



„ENDBERICHT MONITORING TFBS FÜR INSTALLATIONS- UND BLECHTECHNIK“

REV 2

INHALT

1. KURZBESCHREIBUNG MOTIVATION UND PROJEKTZIEL.....	3
2. FRAGESTELLUNGEN.....	4
3. BEANTWORTUNG DER FRAGESTELLUNGEN.....	5
3.1. Fragestellung 1: Ist es möglich Räume zu finden, die sich für einen Vergleich eignen und wie müssen diese Beschaffen sein?	5
3.1.1 Beantwortung Fragestellung 1	6
3.2. Fragestellung 2: Ist es möglich, mit verhältnismäßigem Aufwand, in einem Bestandsgebäude eine Lüftungsanlage nachzurüsten, welche den Komfortbedingen entspricht?.....	7
3.2.1 Beantwortung Fragestellung 2	7
3.3. Fragestellung 3: Wie verhält sich die Raumluftqualität, gemessen am Indikatorgas CO ₂ , an der relativen Luftfeuchte und Raumlufttemperatur?	9
3.3.1 Auswertung prozentuelle Überschreitung von 1.000 ppm CO ₂ im Klassenzimmer während der Unterrichtszeit. .	12
3.3.2 Auswertung prozentuelle Überschreitung von 1.500 ppm CO ₂ im Klassenzimmer während der Unterrichtszeit. .	14
3.3.3 Auswertung prozentuelle Überschreitung von 2.000 ppm CO ₂ im Klassenzimmer während der Unterrichtszeit. .	16
3.3.4 Auswertung prozentuelle Überschreitung von 40 % relativer Feuchte im Klassenzimmer während der Unterrichtszeit.	17
3.3.5 Auswertung prozentuelle Unterschreitung von 30 % relativer Feuchte im Klassenzimmer während der Unterrichtszeit.	18
3.3.6 Auswertung prozentuelle Überschreitung von 50 % relativer Feuchte im Klassenzimmer während der Unterrichtszeit.	20
3.3.7 Auswertung prozentuelle Überschreitung der Temperatur von 23 °C im Klassenzimmer während der Unterrichtszeit.	21
3.3.8 Auswertung prozentuelle Unterschreitung der Temperatur von 21 °C im Klassenzimmer während der Unterrichtszeit.	22
3.3.9 Auswertung prozentuelle Zeit innerhalb des Temperaturfensters zwischen 21 °C und 23 °C im Klassenzimmer während der Unterrichtszeit.....	24
3.3.10 Allgemeine Interpretation der Messergebnisse	25
3.4. Fragestellung 4: Wie bewerten die Schülerinnen und Schüler die Raumluftqualität?.....	26
3.4.1 Beantwortung Fragestellung 4	26
3.5. Fragestellung 5: Wie hoch ist der Energieverbrauch (elektrischer Strom) der Lüftungsanlage?	29
3.5.1 Beantwortung Fragestellung 5	29
3.6. Fragestellung 6: Welche Energieeinsparung kann generiert werden, wenn Schulklassen lüftungs- und heizungstechnisch ertüchtigt werden?.....	31
3.6.1 Beantwortung Fragestellung 6	31
4. FAZIT	32
5. PROJEKT BETEILIGTE.....	33

1. KURZBESCHREIBUNG MOTIVATION UND PROJEKTZIEL

Lüftungsanlagen werden in Bildungseinrichtungen aufgrund der hohen Personenanzahl in geschlossenen Räumen seit Langem empfohlen. Allerdings hat sich gezeigt, dass solche Einbauten bei Neubau oder Sanierung ein massives Akzeptanzproblem bei Schülerinnen und Schülern, Eltern aber auch beim Lehrkörper hervorrufen können. Dies kann bis zur Außerbetriebnahme von neu installierten Anlagen führen. Die Tiroler Fachberufsschule für Installations- und Blechtechnik (im Folgenden kurz TFBS) setzte sich im Jahr 2015 das Ziel, vor einer möglichen umfassenden Ausstattung des Gebäudes mit einer Lüftungslage, die Vor- und Nachteile in einer Referenzklasse zu prüfen. Aus diesem Grund wurde die Anfrage an Energie Tirol gestellt dieses Vorhaben organisatorisch und mit Know-how zu unterstützen. Der Betreuungszeitraum seitens Energie Tirol betrug vier Jahre (2015 bis 2019).

Im Zuge des Projekts wurden die wesentlichen Parameter Temperatur, Feuchte, CO₂ sowie der Energieverbrauch der Lüftung erhoben. Was das Messprojekt in seiner Form einzigartig macht, ist der Umstand, dass die Messungen nicht in einer Klasse „mit“ und einer „ohne“ Lüftung durchgeführt wurden. Im gegenständlichen Projekt wurden zwei vergleichbare Räume mit der identen Messtechnik ausgestattet, jedoch nur einer von beiden mit einer Be- und Entlüftungsanlage. Pro Kalenderjahr werden in der TFBS turnusmäßig vier Lehrgänge abgehalten. Nach der Hälfte jeder Lehrgangszeit wechseln die SchülerInnen von der Klasse mit Lüftung in jene ohne und umgekehrt. Im Vergleich der Messwerte lassen sich so exakte Aussagen zur möglichen Änderung der Luftqualität bei konstanter Personenbelegung, und Belegzeit (Stundenplänen) sowie bei annähernd vergleichbaren klimatischen Bedingungen machen. Ebenfalls außergewöhnlich ist der Beobachtungszeitraum von zwei vollen Schuljahren und die Anzahl von Messpunkten. Während der Unterrichtszeiten wurden die entsprechenden Parameter alle fünf Minuten erfasst. Die Räume sind für eine Belegung mit maximal 27 SchülerInnen im Alter zwischen 15 und 20 Jahren ausgerichtet, wobei die maximale Belegung in der Regel nicht erreicht wird. Auch bei geteiltem Unterricht befinden sich dementsprechend weniger SchülerInnen in den Klassen. Der Beobachtungszeitraum für die Raumluftanalytik betrug zwei volle Schuljahre (2016/17 bis 2017/18). Sowohl die Lüftungsanlage als auch die Messtechnik waren jedoch schon ein halbes Jahr vor Beginn des Beobachtungszeitraumes im Testbetrieb.

Ebenfalls erfasst wurde der Heizenergieverbrauch der beiden Klassenzimmer. Die bestehende Heizkörperheizung wurde mit Wärmemengenzählern ausgestattet. Der Klassenraum, in welchem die Lüftungsanlage installiert wurde, wurde mit einer intelligenten Heizungssteuerung ausgestattet. Der Beobachtungszeitraum für den Heizenergieverbrauch betrug eine volle Heizperiode (Winter 2018/2019).

Wesentlicher Teil des Projekts war die Partizipation der SchülerInnen und Lehrpersonen bei der Bewertung der Qualität einer Klassenzimmerlüftungsanlage. Die Zufriedenheit der Lernenden und Lehrenden mit der Anlage wurde mittels standardisiertem Fragebogen in jedem Lehrgang erhoben

und statistisch ausgewertet. Da es sich um Lehrlinge aus dem Bereich Installations- und Gebäudetechnik handelt, weisen diese von sich aus eine Affinität mit der Thematik auf und können über die gesammelten Daten Rückschlüsse auf die Raumluftqualität ziehen. Darüber hinaus kann die Veränderung der Raumluftqualität am eigenen Leib erfahren werden, was allein durch theoretischen Unterricht nicht möglich ist.

Diese angehenden FacharbeiterInnen sind wichtige Multiplikatoren in Betrieben und in der Gesellschaft.

2. FRAGESTELLUNGEN

Im Zuge der ersten Gespräche wurden folgende Fragestellungen erarbeitet:

- > Ist es möglich Räume zu finden, die sich für einen Vergleich eignen und wie müssen diese beschaffen sein?
- > Ist es möglich, mit verhältnismäßigem Aufwand, in einem Bestandsgebäude eine Lüftungsanlage nachzurüsten, welche den Komfortbedingungen entspricht?
- > Wie verhält sich die Raumluftqualität, gemessen am Indikatorgas CO₂, relativer Luftfeuchte und Raumlufttemperatur?
- > Wie bewerten die Schüler und Schülerinnen die Raumluftqualität?
- > Wie hoch ist der Energieverbrauch (elektrischer Strom) der Lüftungsanlage?
- > Welche Energieeinsparung kann generiert werden, wenn Schulklassen lüftungs- und heizungstechnisch ertüchtigt werden?

3. BEANTWORTUNG DER FRAGESTELLUNGEN

3.1. FRAGESTELLUNG 1: IST ES MÖGLICH RÄUME ZU FINDEN, DIE SICH FÜR EINEN VERGLEICH EIGEN UND WIE MÜSSEN DIESE BESCHAFFEN SEIN?

Die TFBS befindet sich in der Nähe des Innsbrucker Westbahnhofes, konkret in der Mandelsbergerstraße. Das Objekt mit der Hausnummer 12 wurde in den 1940er Jahren als Lazarett errichtet und ist seit 1955 als Bildungseinrichtung in Verwendung. Bei dem Objekt wurden keine thermischen Sanierungen im eigentlichen Sinn durchgeführt. Lediglich in den bestehenden Kastenfenstern wurde die Verglasung erneuert.



Lage Messobjekt und Klassen/ Quelle Tiris Maps 21.06.2019

3.1.1 Beantwortung Fragestellung 1

Folgende Räume wurden für das Projekt ausgewählt:

Belüfteter Klassenraum R 16:

Der Klassenraum R16, welcher mit einer Lüftung ausgestattet wurde, weist eine Grundfläche von 72 m² sowie ein Raumvolumen von 253 m³ auf. Lage und Fensteröffnungen befindet sich am südwestlichen Trakt des Gebäudes.

Referenzraum R 14:

Der Klassenraum R14, weist eine Grundfläche von 68 m² sowie ein Raumvolumen von 245 m³ auf. Lage und Fensteröffnungen befindet sich am südwestlichen Trakt des Gebäudes.

Die Räume weisen also eine vergleichbare Fläche und Kubatur auf. Die Außenfassaden der beiden relevanten Räume befinden sich im 1. Obergeschoss auf der Südwestseite und weisen eine vergleichbare Nahverschattung auf. Um Unsicherheiten aus der Luftdichtheit der Räume auszuschließen wurde in beiden Räumen ein Blower Door Test gemäß EN 13829 durchgeführt. Als Ergebnis konnte im R 14 eine Luftwechselrate n_{50} 3,02 h⁻¹ ermittelt werden. Beim R 16 wurde im ersten Durchgang eine Luftwechselrate n_{50} 4,01 h⁻¹ ermittelt. Als möglicher Grund für die Abweichung wurde die Innentür zur Garderobe ausfindig gemacht. In einem weiteren Messdurchgang wurde der handbreit offene Türspalt provisorisch abgedichtet, was zu einem Ergebnis von n_{50} 2,70 h⁻¹ führte. Die TFBS stellte die Innentüre daraufhin neu ein, was die beiden Räume in Sachen Luftdichtheit vergleichbar machte.

Die Klassenräume sind, obwohl die Bausubstanz aus der Mitte des vorigen Jahrhunderts stammt, als verhältnismäßig dicht einzustufen. Aktuell müssen in Österreich bei Neubauten mit Lüftung ein n_{50} -Wert von 1,5 h⁻¹ und ohne Lüftung von 3 h⁻¹ eingehalten werden. Die Klassenzimmer erreichen also beinahe die Neubauanforderung für Gebäude ohne Lüftungsanlagen. Die Tatsache, dass normalerweise im Zuge eines Blower Door Tests nicht einzelne Räume, sondern ganze Gebäude (mit einem wesentlich größeren Schwachstellenpotenzial) gemessen werden, relativiert allerdings diese „guten Werte“ wieder.

Der vollständige Blower Door Test und der Thermografiebericht sind in den Beilagen 1 bis 3 einsehbar.

