötigten konkaven Anschnitt an ein kleines Rohrstück zu bekommen, der ein formschlüssiges Anschweißen an das zuvor hergestellte große Rohrstück ermöglicht. Sehr gut geht das mit einer Bandsäge, ist aber auch mit einer Hand- oder Bleischere möglich. Eine Schnittschablone zum Ausdrucken, die zum Anzeichnen um das Rohr gelegt werden, findet sich im Anhang. Das Vorgehen mit Bandsäge wäre wie folgt:

- relativ zur Drehachse einer Bandsäge eine Drehachse anbringen. Die Drehachse sollte senkrecht zu Schneidrichtung ca. 16 cm versetzt und entgegen der Schneidrichtung um ca. 5 cm versetzt sein. Die Achse könnte z.B. ein Rohrstück oder Rundstab sein, der in ein dickes Brett gesteckt wird.
- in ein kurzes HT-PP-Rohr bei der 11,5 cm-Marke ein Loch entsprechend dem Durchmesser der Drehachse bohren und auf die Drehachse setzen.
- nun kann ein langes HT-PP-Rohr relativ zügig in die benötigten Anschweißstücke gesägt werden. Dabei sollte das Sägeblatt nicht zu breit sein; mit einem 6 mm breiten hat in unseren Aufbauten gut funktioniert.

4. 4 x Loch schmelzen und Flansch anschweißen (Bild 14)

5. Verteiler mit Flachmaterial abschließen (pro Raum 1x)

Dazu eine Scheibe mit 309 mm Durchmesser ausschneiden und einschweißen (Bild 15). Der verbleibende Rand kann als Flachflansch für den Ventilator-Ring verwendet werden.



Abbildung 14: Loch schmelzen und Flansch anschweißen



Abbildung 15: Scheibe als Abschluss ausschneiden und später anschweißen

10.6 Zentralrohr-Segmente

1. Gitter auf richtige Länge abschneiden
2. Schlauch je Seite etwa 5 cm länger abschneiden
3. Gitter zusammenrollen und in Schlauch schieben, dabei alle ca. 15 cm die beiden Kanten gegeneinander abstützen (Bild 16)
4. schließlich die passenden Verteiler einschieben. Montiert werden nachher die äußeren Segmente zuerst.

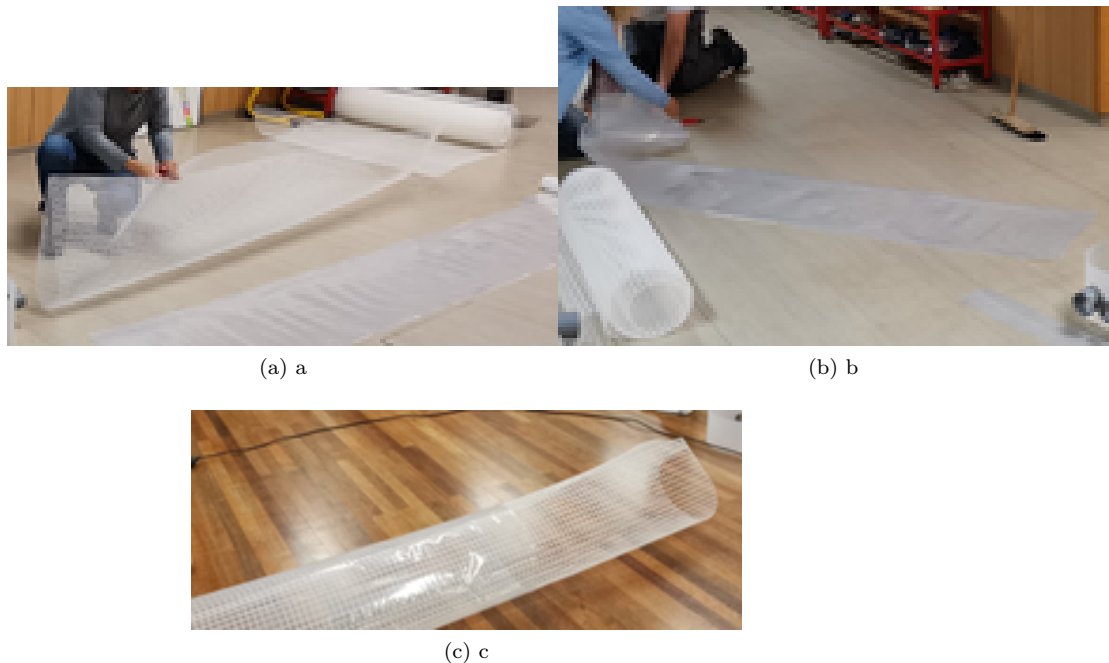


Abbildung 16: (a) Gitter auf richtige Länge abschneiden, zusammenrollen und verweben, (b)(c) Gitter in Schlauch schieben

10.7 Absaugrohre

1. Gitter auf richtige Länge abschneiden (Bild 18a)
2. Schlauch je Seite etwa 5 cm länger abschneiden
3. Gitter zusammenrollen und in Schlauch schieben, dabei ineinander weben zwecks guter Stabilität (s. Zentralrohr)
4. Zum Abschluss an einer Seite einen HT-PP-Winkel mit Haube aufsetzen und einen passenden Draht (siehe 10.9) um den Winkel legen und leicht verdrillen.

10.8 Hauben

Die Hauben fangen den warmen Abluftstrom ein und leiten ihn Richtung Absaugrohr. Wichtig ist, dass die Haube schlussendlich einigermaßen waagrecht hängt.

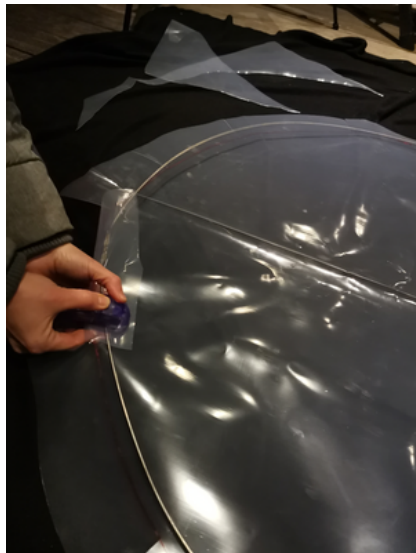
1. Die 3 m Edelstahlstäbe zu Ringen verschweißen, um einen ca. 90-95 cm durchmessenden Reif zu erhalten (Bild 17a).
2. 1 m x 1 m Stücke aus der Flachfolie schneiden (Bild 17a)
3. mittig unter die Folie ein kleines Glas oder ähnliches (Höhe ca 8 cm) stellen (Bild 17a)

4. Metallreif auf die Folie legen und mit einem Folienmarker die Kontur des Metallreifs auf die Folie übertragen (Bild 17a)
5. Metallreif und Glas entfernen und in 4-5 cm Abstand zur Markierung rundherum ausschneiden (Bild 17b).
6. Alle ca. 15 cm einen Schnitt Richtung Mitte bis zur Makierungslinie machen (Bild 17b).
7. Reif wieder auflegen, dann umlaufend die eingeschnittenen Segmente der Folie wieder bis zur Makierung umschlagen und festtackern (Bild 17c)
8. !!!Wichtig!!!! Schwerpunkt bestimmen (Bild 17d) und drumherum ein Loch mit Durchmesser 50 mm-60 mm schneiden (Bild 17e)
9. Vorsichtig die Folie über ein HT-PP-Winkel-Rohrstück schieben (Bild 17f).