3.2. FRAGESTELLUNG 2: IST ES MÖGLICH, MIT VERHÄLTNISSMÄSSIGEM AUFWAND, IN EINEM BESTANDSGEBÄUDE EINE LÜFTUNGSANLAGE NACHZURÜSTEN, WELCHE DEN KOMFORTBEDINGEN ENTSPRICHT?

Obwohl in zahlreichen Studien bereits belegt wurde, dass sich die Luftqualität in Innenräumen signifikant auf die kognitive Leistungsfähigkeit auswirkt, wird immer wieder hinterfragt, ob der (finanzielle) Aufwand für eine Lüftungsanlage in Schulgebäuden gerechtfertigt ist. Diese Frage wird im vorliegenden Bericht nicht weiterverfolgt, da sie aufgrund der allgemeinen Wissenslage als rhetorisch betrachtet werden kann. Allerdings wird dargelegt, welcher technische Aufwand für die Implementierung in den Bestand erforderlich ist und wie eine Lüftungsanlage zu dimensionieren und auszuführen ist, damit im Betrieb keine Beschwerden auftreten, welche die zu erwartende Prozentzahl der Unzufriedenen überschreitet (Percentage Dissatisfied).

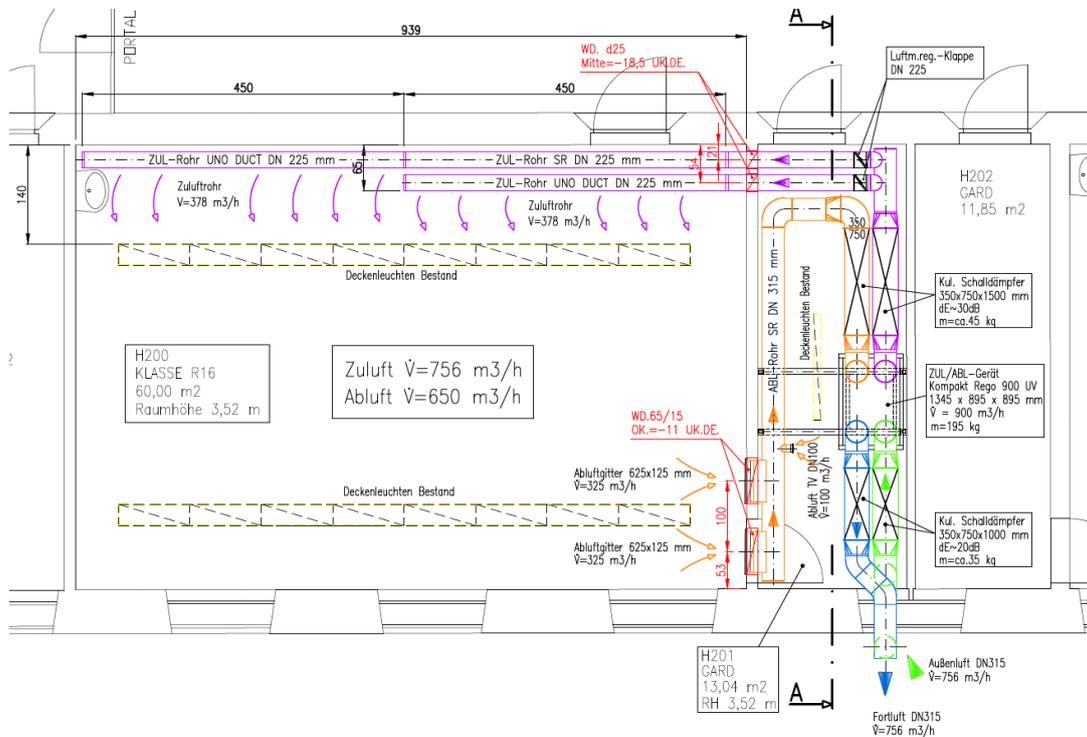
3.2.1 Beantwortung Fragestellung 2

Laut ÖNORM H6039 2008 „Lüftungstechnische Anlagen – kontrollierte mechanische Be- und Entlüftung von Schul-, Unterrichts- oder Gruppenräumen sowie Räumen mit ähnlicher Zweckbestimmung“ sind zur Erreichung der Luftqualitätsklasse IDA 3 (mäßige Raumluftqualität) 27 m³/h Zuluft für Personen in einem Alter zwischen 15 und 19 Jahren anzusetzen. Personen über 19 Jahren (in der Regel Lehrpersonen) werden mit 32 m³/h berücksichtigt. Unter der Annahme, dass sich maximal 27 SchülerInnen und eine Lehrperson gleichzeitig im jeweiligen Raum aufhalten, ergibt sich eine Luftmenge von 761 m³/h. Bereits hier ist ersichtlich, dass aufgrund der hohen Belegung mit beinahe erwachsenen SchülernInnen in diesem Typus von Bildungseinrichtungen verhältnismäßig hohe Luftmengen und somit entsprechende Gerätegrößen (verglichen mit Kindergärten, Volksschulen etc.) erforderlich sind. Im R16 ergibt sich rückgerechnet ein 3-facher Luftwechsel h⁻¹. Diese Tatsache weist bereits deutlich darauf hin, dass bei der Luftverteilung besonderes Augenmerk auf das Vermeiden von Zugserscheinungen und Strömungsgeräuschen gerichtet werden muss.

Anmerkung: Die Klasseneinteilung nach IDA hat nach Projektstart durch Änderung in der Normung an Bedeutung verloren. Eine zeitgemäße Klassifizierung bildet die „Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft“ des BMNT.

Nach längerer Suche nach einem passenden Gerät, fiel die Wahl auf den Typ „Pichler Kompakt Rego 900 UV“, welches mit einem Rotationswärmetauscher und einem elektrischen Nachheizregister ausgestattet ist. Die Zieltemperatur des elektrischen Nachheizregisters wurde auf 20 °C eingestellt. Der maximale Volumenstrom, bereinigt um die externe Pressung der Luftführung, beträgt 800 m³/h. Als Aufstellungsraum wurde die an den Klassenraum unmittelbar angrenzende Garderobe gewählt und mittels Aufständering realisiert. Die Zuluftführung erfolgt mittels zweier spiralfalzter Uno Duct Düsenrohre DN 225 mm entlang der Innenwand, parallel zum HAUPTSCHLIEßUNGSGANG. Die Abluft wird an der Hinterseite des Klassenraumes in Deckennähe abgesaugt. Die Garderobe selbst wurde mit einem Abluftventil in die Kaskade eingebunden, wobei der Luftwechsel in der Garderobe keinen normativen Angaben entspricht. Die Planung und Ausführung der Lüftungsanlage erfolgte durch

SchülerInnen und Lehrkräfte der TFBS im Zuge des Unterrichts. Der Montageplan ist in der Beilage 4 vollständig ersichtlich.



Auszug Montageplan / Quelle TFBS

Resümee: Es kann klar gesagt werden, dass die Integration einer Lüftungsanlage in einem vergleichbaren Bestandsobjekt jedenfalls einiges an ingenieurmäßigem Know-how verlangt. Die wesentlichen Herausforderungen sind die vorgegebenen Räume und Bereiche für die Anlagentechnik. Die optische Integration war im gegenständlichem Fall eher unkompliziert. Im Zuge einer Generalsanierung des Gebäudes ließen sich etliche Komponenten verkleiden oder durch eine andere Farbgestaltung besser integrieren. Jedenfalls zeigt das Beispiel eindrücklich, dass bei einer Sanierung, aber auch bei einem Neubau, die Technik von der ersten Minute an aktiv mitgeplant werden muss. Andernfalls ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass sich selbst mit großem technischen und finanziellen Aufwand keine zufriedenstellende Lösung realisieren lässt.

3.3. FRAGESTELLUNG 3: WIE VERHÄLT SICH DIE RAUMLUFTQUALITÄT, GEMESSEN AM INDIKATORGAS CO₂, AN DER RELATIVEN LUFTFEUCHTE UND RAUMLUFTTEMPERATUR?

Zum Parameter CO₂-Gehalt der Raumluft

Bereits Ende des Jahres 1858 stellte Max Pettenkofer fest, dass ein Zusammenhang zwischen der Lufthygiene und dem CO₂-Gehalt der Innenraumluft besteht. So wurde der nach Pettenkofer benannte Grenzwert für „hygienisch unbedenkliche Raumluft“ bei 1.000 ppm CO₂ festgelegt. Allerdings ist CO₂ unterhalb der in Deutschland geltenden MAK-Grenze von 5.000 ppm, in erster Linie nicht als Schadstoff, sondern als relativ einfach zu erfassendes Indikatorgas für andere relevante, stoffwechselbedingte Ausdünstungen des Menschen zu verstehen. Neben diesen, durch den Menschen emittierten Emissionen sind in der Regel auch andere, leicht flüchtige Schadstoffe in Innenräumen aufzufinden. Für Schulen typisch sind beispielsweise Emissionen aus Reinigungsmitteln, Möbeln oder Bodenbelägen. Es ist noch nicht Stand der Technik diese flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) raumweise zu erfassen und die Lüftung nach dieser Führungsgröße zu betreiben, was primär an der Vielzahl dieser Verbindungen liegt. Bereits verfügbare Sensoren decken noch nicht das volle Spektrum der relevanten VOC ab. Da Kohlenstoffdioxid (CO₂) aber ein sehr guter Indikator für die Anwesenheit von Menschen in einem Raum darstellt, werden diese Schadstoffe auch ohne separaten Sensor abgeführt, sobald die Lüftung in Betrieb geht. Kritisch ist der CO₂-Wert als Führungsgröße bei großen Raumvolumina und/oder, bei geringer Belegung (beispielsweise Turnsaal). Ein solcher Betriebszustand kann jedoch im gegenständlichen Fall ausgeschlossen werden. Die Lüftungsanlage wurde entsprechend der ÖNORM H6039 2008 auf die Luftqualität IDA 3 ausgelegt. Dies bedeutet, dass die Konzentration von Kohlenstoffdioxid 600 bis maximal 1.000 ppm über dem Wert der Außenluft (ca. 400 ppm) liegen darf. Somit ergeben sich Zielwerte im Klassenraum zwischen 1.000 ppm und 1.400 ppm. Eine zeitlich längere Überschreitung von 1.400 ppm kann als Kriterium gewertet werden, dass die gewünschte Luftqualität mit dem gewählten Anlagendesign nicht erreichbar ist.

Es wurden daher drei CO₂-Grenzparameter eingezogen. Zum ersten die prozentuelle Stundenanzahl, in der die Pettenkofer Grenze überschritten wurde, also, bis mehr als 1.000 ppm in der Raumluft gemessen wurden (die fehlenden Prozente weisen demnach die Zeit aus, in welcher der Pettenkofer-Wert unterschritten wurde). Zum Zweiten wurde die prozentuelle Überschreitung von 1.500 ppm abgefragt. 1.500 ppm deshalb, weil dies eine klare Überschreitung des IDA 3 - Planungswertes von 1.400 ppm darstellt. Zuletzt wurden jene Zeiten gesondert kumuliert, an denen mehr als 2.000 ppm vorherrschten, was einer 100 %-igen Überschreitung der Pettenkofer-Grenze entspricht.

Die Drehzahl des Ventilators wurde mittels Zeitprogramm (Ein/Aus) und CO₂-Sensor geregelt. Ab einer CO₂-Konzentration von 700 ppm im Klassenraum schaltete die Lüftungsanlage ein und erhöhte bei Zunahme des CO₂-Werts stufenlos den Zu- und Abluftvolumenstrom.

Zum Parameter relative Feuchte

Relative Feuchtwerte unter 30 % werden erfahrungsgemäß von vielen Personen schlecht toleriert. In diesem Messprojekt wurden die Zeiten erfasst, in welchen eine rel. Luftfeuchtigkeit von 40 % überschritten wurde. Ebenso wurde die Unterschreitung von 30 % rel. Feuchte ausgewertet. Der Überschreitungswert von 50 % relativer Feuchte wurde primär aus bauphysikalischem Interesse ermittelt.