(a) a

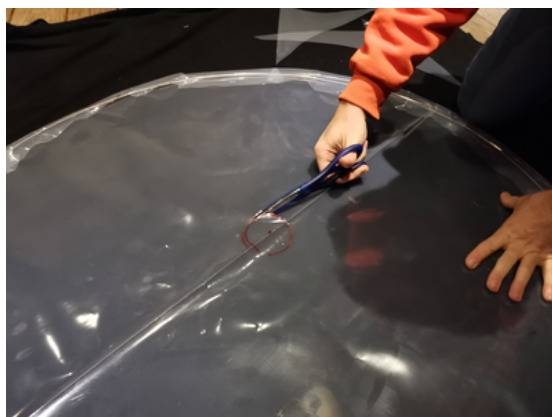
(b) b



(c) c



(d) d



(e) e



(f) f

Abbildung 17: (a) Flachfolie und Metallreif mit Schweißnaht für Haube + kleines Glas in Mitte, (b) Metallreif markieren \perp rund ausschneiden + Schnitt quer zur Markierung, (c) Segmente um Metallreif tackern, (d) Schwerpunkt der Haube suchen und markieren, (e) Loch aus Mitte schneiden und (f) Rohrstück durch die Mitte schieben.

10.9 Draht zuschneiden

Vor dem Aufhängen die Clips an den richtigen Punkten an der Decke befestigen und den Eisendraht zuschneiden.

- Das Zentralrohr sollte ca in 2,3 m bis 2,5 m Höhe hängen. Wir haben je Verteiler einen Draht genutzt. Die nötige Drahtlänge ergibt sich zu etwa: $2 \times (\text{Deckenhöhe} - 2,5 \text{ m}) + 106 \text{ cm}$. Das Drahtstück wird an beiden Enden um ca 3 cm zu einem einfachen Haken umgebogen. Beim Aufhängen wird eine Seite des Drahts in die entsprechende Deckenbefestigung eingehängt, unten um einen Verteiler herumgeführt, und dann auch das zweite Ende in die Deckenbefestigung eingehängt.
- Die Unterkanten der Hauben sollten möglichst nah über den Personen hängen, ohne diese beim Aufstehen oder im Alltag zu behindern. In den Schulen haben wir eine Höhe der Haubenunterkante von etwa 2,0 m angepeilt. Die Hauben mit Winkelstück haben selbst eine Höhe von ca. 20 cm und es werden wieder 3 cm an jedem Ende als Haken benötigt. So ergibt sich die Drahtlänge von Deckenhöhe - 1,9 m.

10.10 Aufhängen

Es hat sich als vorteilhaft herausgestellt zunächst die Teile des Zentralrohrs von außen nach innen aufzuhängen, anschließend die Mittelsegmente einzusetzen und dann die Absaugrohre anzubringen. Nicht genutzte Öffnungen an den Verteilern müssen verschlossen werden.

10.11 Lüfter

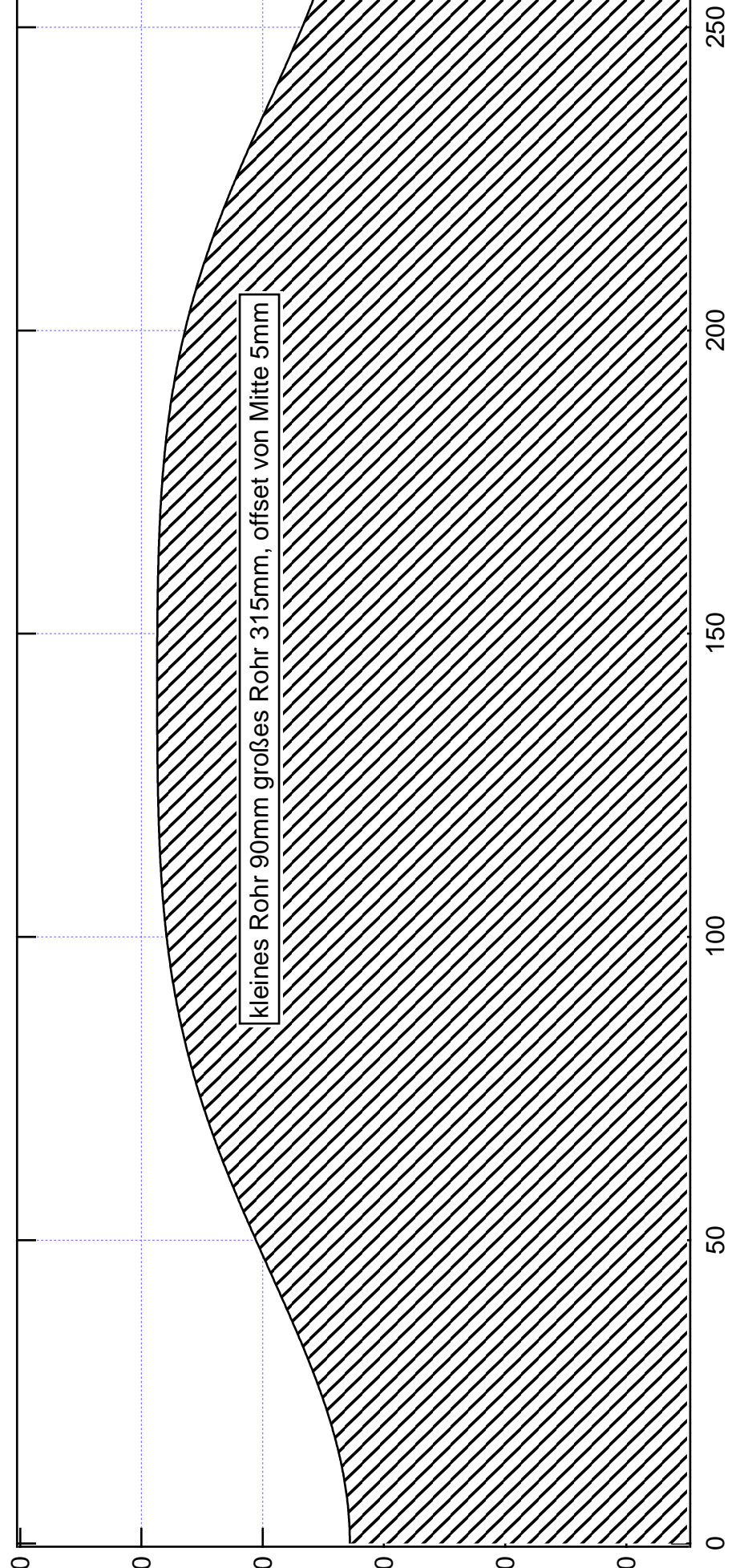
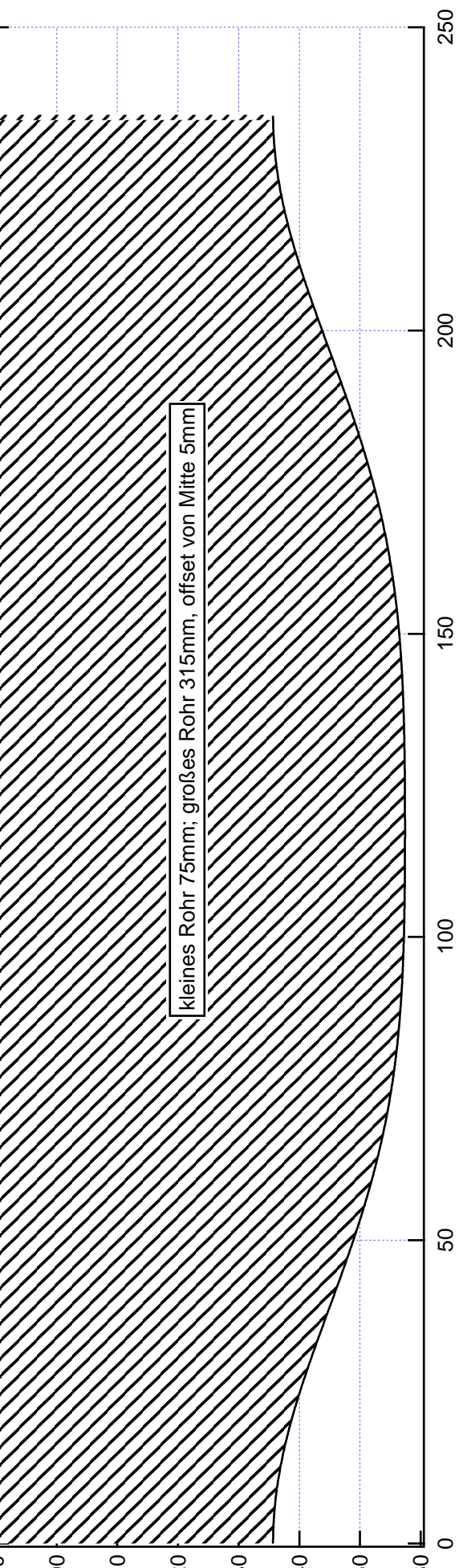
!!!ACHTUNG Änderungen an elektrischen Geräten nur bei eigener Eignung und nach Absprache mit den verantwortlichen Personen durchführen!!!