Zum Parameter Raumtemperatur

Wurden die Raumtemperaturen von 21 °C unterschritten bzw. von 23 °C überschritten, wurde dies gesondert erfasst. Dieses optimale Fenster wurde bewusst eng begrenzt. Innerhalb dieses Fensters ist das Zugluftrisiko laut ÖNORM EN 13182 2002 kleiner gleich 15 %, wenn die Luftgeschwindigkeit im Aufenthaltsbereich unter 0,16 m/s liegt. Raumlufttemperaturen über 23 °C werden aus Effizienzgründen, Raumlufttemperaturen unter 21 °C aus Komfortgründen im Winter nicht angestrebt.

Auswertung Allgemein

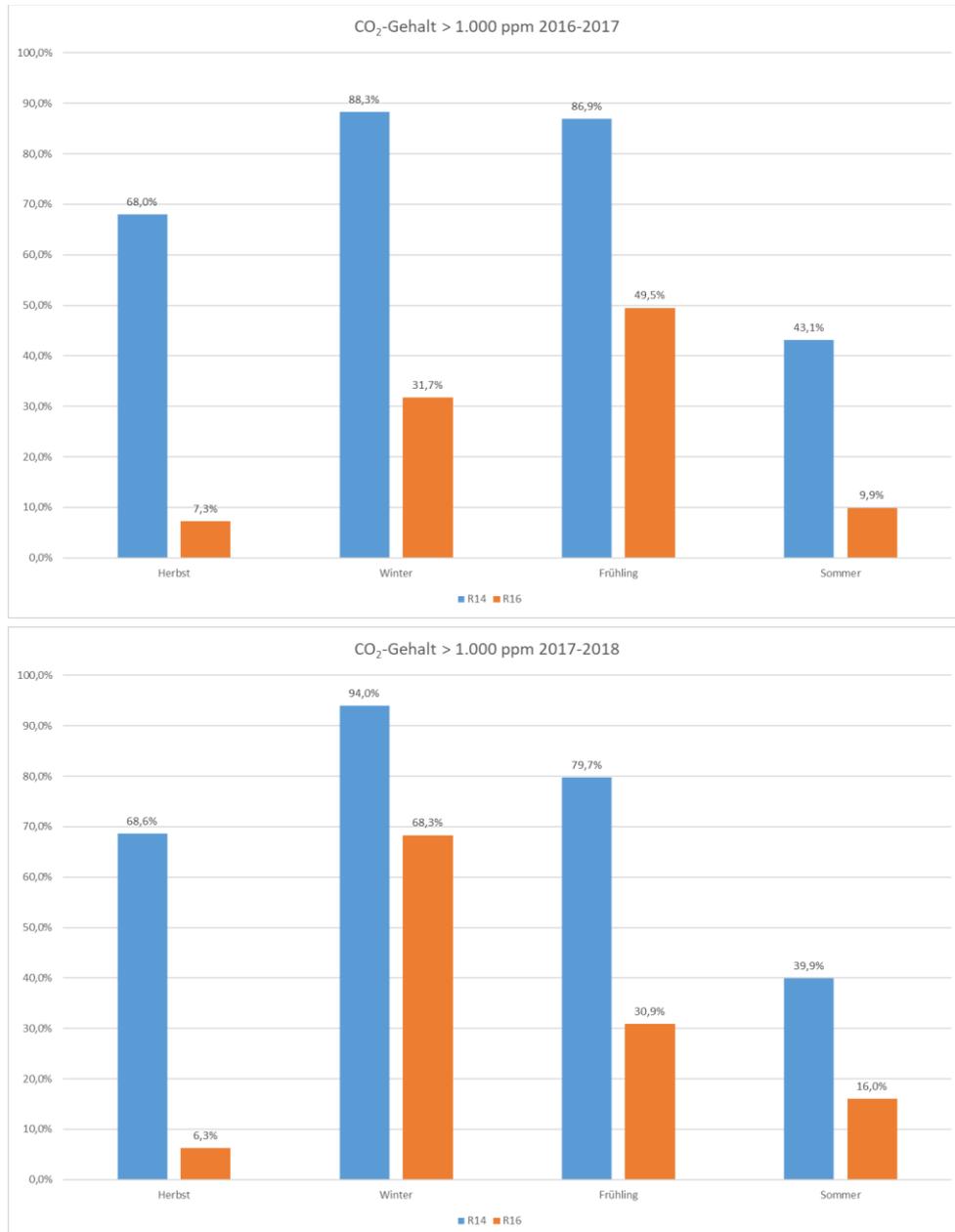
Der Auftrag für die messtechnische Erfassung der CO₂-Konzentration, der relativen Luftfeuchte und der Raumtemperatur wurden an die Firma LIST engineering vergeben. Die Messpunkte befinden sich auf Innenwänden mit maximalem Abstand zu den Fensterfronten auf einer Höhe von ca. 2,20 m. Die Montagehöhe der Messpunkte ist dem Schutz vor Manipulation geschuldet. Das Messprojekt zog sich über zwei volle Jahre. Im Folgenden werden immer die jeweils ersten, zweiten, dritten und vierten Lehrgänge der Schuljahre 2016/2017 und 2017/2018 miteinander verglichen. Die Zeitzuteilung der einzelnen Lehrgänge ist wie folgt definiert:

- > Herbst Schuljahr 2016/2017 von 12.09.2016 bis 18.11.2016 (19 und 20 Schülerinnen, gesamt 39 Personen)
- > Winter Schuljahr 2016/2017 von 21.11.2016 bis 10.02.2017 (23 und 28 SchülerInnen, gesamt 51 Personen)
- > Frühling Schuljahr 2016/2017 von 20.02.2017 bis 28.04.2017 (20 und 26 SchülerInnen, gesamt 46 Personen)
- > Sommer Schuljahr 2016/2017 von 02.05.2017 bis 07.07.2017 (18 und 15 SchülerInnen, gesamt 33 Personen)

- > Herbst Schuljahr 2017/2018 von 11.09.2017 bis 17.11.2017 (17 und 21 SchülerInnen, gesamt 38 Personen)
- > Winter Schuljahr 2017/2018 von 20.11.2017 bis 07.02.2018 (20 und 20 SchülerInnen, gesamt 40 Personen)
- > Frühling Schuljahr 2017/2018 von 19.02.2018 bis 27.04.2018 (20 und 30 SchülerInnen gesamt 50 Personen)
- > Sommer Schuljahr 2017/2018 von 02.05.2018 bis 06.07.2018 (18 und 26 SchülerInnen, gesamt 44 Personen)

Aus dieser Zusammenstellung ist ersichtlich, dass das Winterquartal 2016/2017 sowie das Frühlingsquartal 2017/2018 mit 51 beziehungsweise 50 SchülerInnen von der Belegung her die Intensivsten Zeiten, noch dazu im Winterhalbjahr, darstellen.

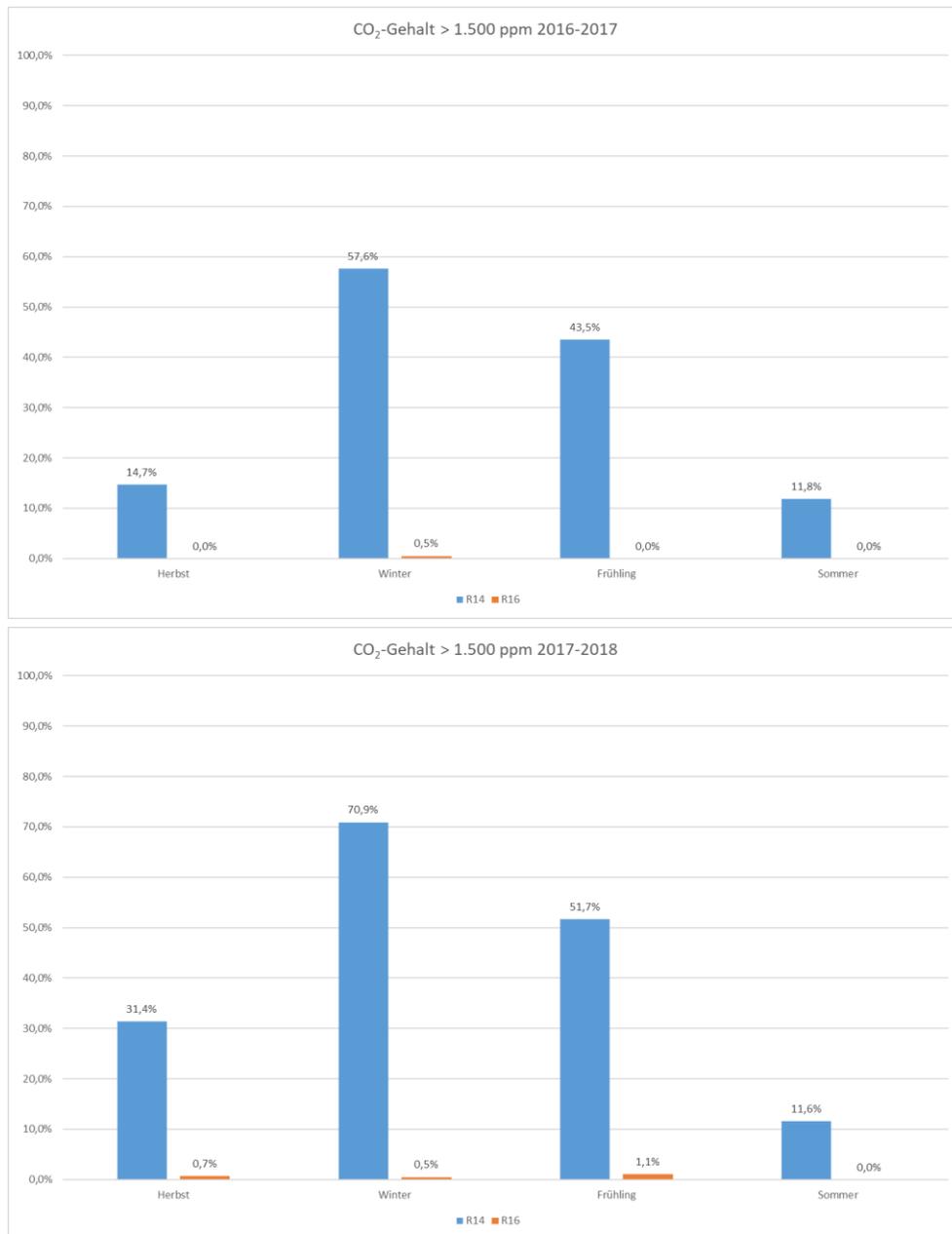
3.3.1 Auswertung prozentuelle Überschreitung von 1.000 ppm CO₂ im Klassenzimmer während der Unterrichtszeit.



Interpretation: In jedem der untersuchten Fälle wurde im Raum mit Lüftung (R16) die Pettenkofer-Grenze deutlich öfter eingehalten, als im Raum ohne mechanische Lüftung (R14). Auffallend ist, dass im Herbst und in den Sommermonaten, wo eine Fensterlüftung problemlos möglich gewesen wäre, der Raum ohne Lüftungsanlage trotzdem wesentlich mehr

Überschreitungen aufweist als der Raum mit Lüftung. Obwohl im Winter die Belegung der Klassenräume höher war als im Frühling, war die Überschreitungshäufigkeit im Raum mit Lüftung im Frühling, verglichen mit dem Winter größer. A priori würde man tendenziell davon ausgehen, dass im Winter die größere Überschreitungshäufigkeit auftritt. Allerdings zeigt die Auswertung, dass diese Annahme in der Praxis nicht zwangsweise Eintreten muss. Es ist anzunehmen, dass die Gruppen und das Verhalten der einzelnen Individuen zu inhomogen sind, um solche Rückschlüsse zuzulassen. Der grundsätzliche Vergleich zwischen belüftetem und unbelüftetem Klassenraum innerhalb eines Lehrganges leidet jedoch nicht unter dieser Tatsache.