Bei Lüftern gibt es viele Alternativen. Wir haben uns für einen einfachen Tischventilator (Tristar ve-5953) aus Metall entschieden, der 30 cm Durchmesser hat und in 3 Stufen laufen kann. Um den Ventilator verwenden zu können muss er wie folgt modifiziert werden. Alternativ gibt es auch Axial-Rohr-Ventilatoren, die direkt in das Zentralrohr passen, aber noch eine Drehzahlregelung benötigen.

1. Motor vom Standfuß nehmen
2. Gitter auf richtigen Durchmesser abflexen
3. Flachmaterial schneiden 181 mm x 1000 mm
4. zu Rohrstück zusammenschweißen
5. Motor mit Kabelbinder an Rohrstück befestigen
6. vor dem Einbau ins Rohr auf Stufe 1 oder 2 stellen.

10.12 Fensteranschluss

Der Fensteranschluss ist sehr individuell. Am einfachsten ist es, von einer geeigneten Person eine Glasscheibe auf der richtigen Höhe durch ein Brett ersetzen zu lassen, sodass der Ventilator relativ ungehindert nach außen pusten kann. Andere Möglichkeiten sind die Benutzung von Fensterdichtungen, wie sie für mobile Klimageräte vertrieben werden, oder der Bau einer Kiste vor dem Fenster (siehe Bild 8)





(a) a



(b) b

Abbildung 18: (a) Stützgitter PE N902 zuschneiden in 26 cm Streifen und (b) Stützgitter PE N903



(a) a



(b) b

Abbildung 19: (a) Folienschlauch 500 mm 0,2 mm für große Rohre und (b) Folienschlauch 125 mm 0,2 mm für kleine Rohre



Abbildung 20: Kabelbinder zur Befestigung



Abbildung 21: Schweißdraht für Verteiler

Low-Cost-Abluftanlage

Projektstudie des Max-Planck-Institutes für Chemie in Mainz in Zusammenarbeit mit der Integrierten Gesamtschule Mainz-Bretzenheim