3.3.2 Auswertung prozentuelle Überschreitung von 1.500 ppm CO₂ im Klassenzimmer während der Unterrichtszeit.



Interpretation: Mit 1.500 ppm wurde ein Grenzwert festgelegt, der in erster Linie Aussagen soll, ob mit der Anlage die Raumluftklasse IDA 3 (mit einem Puffer von 100 ppm) eingehalten werden kann. Es kann abgelesen werden, dass es im ungünstigsten Quartal (Frühling 2018) maximal zu einer 1,1 %-igen Überschreitung des Grenzwertes innerhalb des Beobachtungszeitraumes

gekommen ist. In absoluten Zahlen betrug die Summe jener Stunden, in denen der Grenzwert überschritten wurde 104 Minuten und ist somit vernachlässigbar. Die geringfügigen Überschreitungen traten jeweils in den Wintersemestern und je einmal im Herbst und Frühling des zweiten Messjahres auf. Allerdings waren die Klassen nicht immer voll belegt bzw. geteilt. Es ist zu erwarten, dass es bei Vollbelegungen deutlich öfter zu Zielwertüberschreitungen gekommen wäre. Daraus wiederum lässt sich die Hypothese ableiten, dass eine Luftmengenreduktion oder eine Hybridlüftung (Fensterlüftung kombiniert mit mechanischer Lüftung) nicht zielführend ist. Aus der stündlichen Beobachtung heraus zeigt sich, dass Fenster in der kalten Jahreszeit (aus Behaglichkeitsgründen) geschlossen bleiben. Anders herum verhält es sich im Sommer, wo die Fenster permanent geöffnet bleiben und sich punktuell sogar die Beobachtung machen ließ, dass der Raum ohne Lüftungsanlage bei geöffneten Fenstern niedrigere CO₂ – Werte aufwies als der belüftete Raum.

3.3.3 Auswertung prozentuelle Überschreitung von 2.000 ppm CO2 im Klassenzimmer während der Unterrichtszeit.



Interpretation: Am 2.000 ppm Grenzwert erkennt man, dass die Werte im Raum ohne Lüftung in beiden Betrachtungsjahren jeweils im Winter- und Frühlingsemester massiv überschritten wurden.

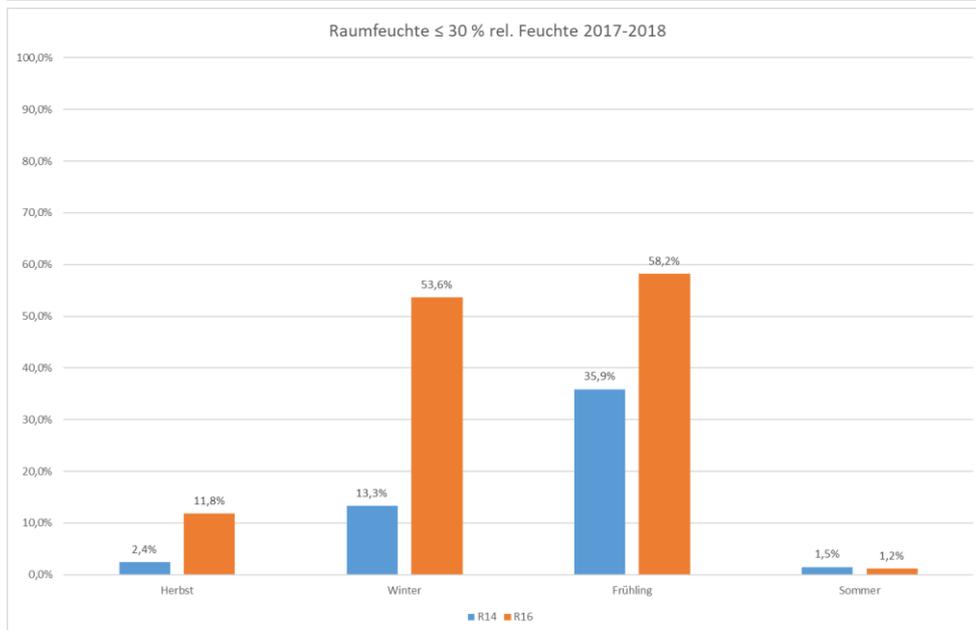
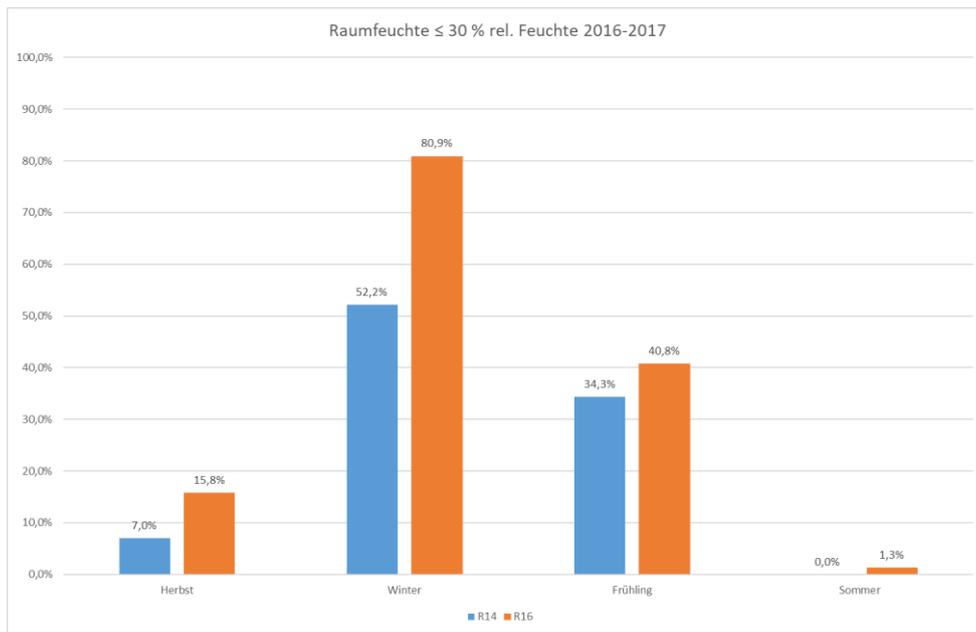
Interessant ist, dass es auch im Raum 16 zur einer Überschreitung kam. Allerdings innerhalb der zweijährigen Betrachtungszeit nur im Ausmaß von 16 Stunden.

3.3.4 Auswertung prozentuelle Überschreitung von 40 % relativer Feuchte im Klassenzimmer während der Unterrichtszeit.



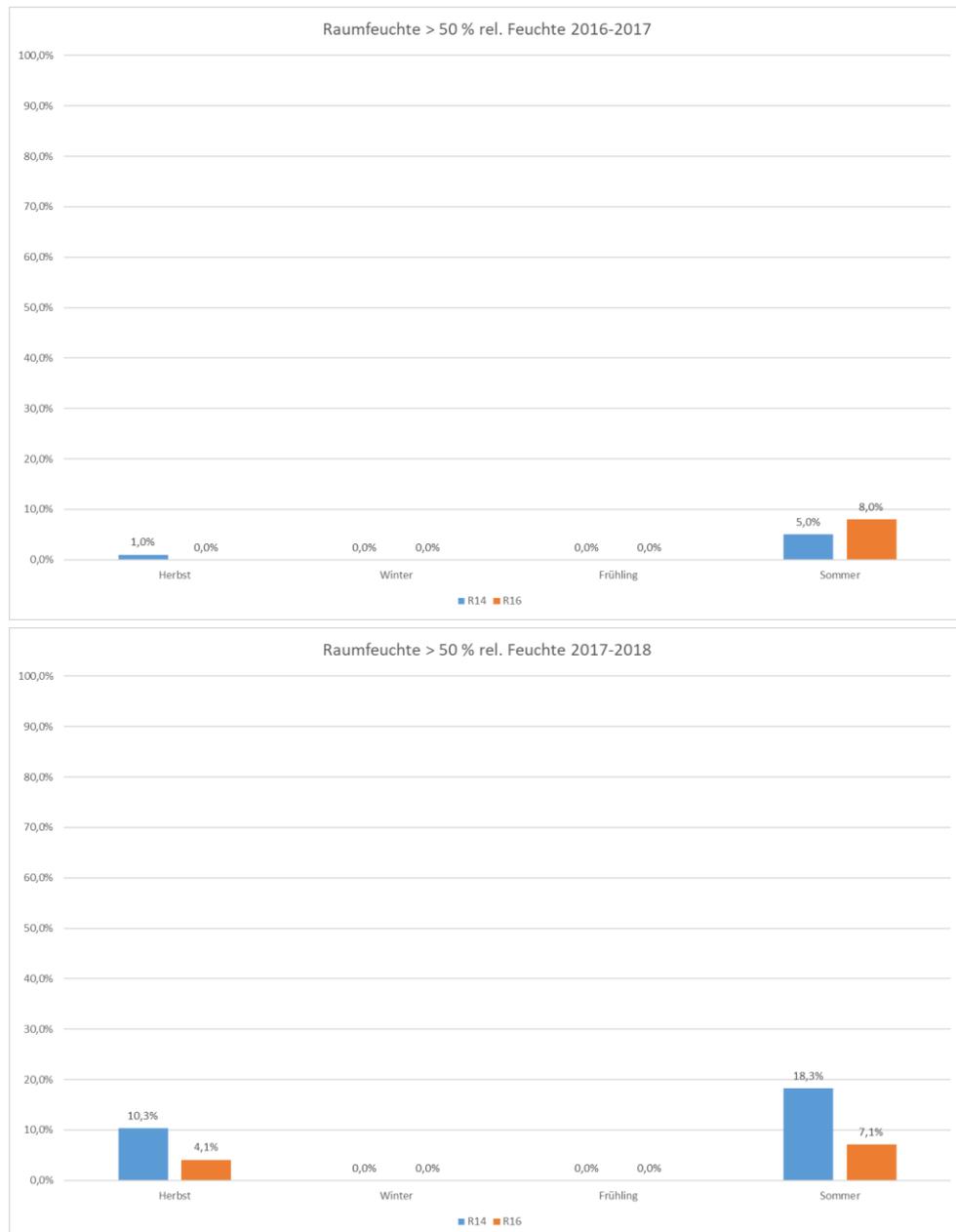
Interpretation: Wie zu erwarten, war die relative Feuchte im Raum mit Lüftungsanlage immer geringer als in jenem ohne Lüftung. Betrachtet man den Unterschied innerhalb der einzelnen Semester, stellt man fest, dass die größte prozentuelle Differenz (im Herbst 2016) mit 16,6 % überraschend gering ausfällt.

3.3.5 Auswertung prozentuelle Unterschreitung von 30 % relativer Feuchte im Klassenzimmer während der Unterrichtszeit.



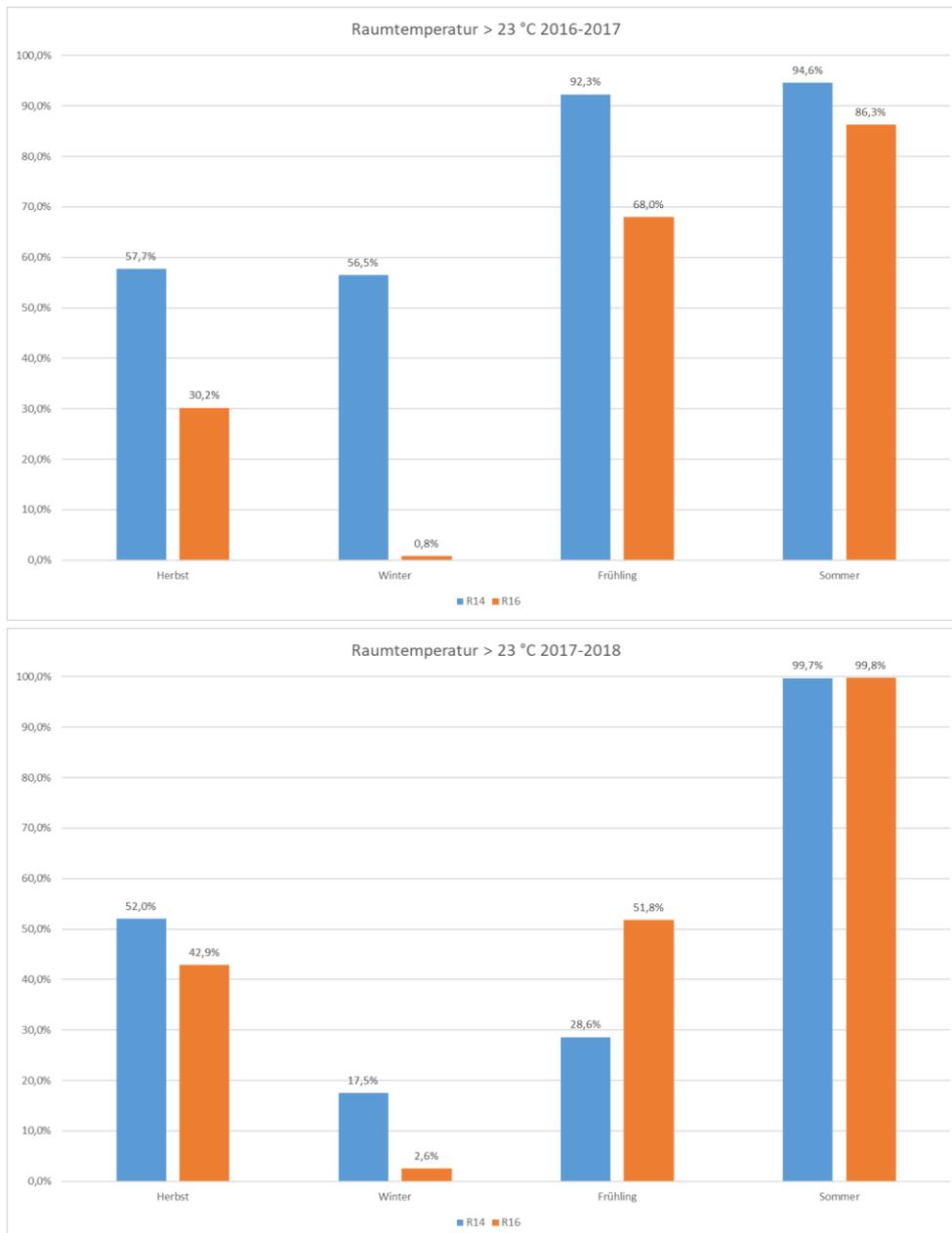
Interpretation: Trotz Feuchterückgewinnung mit Rotationswärmetauscher und Steuerung der Lüftung mittels CO₂-Sensor erkennt man in den Winter- wie Frühlingsemestern, dass die relative Luftfeuchte um bis zu 40,3 % der Semesterzeit öfter unter dem Grenzwert von 30 % rel. Feuchte liegt (Winter 2017) als im Raum ohne Lüftung. Bemerkenswert ist aber auch die Tatsache, dass auch im Raum ohne mechanische Belüftung sehr wohl mit zu trockener Luft zu rechnen ist. Insbesondere in den Frühlingsemestern (Februar bis Ende April) ist der prozentuelle Unterschied verhältnismäßig gering. Ebenfalls lässt sich die Hypothese ableiten, dass eine weitere Erhöhung der Luftmenge zur Reduzierung der CO₂ Konzentration massive negative Auswirkungen auf die Luftfeuchtigkeit generieren würde. Die Anforderungen an die relative Feuchtigkeit der Raumluft beschränken indirekt die maximale Luftmenge. Anlagen bei vergleichbarer Nutzung, aber höher Anforderungen an die Luftqualität, benötigen aus dieser Sicht eine Befeuchtung.

3.3.6 Auswertung prozentuelle Überschreitung von 50 % relativer Feuchte im Klassenzimmer während der Unterrichtszeit.



Interpretation: Der Grenzwert von über 50 % relativer Feuchte wurde primär aus bauphysikalischem Interesse abgefragt. Interessant ist die Tatsache, dass im Sommer 2018 beinahe an einem Fünftel der Unterrichtszeit die relative Feuchte von 50 % überschritten wurde.

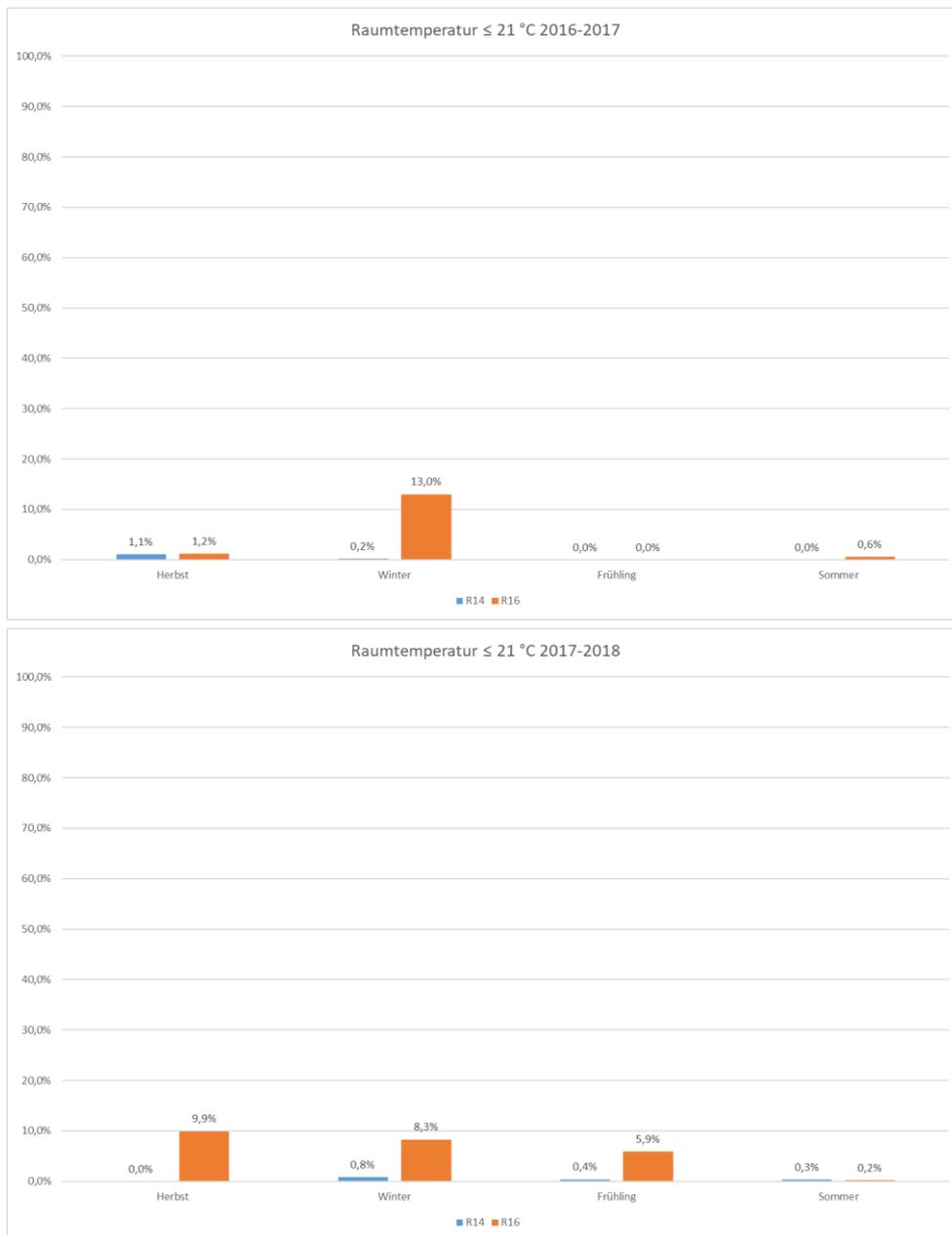
3.3.7 Auswertung prozentuelle Überschreitung der Temperatur von 23 °C im Klassenzimmer während der Unterrichtszeit.



Interpretation: In den Sommerlehrgängen wurde die Grenztemperatur von 23 °C erwartungsgemäß häufig überschritten. Auffallend ist, dass in sechs von acht Lehrgängen die Temperaturgrenze im Raum mit Lüftungsanlage weniger oft überschritten wurde. Dies lässt sich damit erklären, dass der händische Bedienungsaufwand der Heizkörperventile bei einem

Raum mit Lüftung geringer ist, und es so weniger oft zu einem „überschwingen“ der Raumtemperatur kommt.

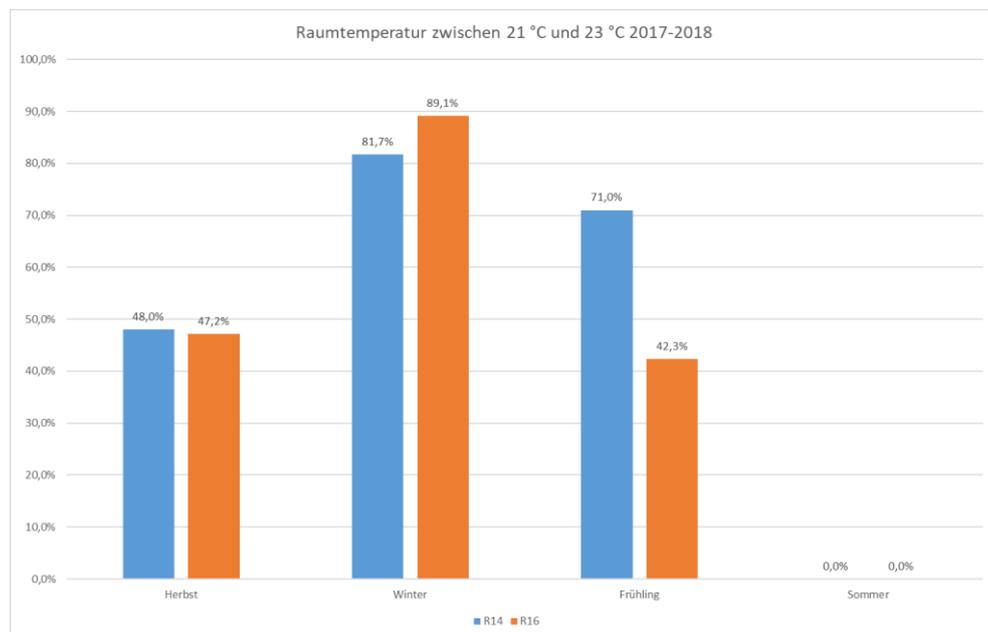
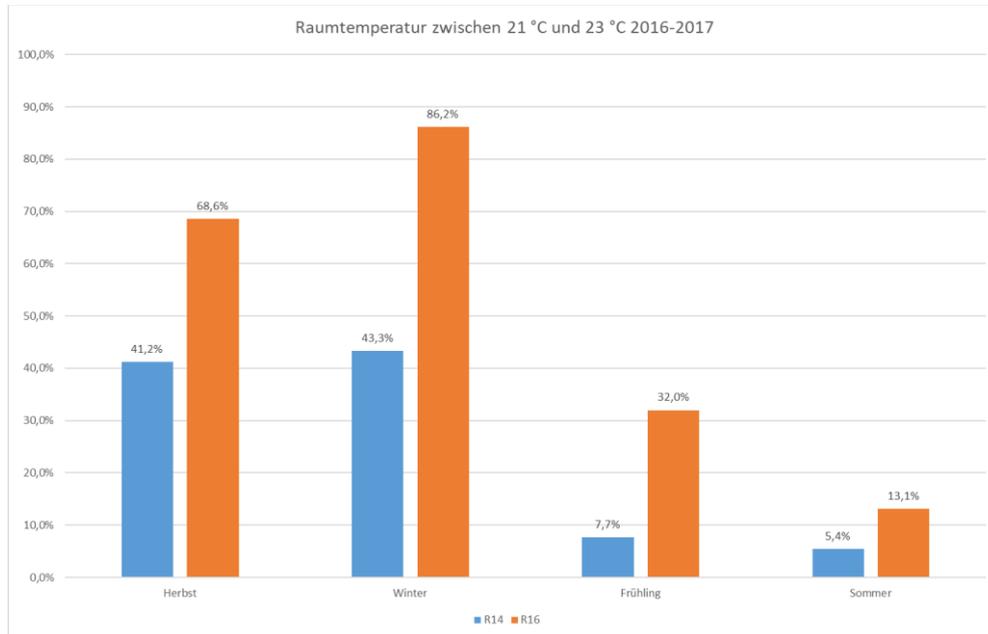
3.3.8 Auswertung prozentuelle Unterschreitung der Temperatur von 21 °C im Klassenzimmer während der Unterrichtszeit.