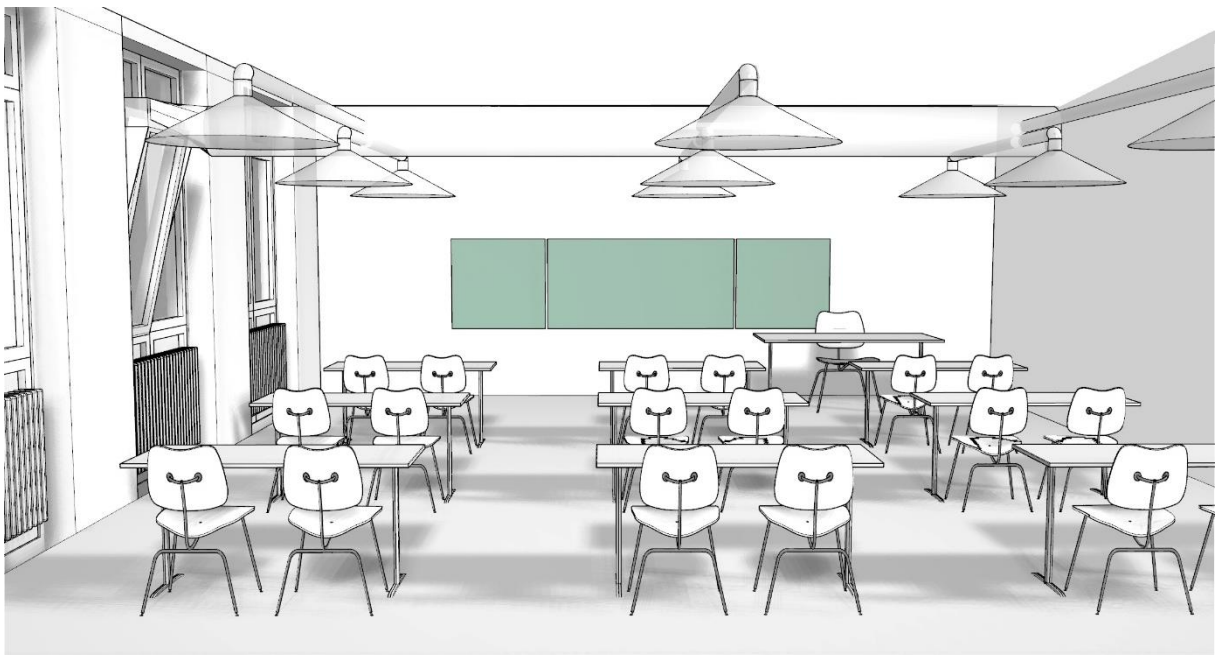
Antrieb: Schule in der Coronapandemie - Infektionsschutz

Idee: Ausnutzung der durch eine Person hervorgerufenen natürlichen Konvektion mit einem Abzug direkt über der Person.

Ziel: möglichst große effektive Wechselrate direkt bei den Personen bei geringer nomineller Wechselrate der gesamten Raumluft

Vorteile im Überblick:

- **Ausnutzung der Konvektion (warme Luft steigt über Personen mit deren Aerosolen nach oben)**
- **Abtransport von ca. 90% der Aerosole durch einen kontinuierlichen Abzug direkt über der Person**
- **CO₂-Reduzierung** in den Klassenräumen – somit auch nach der Pandemie sinnvoll einsetzbar
- Niedriger Geräuschpegel
- deutliche **Reduzierung des Wärmeverlustes** gegenüber Stoßlüften alle 20 min.
- **geringste Anschaffungskosten** (weniger als 200 € Materialkosten pro Raum)
- **geringste Betriebskosten** (Strom für Ventilator vs. Energieersparnis bei Heizkosten)
- Niedrige Anforderungen: Steckdose und kippbares Fenster/Oberlicht
- Keine Umbaumaßnahmen an Fassade etc. notwendig
- Minimale Verdunkelung durch transparente bzw. helle Bauteile
- Individuelle und einfache Bedienung
- Das modulare System ist vielfältig anpassbar. Die entsprechende Umsetzung an einer Grundschule (Brunnenschule Marienborn) und einer Sportstätte (Turnabteilung der TSG 1846 Bretzenheim) ist bereits in Planung.