Interpretation: Die Unterschreitungshäufigkeit von 21 °C ist prozentuell gesehen gering. Allerdings ist auffällig, dass die Temperaturunterschreitung tendenziell im Raum mit Lüftung auftritt. Dies ist stimmig mit der Auswertung der Temperaturüberschreitung (über

23 °C), die beim Referenzraum ohne Lüftungsanlage gehäuft auftritt. Das elektrische Nachheizregister ist auf eine Zieltemperatur von 20 °C eingestellt. In Zeiten, in denen die Heizung nicht in Betrieb ist, erscheint es so, als ob der hohe Luftwechsel den Raum abkühlen würde. Ob in Winter die Heizleistung des Elektroregisters und/oder die Wärmeabgabe durch die Radiatoren nicht ausreichend war, um entsprechende Temperaturen zu erzielen, konnte nicht ermittelt werden. Jedenfalls zeigt die Messung, dass beim nachträglichen Einbau (insbesondere bei hohen Luftwechselraten) darauf zu achten ist, dass die entsprechende Heizleistung bereitgestellt werden kann. Im gegenständlichen Fall ist die prozentuelle Temperaturunterschreitung allerdings gering.

3.3.9 Auswertung prozentuelle Zeit innerhalb des Temperaturfensters zwischen 21 °C und 23 °C im Klassenzimmer während der Unterrichtszeit.



Interpretation: Die Diagramme ergeben sich aus den vorherigen Messwerten zu den Temperaturen. Allerdings ergibt diese Auswertung kein eindeutiges Bild. Im ersten Betrachtungsjahr scheint es, als ob im Raum mit der Lüftungsanlage die Temperatur eindeutig öfter im Temperaturfenster eingehalten wurde. Im zweiten Betrachtungsjahr

lassen sich diese Aussagen nicht mehr ableiten. Es ist jedoch nicht erkennbar, woran das liegt.

3.3.10 Allgemeine Interpretation der Messergebnisse

Betrachtet man die Konzentration des Indikatorgases CO₂ im untersuchten Zeitraum, weist der Klassenraum mit Lüftungsanlage, bezogen auf die Schadstoffkonzentration im Raum, jedenfalls die bessere Luftqualität auf. Allerdings ist auch offensichtlich, dass die Raumfeuchte im mechanisch belüfteten Klassenzimmer eher in den trockenen Bereich unter 30 % rel. Feuchte zu liegen kommt. In der nächsten Fragestellung wird versucht die Auswirkungen dieser Tatsache auf die SchülerInnen zu beantworten.

Die thermische Behaglichkeit folgt keinem eindeutigen Muster. Zwar liegen im Sommer die Temperaturen in beiden Räumen häufig über 23 °C, jedoch wäre das nur durch eine technische Kühlung zu lösen. Im ersten Betrachtungsjahr scheint es, als wäre der Klassenraum mit Lüftung in punkto thermischer Behaglichkeit vorteilhafter. Diese Beobachtung lässt sich im zweiten Beobachtungsjahr jedoch nicht fortsetzen.

Der Vollständige Bericht der Firma LIST engineering ist als Beilage 5 verfügbar.

3.4. FRAGESTELLUNG 4: WIE BEWERTEN DIE SCHÜLERINNEN UND SCHÜLER DIE RAUMLUFTQUALITÄT?

Ergänzend zur messtechnischen Auswertung wurde eine sozialwissenschaftliche Befragung zu den subjektiven Empfindungen der SchülerInnen durchgeführt. Insgesamt wurden 681 Fragebögen ausgewertet. Der vollständige Endbericht sowie der Inhalt der Fragebögen sind dem Beilage 6 zu entnehmen. Das Resümee wurde vollinhaltlich aus dem Endbericht des Interdisziplinären Forschungszentrums (IFZ) übernommen.

3.4.1 Beantwortung Fragestellung 4

Da Befragungen in beiden Klassenräumen (in jenem mit und in dem ohne Lüftungsanlage) durchgeführt wurden, können hier die Ergebnisse und Einschätzungen der befragten SchülerInnen gut verglichen werden.

Bei den Aussagen zum Raumklima zeigt sich, dass die Luftqualität im Raum mit der Lüftungsanlage durchgehend besser bewertet wird: „Luftqualität ist gut“ (78 zu 36 %), „Luft weder zu trocken noch zu feucht“ (75 zu 50 %), „Raumtemperatur ist angenehm“ (66 zu 49 %) und „Im Raum riecht es gut“ (54 zu 16 %). Auch die Lüftungsanlage an sich wird großteils gut bewertet: „verursacht keine Zugluft“ (83 %) und „verursacht keine Geräusche“ (71 %).

Dies wird auch durch die Antworten auf die Frage, welche Probleme den Befragten bei der Luftqualität aufgefallen seien, bestätigt. Hier wird vor allem genannt, dass es schlechte Gerüche und Gestank im Raum ohne Lüftungsanlage gäbe und die Luft stickig sei. Allerdings gibt es auch Probleme mit Überhitzung des Raumes im Sommer bzw. zu großer Kälte im Winter. *Anmerkung: Diese Aussage widerspricht den Messergebnissen. Allerdings entspricht die gemessene Temperatur nicht der empfundenen. Obwohl auf eine zugfreie Lufteinbringung besonderer Wert gelegt wurde, ist es durchaus möglich, dass sich die Raumtemperatur durch die Luftströmung kühler anfühlt.*

Derartige Aussagen finden sich bei der Bewertung des Raumes mit der Lüftungsanlage in Bezug auf die Luftqualität viel seltener. Allerdings werden auch hier Probleme, vor allem mit zu niedrigen bzw. zu hohen Temperaturen, genannt. Dieses Phänomen dürfte also beide Räume betreffen, unabhängig davon, ob mit oder ohne Lüftungsanlage. Einige meinen auch, dass die Lüftungsanlage zu laut sei bzw. die Luft durch die Lüftungsanlage zu trocken werde.

Das Gefühl lüften zu müssen, ist im Raum mit Lüftungsanlage auch viel weniger ausgeprägt als im Raum ohne Lüftungsanlage: „sehr oft“ (14 zu 51 %), „selten“ (50 zu

8 %)). Im Raum mit Lüftungsanlage wird auch wesentlich weniger gelüftet: „dauernd“ (12 zu 31 %), „häufig“ (33 zu 53 %), „manchmal“ (13 zu 42 %). Zumindest werden die Fenster beim Lüften im Raum ohne Lüftungsanlage zu 60 % ganz geöffnet und damit eine Stoßlüftung durchgeführt.

Das Gefühl von „dicker Luft“ ist im Klassenraum mit der Lüftungsanlage ebenfalls viel weniger ausgeprägt als im Klassenraum ohne Lüftungsanlage: „Luft wird nach einigen Minuten dick“ (11 zu 48 %), „Luft bleibt bis Pause oder Raumwechsel angenehm“ (46 zu 10 %).

Und ca. 90 % der Befragten meinen, dass die Luftqualität im Raum ohne Lüftungsanlage „mit Sicherheit“ oder „eher schon“ mit einer Lüftungsanlage besser wäre.

Eine sehr spannende Frage ist, wie sich die Konzentrationsmöglichkeit der SchülerInnen über den Tag verteilt darstellt. Dies hängt natürlich sicher nicht nur von der Luftqualität ab und hat auch mit anderen Faktoren zu tun. Die Luftqualität in einem Raum spielt dafür aber sicher eine wichtige Rolle. Hier zeigt sich, dass im Raum ohne Lüftungsanlage die Konzentration von einem guten Wert am Morgen (70 %) bis zum späteren Nachmittag kontinuierlich auf einen schlechten Wert von 25 % abfällt. Im Raum mit Lüftungsanlage hingegen beginnt der Wert bei 77 %, wird am späteren Vormittag sogar noch höher (83 %) und fällt am späteren Nachmittag nur auf einen Wert von 44 % ab. Hier zeigt sich also, dass die Luftqualität im Raum mit der Lüftungsanlage eine signifikante Auswirkung auf die Aufnahme- und Konzentrationsfähigkeit der SchülerInnen hat.

Die SchülerInnen selbst meinen ebenfalls, dass ihre Leistungen bei besserer Luftqualität auch besser wären – hier macht es relativ wenig Unterschied, ob diese Einschätzung im Raum mit oder im Raum ohne Lüftungsanlage getroffen wird.

Die Einschätzung der eigenen schulischen Leistung korreliert auch nicht mit den beiden verschiedenen Räumen. Sie ist sehr einheitlich, egal, ob im Raum mit oder ohne Lüftungsanlage vorgenommen.

Eine abschließende Beurteilung der Luftqualität bzw. der Lüftungsanlage, wiederum über offene Antworten, zeigt noch einmal, dass die Luft im Raum ohne Lüftungsanlage als schlecht, stickig und muffig beurteilt wird und mit schlechtem Geruch assoziiert wird. Daher müssen die Fenster geöffnet werden, was im Sommer dazu führt, dass es zu heiß bzw. im Winter, dass es zu kalt wird.

Im Raum mit Lüftungsanlage wird die Luft als angenehm beschrieben, die Lüftungsanlage funktioniert gut und kann weiterempfohlen werden, allerdings müssten auch in diesem Raum manchmal die Fenster zum Lüften geöffnet werden. Die Geräusentwicklung der Lüftungsanlage und Zugluft durch die Anlage stellen für manche ein Problem dar, an dem noch gearbeitet werden müsste. Auch in diesem Raum besteht ein Problem mit Überhitzung und Unterkühlung. *Anmerkung: Betrifft hauptsächlich die Geräusche beim Öffnen und Schließen der AUL- und FOL-Klappe. Die Schließqualität der Tür zur Garderobe (Lüftungsraum) ist bautechnisch mit "sehr schlecht" zu bewerten, außerdem ist sie zu 95 % offen. Dieses Problem wäre mit relativ wenig Aufwand (keine Klappenantriebe mit Federrückzug und eine "normale Tür", die sich schließen lässt, zu beheben.*

Zusammenfassend wird die Luftqualität im Klassenraum mit der Lüftungsanlage wesentlich besser eingeschätzt: „sehr gut“ (10 zu 2 %), „gut“ (43 zu 13 %), „genügend“ (12 zu 35 %), „nicht genügend“ (4 zu 16 %).

Aufgrund der Befragungsergebnisse kann auf jeden Fall geschlossen werden, dass die Luftqualität im Klassenraum mit der Lüftungsanlage wesentlich besser ist als im Klassenraum ohne Lüftungsanlage. Auch die Konzentrationsfähigkeit der SchülerInnen ist in diesem Raum wesentlich höher und sie selbst meinen auch, dass sie bei besserer Luft wesentlich bessere schulische Leistungen erreichen würden. Kleinere Probleme, wie die manchmal genannte Geräusentwicklung der Anlage, müssten noch behoben werden, ebenso das Problem der Überhitzung der Räume im Sommer bzw. der Unterkühlung im Winter. Letzteres hängt allerdings nicht unbedingt mit der Lüftungsanlage zusammen, sondern wahrscheinlich eher mit der schlechten Isolierung und den offensichtlich undichten Fenstern des Gebäudes.