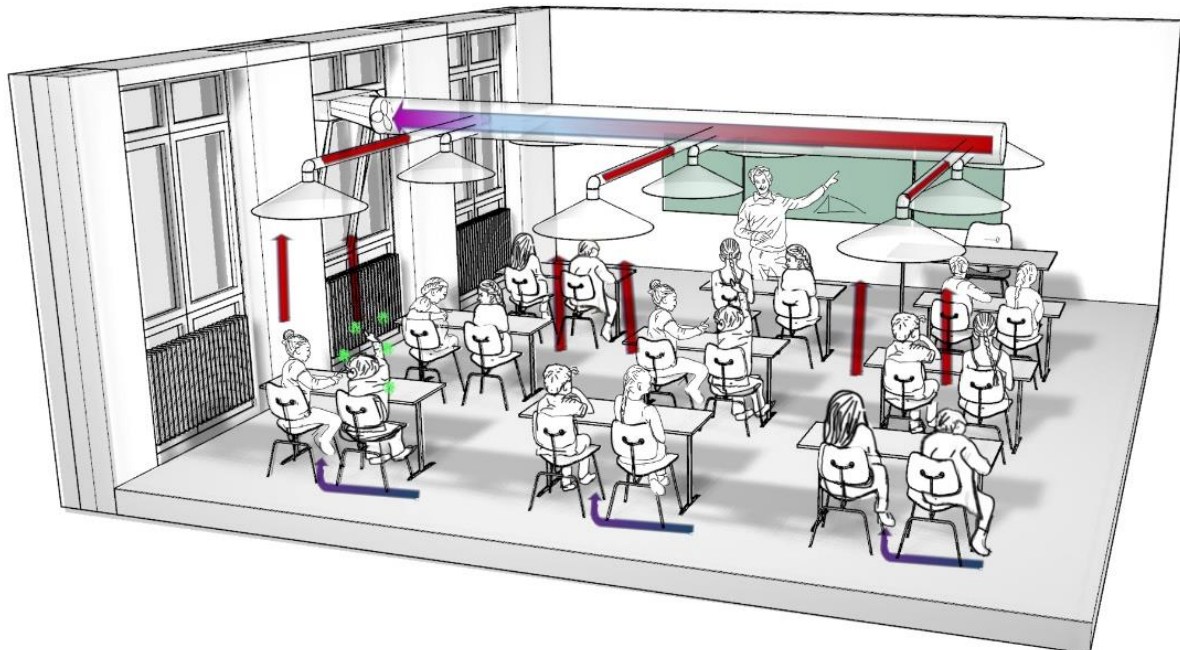
Luftströmungen und Aerosole in geschlossenen Räumen ohne Lüftung

Menschen stoßen Aerosole aus, die pathogene Keime, wie z.B. den Sars-COV-2 enthalten können. Große Tropfen fallen recht bald zu Boden, die kleinen Aerosole sind jedoch so leicht, dass sie über Stunden in der Luft verweilen können und sich durch Turbulenzen innerhalb weniger Minuten im gesamten Raum verteilen.

Abluftsystem des MPI für Chemie Mainz (Dr. F. Helleis):

Menschen sind insbesondere im Winter wärmer als die sie umgebende Luft im Raum. Daher kommt es zu sogenannten konvektiven, d.h. aufwärtsgerichteten Strömungen in der Raumluft, die die Aerosole mit potentiell infektiösen Viren mit nach oben tragen. Bei der neuen Anlage, werden diese, ähnlich wie bei einer Dunstabzugshaube, direkt oberhalb der Schüler aufgenommen und nach draußen geleitet. Für den Transport wird ein Ventilator genutzt, der die Abluft über ein gekipptes Fenster nach draußen bringt. Dementsprechend sieht das System eine eigene „Abzugshaube“ für jeden Tisch vor. Diese Haube sorgt für ein zielgerichtetes „Einsammeln“ der Aerosole. Die Frischluftzufuhr kann beispielsweise über ein leicht geöffnetes bzw. gekipptes Fenster erfolgen.

In der Regel wird die Effektivität des Lüftens bzw. der Lüftungsanlagen über die **nominelle Raumluftwechselrate** angegeben, also wie oft die gesamte Luft des Raums in einer Stunde ausgetauscht wird. Findet keine Wärmerückgewinnung statt, so bedeutet eine höhere Raumluftwechselrate jedoch auch einen stärkeren Wärmeverlust bzw. höhere Heizkosten. Das Ziel ist es nicht viel Raumluft gegen Frischluft zu tauschen (wie eine konventionelle Lüftung), sondern die potenziell kontaminierte Abluft der Personen zielgerichtet und damit effektiv zu entfernen. Bei Messungen konnte gezeigt werden, dass mit solch einem Abluftsystem bei einer nominellen Wechselrate, die einem stündlichen Stoßlüften entspricht, bereits ca. 77 % ohne Haube und mit Haube sogar über **90 % der Aerosole kontinuierlich entfernt werden**.





(a) a



(b) b

Abbildung 22: (a) HT-Winkel DN 75 87° und (b) HT-Abzweigung DN 75 87°