3.5. FRAGESTELLUNG 5: WIE HOCH IST DER ENERGIEVERBRAUCH (ELEKTRISCHER STROM) DER LÜFTUNGSANLAGE?

Ein oft genanntes Argument gegen eine mechanische Belüftung sind die mutmaßlich hohen Kosten für die elektrische Antriebsenergie der Ventilatoren und eines eventuell vorhandenen Heizregisters. Aus diesem Grund wurde der Stromverbrauch der Anlage gesondert erfasst. Anders als bei der Erfassung der Luftqualität wurde der Stromverbrauch auch außerhalb der Unterrichtszeiten und inklusive der Standby-Verluste ermittelt.

3.5.1 Beantwortung Fragestellung 5

Die nachfolgende Tabelle zeigt den gemessenen Energieverbrauch im Untersuchungszeitraum.

ZEITRAUM	ELEKTRISCHER VERBRAUCH IN KWH
Herbst Schuljahr 2016/2017	76,06
Winter Schuljahr 2016/2017	268,19
Frühling Schuljahr 2016/2017	82,55
Sommer Schuljahr 2016/2017	76,58
Ferien 2017	26,63
Herbst Schuljahr 2017/2018	92,60
Winter Schuljahr 2017/2018	95,64
Frühling Schuljahr 2017/2018	82,66
Sommer Schuljahr 2017/2018	40,99

Innerhalb des Betrachtungszeitraumes, jedoch ohne Sommerferien im Jahr 2017 wurden absolut 841,9 kWh verbraucht. Der extrem hohe Energieverbrauch im Wintersemester 2018 lässt sich teilweise dadurch erklären, dass der Jänner 2017 der einzige Wintermonat mit einer ausgeprägten negativen Temperaturabweichung im gesamten Beobachtungszeitraum war. Gegenüber dem langjährigen Mittel war dieser Monat um 2,8 °C zu kalt.

In den 22 Monaten der Messung belaufen sich die Stromkosten bei einem angenommenen Preis von 16 Cent/kWh auf 135,- € bzw. 11,25 € pro Monat. Grundvoraussetzung für einen solchen, fast schon zu vernachlässigen, Energieverbrauch ist eine entsprechend großzügige Dimensionierung des Lüftungsgerätes und der dazugehörigen Lüftungskanäle. Wird mit zu hohen Strömungsgeschwindigkeiten gearbeitet, wird der Energieverbrauch um ein Vielfaches

ansteigen. Dies liegt in der Tatsache begründet, dass sich die Leistungsaufnahme des Ventilators – unter der Voraussetzung einer Proportionaldruckregelung - durch die Halbierung des Volumenstromes (bzw. der Strömungsgeschwindigkeit) theoretisch auf 12,5 % der Ausgangsleistung reduziert. Eine bedarfsgerechte Regelung durch einen CO₂-Fühler trägt nochmals wesentlich zur Reduzierung des Volumenstromes bei.

Die Standby-Verluste sind überraschend hoch. In der unterrichtsfreien Zeit von 09.07. bis 10.09.2017 wurden beinahe 27 kWh Energie verbraucht (3 % des gesamten Verbrauchs im Beobachtungszeitraum). Zwar war in diesen Zeitraum ein täglicher „Spülbetrieb“ von einer Stunde eingestellt, was dennoch nicht den hohen Verbrauch erklärt. Eine Auswertung der Verbrauchszahlen außerhalb der Betriebszeiten ergab eine Standby-Leistung zwischen 13 und 17 Watt. Es erscheint daher sinnvoll die Anlage in dieser Zeit spannungsfrei zu schalten. Bedenkt man, dass sich die Lüftungsanlage nicht nur in den Ferien, sondern auch in den Abend- und Nachtstunden im Standby-Modus befindet, ist anzunehmen, dass diese Verluste bis dato eine vernachlässigte, aber relevante Größe darstellen. Der Vollständigkeit halber muss jedoch angemerkt werden, dass die Messeinrichtungen nicht auf solch geringe Leistungen skaliert wurden bzw. sich das optimale Messfeld im Regelbetrieb widerfindet. Die Abschätzung der Standby-Leistung ist demnach überschlägig und mit einer gewissen Unschärfe behaftet.

3.6. FRAGESTELLUNG 6: WELCHE ENERGIEEINSPARUNG KANN GENERIERT WERDEN, WENN SCHULKLASSEN LÜFTUNGS- UND HEIZUNGSTECHNISCH ERTÜCHTIGT WERDEN?

Häufig wird die Behauptung aufgestellt, dass der Energieverbrauch durch den Einbau von technischen Einrichtungen steigt. Da der R16 zusätzlich zur Lüftungsanlage auch mit einer intelligenten Heizungssteuerung ausgerüstet wurde, bot sich eine Annäherung an diese Frage an. Jedenfalls müssen Heizung und Lüftung gesamthaft betrachtet werden und auch die unterschiedlichen CO₂ Konversionsfaktoren der Energieträger Erdgas und Strom berücksichtigt werden.

3.6.1 Beantwortung Fragestellung 6

Die Beantwortung dieser Frage stellte sich als aufwändiger heraus, als ursprünglich angenommen. Das bestehende Einrohr-Heizsystem ließ anfänglich keinen Einbau von Wärmemengenzählern zu. Durch die starke Eigeninitiative der TFBS wurde Anfang 2018 jedoch eine Möglichkeit gefunden valide Messergebnisse zu erzielen. So wurde im Raum 16 eine hydraulische Weichen eingebaut und die Heizkörper in diesem Raum mit Mikropumpen ausgestattet Ebenfalls erhielt der Raum 16 eine intelligente Heizungssteuerung mit Raumtemperaturregelung. Die Zieltemperatur wurde mit 21 °C festgelegt. Im Referenzraum wurden die Handräder der Heizkörperventile belassen. Die Auswertung der Wärmemengenzähler begann im September 2018 und wurde im Mai 2018 beendet. Grundsätzlich muss angemerkt werden, dass diese Auswertung die statistisch größten Unschärfen aufweist, da sich der Beginn und das Ende der Heizsaison nicht mit dem Wechselzyklus der Schüler deckt.

Im Raum 14 wurde im Betrachtungszeitraum ein Heizwärmebedarf 3.039 kWh ermittelt. Im Raum 16 wurde im Betrachtungszeitraum ein Heizwärmebedarf 1.011 kWh ermittelt. Für den Antrieb der Ventilatoren und den Betrieb des Nachheizregisters wurden zusätzlich 201 kWh elektrische Energie aufgewendet. Der vollständige Messbericht der LIST engineering ist als Beilage 7 angefügt.

Vernachlässigt man den Wirkungsgrad des zur Wärmebereitstellung eingesetzten Erdgaskessels und die Verteilverluste, ergeben sich folgende, raumspezifische CO₂-Emissionen auf Basis der OIB RL 6 2015:

- > Raum 14 → 717 kg CO₂
- > Raum 16 → 294 kg CO₂

Der Raum, der mit einer modernen Heizungsregelung ausgestattet wurde, benötigte um 67 % weniger Heizenergie. Welchen Anteil der Einsatz der Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung auf diese Einsparung hat, konnte nicht valide ermittelt werden. Die CO₂-Bilanz im Betrachtungszeitraum zeigt, dass der technisch hochwertiger ausgestattete Raum 59 % weniger CO₂-Emissionen verursacht als der unsanierte Bestandsraum.

4. FAZIT

Obwohl bereits eine Vielzahl von Messprojekten zum Thema Raumluftqualität in Bildungseinrichtungen durchgeführt wurden, wurde die Thematik noch nie in diesem umfangreichen Ansatz bewertet. Wie vorab nicht anders zu erwarten war, kann aus den Ergebnissen abgeleitet werden, dass Lüftungsanlagen das Indikatorgas CO₂ signifikant reduzieren. Die eigentliche „neue“ Erkenntnis ist jedoch, dass es auch bei im Volksmund als „undicht“ eingestuften Bestandsgebäuden sofort zu Luftqualitätsproblemen kommt, wenn kein ausreichender Luftaustausch stattfindet. Durch die lange Messreihe konnte auch praxisnahe nachgewiesen werden, dass trotz der problemlosen Möglichkeit einer Fensterlüftung (ruhiger Innenhof), diese durch keine der sechzehn Schülergruppen so erfolgte, dass eine zufriedenstellende Raumluftqualität hergestellt werden konnte. Auch anderen Variablen, wie der Dämpfung der CO₂ Konzentration durch das Raumvolumen, offene Türen in den Pausen oder der Tatsache, dass Klassen öfters geteilt oder unterbesetzt waren, wurden mit dieser Messmethode Rechnung getragen und generieren die Erkenntnis, dass auch bei unregelmäßiger Belegung ohne mechanische Lüftung keine zufriedenstellende Raumluftqualität durch Fensterlüftung erreichbar ist. Bei korrekter Dimensionierung ist der Energieverbrauch von dezentralen Lüftungsanlagen überraschend niedrig und kein Grund sich gegen ein solches System auszusprechen. Eine Feuchterückgewinnung, um die Feuchte der Raumluft in einem vertretbaren Rahmen halten zu können, muss als Standard betrachtet werden.

Ein auf Fensterlüftung basierendes Lüftungskonzept in einem Unterrichtsraum ist nach Auswertung der vorliegenden Daten nicht praktikabel.

5. PROJEKT BETEILIGTE

Projektteam Energie Tirol:

Andreas Riedmann und Thomas Vogel / Bereich Technische Gebäudeausrüstung

Folgende Firmen erbrachten im Zuge des Projekts Dienstleistungen für Energie Tirol:

- > List engineering OG
- > Institut für Technik- und Wissenschaftsforschung der AAU Klagenfurt / IFZ
- > Energy Consultants

Projektteam TFBS:

Direktor Winfried Judmaier und Direktor-Stv. Alois Brandl

Die TFBS wurde in der Umsetzung des Projekts durch folgende Firmen unterstützt:

- > J. Pichler Gesellschaft m.b.H.
- > Techem Messtechnik GmbH
- > Wilo Pumpen Österreich GmbH
- > AIR-TECH Lüftungs- und Klimaanlage GmbH

Beilage 1 - Blower Door Test Raum 16

Wildermieming, am 26. 11. 2015

Luftdichtheitstest Blower Door

an der

Tiroler Fachsberufsschule

für Installation und Blechtechnik

„Klassenraum Nr.16“

Mandelsbergerstraße 12

A-6020 Innsbruck



Eckdaten:

Messung erfolgte am 25. 11. 2015 nachmittags

Messgerät: Blow Test 3000

Messverfahren: A B

Messablauf:

1. Begehung des Gebäudes und Vorbereitungsarbeiten nach Norm
2. Ein-Punkt-Messung bei 50 Pascal Differenzdruck
(Prüfung der Plausibilität)
3. Leckageortung bei 50 Pascal Unterdruck
4. Luftdichtheitsprüfung gemäß EN ISO 13829

Objektinformation:

Bauart: Massivbauweise

- Das Objekt ist fertiggestellt.
- Die Elektroinstallationen sind eingebaut und komplettiert.
- Die Innentüren sind eingebaut.
- Der Estrich ist vorhanden.
- Die Innenverkleidung ist komplett eingebaut.
- Die Luftdichtheitsebene ist komplett hergestellt.
- Abwasserleitungen sind eingebaut und abgedichtet. Vorhandene Sifone wurden mit Wasser gefüllt.

Heizungsanlage: Gas

Lüftungsanlage: keine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung installiert

Hilfsmittel: Rauchstift, Thermografie, Nebelmaschine, Testo

435/4 mit Behaglichkeitssonde und Luftgeschwindigkeitsmessung

Einbauort: Innentüre Klassenraum



Temporäre Abdichtungen: Der Einbau des Türrahmens musste temporär abgedichtet werden.



Leckageortung Unterdruck



Bild 1. Innentüre Garderobe
Anschlussdetail:

Der Türstock zur Garderobe schließt nicht luftdicht ab. Dieser Anschluss sollte unbedingt abgedichtet bzw. erneuert werden. Diese Situation ist auch bei der Innentüre des Klassenraumes zu überprüfen.



Bild 2. Innentüre Garderobe,
Türelement:

Die Innentüre liegt nicht am Rahmen an. Sollte die Türe nicht erneuert und den tatsächlichen „Maßen“ des Türrahmens angepasst werden, so ist zumindest für einen luftdichten Anschluss zu sorgen. Diese Situation ist auch bei der Innentüre des Klassenraumes zu überprüfen. Um eine Verbesserung nachweisen zu können, wurden für eine zweite Messung die Anschlüsse temporär abgedichtet.



Bild 3. Fenster:

Die Fenster schließen nicht luftdicht ab;
Fenstereinstellungen unbedingt überprüfen;



Bild 4. Fenster:

Die Fenster schließen nicht luftdicht ab;
Fenstereinstellungen unbedingt überprüfen;

Leckageortung Unterdruck



Bild 5. Fenster:

Die Fenster schließen nicht luftdicht ab;
Fenstereinstellungen unbedingt überprüfen;

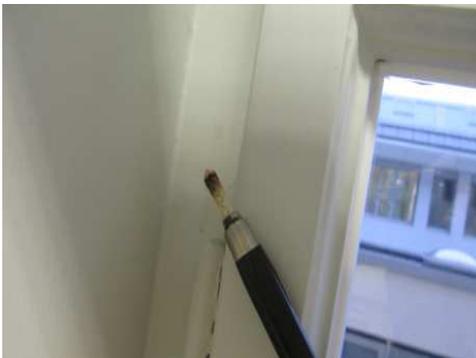


Bild 6. Fenster:

Die Fenster schließen nicht luftdicht ab;
Fenstereinstellungen unbedingt überprüfen;



Bild 7. Fensterdetail, Garderobe

Das innenliegende, öffenbare Fensterelement
ist nicht vorhanden.
Während der Leckageortung konnten hier
erhebliche Luftvolumenströme visualisiert werden.



Bild 8. Elektroinstallationen:

Die Elektroinstallationen an den Außen- sowie
Innenwänden stellen kein Problem dar.

Messergebnisse - ohne temporäre Abdichtung der Innentüre

Prüfbericht zur Bestimmung der Luftdurchlässigkeit gem. EN 13829

Objekt : TFBS für Installation und BleiAuftraggeber : Energie Tirol
 PLZ / Ort : 6020 Innsbruck Straße : Mandelsbergerstraße 12
 Datum / Zeit : 25.11.2015 / 15:59 und 25.11.2015 / 16:04
 Messgerät : blowtest 3000

Angaben zum Objekt

Meßort / Raum : Klasse 16 Gebäudehöhe : m
 Einbauort : Innentür Art der Heizung : Gas
 Netto-Grundfläche A_F : 72 m² und Lüftungsanlage :
 Raumvolumen V : 253 m³ Meßverfahren : a
 Hüllflächen A_E : m²

Messwerte (Unterdruck)

Druckdifferenz	58	55	41	30	21	11	0	0	0	0	Pa
Volumenstrom	1200	1079	1037	894	733	427	0	0	0	0	m ³ /h

Strömungskoeffizient C_{env} = 134.70 m³/(h Paⁿ) VB_{env} = 79,0 bis 229,5
 Strömungsexponent n = 0.54 VB_n = 0,39 bis 0,70
 Leckagekoeffizient C_L = 129.10 m³/(h Paⁿ) VB_L = 75,7 bis 219,9
 Leckagestrom V_{50} = 1087 m³/h
 Luftdurchlässigkeit q_{50} = - m³/(h m²)
 nettogrundflächenbezogener Leckagestrom W_{50} = 15.1 m³/(h m²)
Luftwechselrate n_{50} = 4.30 h⁻¹

Messbedingungen (Unterdruck)

Windstärke = 1 Beaufort natürliche Druckdifferenz:
 Außentemperatur = 8.3 °C $\Delta p_{0,1}$ = -0.64 Pa $\Delta p_{0,2}$ = 0.28 Pa
 Innentemperatur = 21.6 °C $\Delta p_{0,1+}$ = 0.64 Pa $\Delta p_{0,2+}$ = 0.28 Pa
 Luftdruck = 928.00 mbar $\Delta p_{0,1-}$ = -0.81 Pa $\Delta p_{0,2-}$ = 0.00 Pa

Messwerte (Überdruck)

Druckdifferenz	62	51	40	31	21	11	0	0	0	0	Pa
Volumenstrom	1123	1001	858	730	575	382	0	0	0	0	m ³ /h

Strömungskoeffizient C_{env} = 92.30 m³/(h Paⁿ) VB_{env} = 90,8 bis 93,7
 Strömungsexponent n = 0.61 VB_n = 0,603 bis 0,612
 Leckagekoeffizient C_L = 91.70 m³/(h Paⁿ) VB_L = 90,2 bis 93,1
 Leckagestrom V_{50} = 985 m³/h
 Luftdurchlässigkeit q_{50} = - m³/(h m²)
 nettogrundflächenbezogener Leckagestrom W_{50} = 13.7 m³/(h m²)
Luftwechselrate n_{50} = 3.89 h⁻¹

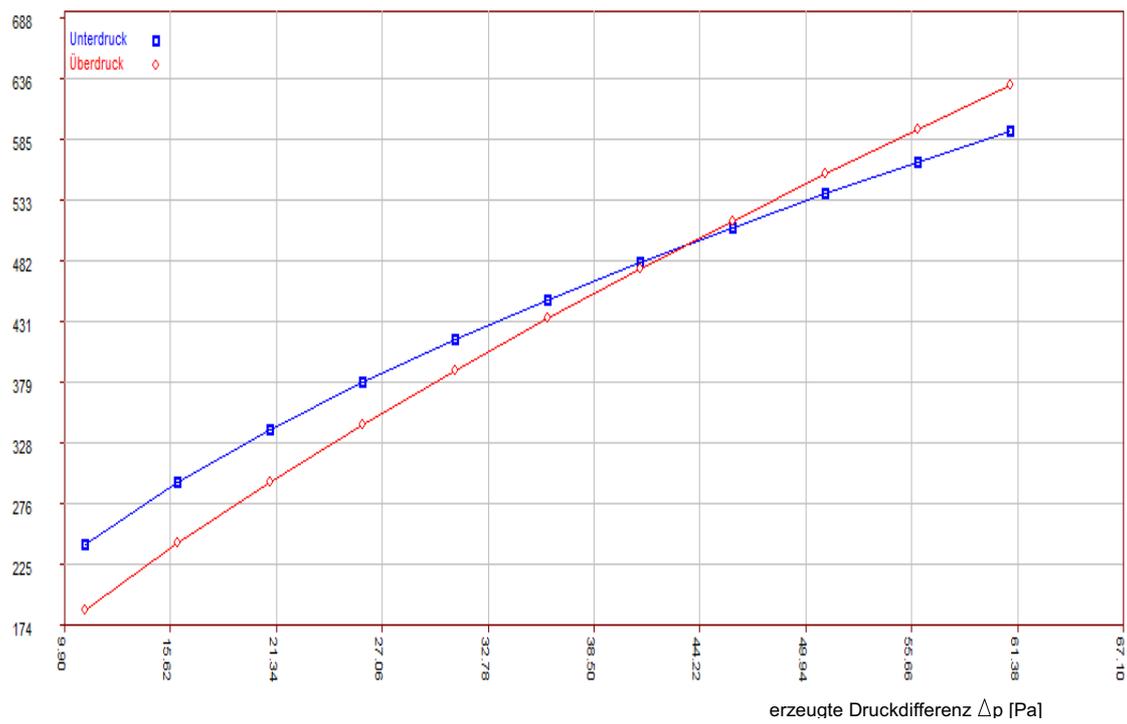
Messbedingungen (Überdruck)

Windstärke = 1 Beaufort natürliche Druckdifferenz:
 Außentemperatur = 8.3 °C $\Delta p_{0,1}$ = -0.64 Pa $\Delta p_{0,2}$ = 0.28 Pa
 Innentemperatur = 21.6 °C $\Delta p_{0,1+}$ = 0.64 Pa $\Delta p_{0,2+}$ = 0.28 Pa
 Luftdruck = 928.00 mbar $\Delta p_{0,1-}$ = -0.81 Pa $\Delta p_{0,2-}$ = 0.00 Pa

arithmetischer Mittelwert der Unter- und Überdruckmessung

Leckagestrom V_{50} = 1036.0 m³/h
Luftwechselrate n_{50} = 4.10 h⁻¹

gemessener Volumenstrom V_m [m³/h]



Messergebnisse - mit temporärer Abdichtung der Innentüre

Prüfbericht zur Bestimmung der Luftdurchlässigkeit gem. EN 13829

Objekt : TFBS für Installation und BleiAuftraggeber : Energie Tirol
 PLZ / Ort : 6020 Innsbruck Straße : Mandelsbergerstraße 12
 Datum / Zeit : 25.11.2015 / 16:23 und 25.11.2015 / 16:28
 Messgerät : blowtest 3000

Angaben zum Objekt

Meßort / Raum : Klasse 16 Gebäudehöhe : m
 Einbauort : Inentür Art der Heizung : Gas
 Netto-Grundfläche A_F : 72 m² und Lüftungsanlage :
 Raumvolumen V : 253 m³ Meßverfahren : a
 Hüllflächen A_E : m²

Messwerte (Unterdruck)

Druckdifferenz	60	50	41	31	21	11	0	0	0	0	Pa
Volumenstrom	769	699	629	544	432	286	0	0	0	0	m ³ /h

Strömungskoeffizient C_{env} = 93.60 m³/(h Paⁿ) VB_{env} = 86,4 bis 101,5
 Strömungsexponent n = 0.52 VB_n = 0,50 bis 0,54
 Leckagekoeffizient C_L = 89.90 m³/(h Paⁿ) VB_L = 82,9 bis 97,4
 Leckagestrom V_{50} = 690 m³/h
 Luftdurchlässigkeit q_{50} = - m³/(h m²)
 nettogrundflächenbezogener Leckagestrom W_{50} = 9.6 m³/(h m²)
Luftwechselrate n_{50} = 2.73 h⁻¹

Messbedingungen (Unterdruck)

Windstärke = 1 Beaufort natürliche Druckdifferenz:
 Außentemperatur = 9.2 °C $\Delta p_{0,1} = -1.21$ Pa $\Delta p_{0,2} = -1.35$ Pa
 Innentemperatur = 21.3 °C $\Delta p_{0,1+} = 0.62$ Pa $\Delta p_{0,2+} = 0.00$ Pa
 Luftdruck = 934.00 mbar $\Delta p_{0,1-} = -1.28$ Pa $\Delta p_{0,2-} = -1.37$ Pa

Messwerte (Überdruck)

Druckdifferenz	61	51	41	31	21	12	0	0	0	0	Pa
Volumenstrom	762	688	609	521	418	285	0	0	0	0	m ³ /h

Strömungskoeffizient C_{env} = 67.30 m³/(h Paⁿ) VB_{env} = 62,8 bis 72,3
 Strömungsexponent n = 0.59 VB_n = 0,57 bis 0,61
 Leckagekoeffizient C_L = 67.10 m³/(h Paⁿ) VB_L = 62,5 bis 72,0
 Leckagestrom V_{50} = 678 m³/h
 Luftdurchlässigkeit q_{50} = - m³/(h m²)
 nettogrundflächenbezogener Leckagestrom W_{50} = 9.4 m³/(h m²)
Luftwechselrate n_{50} = 2.68 h⁻¹

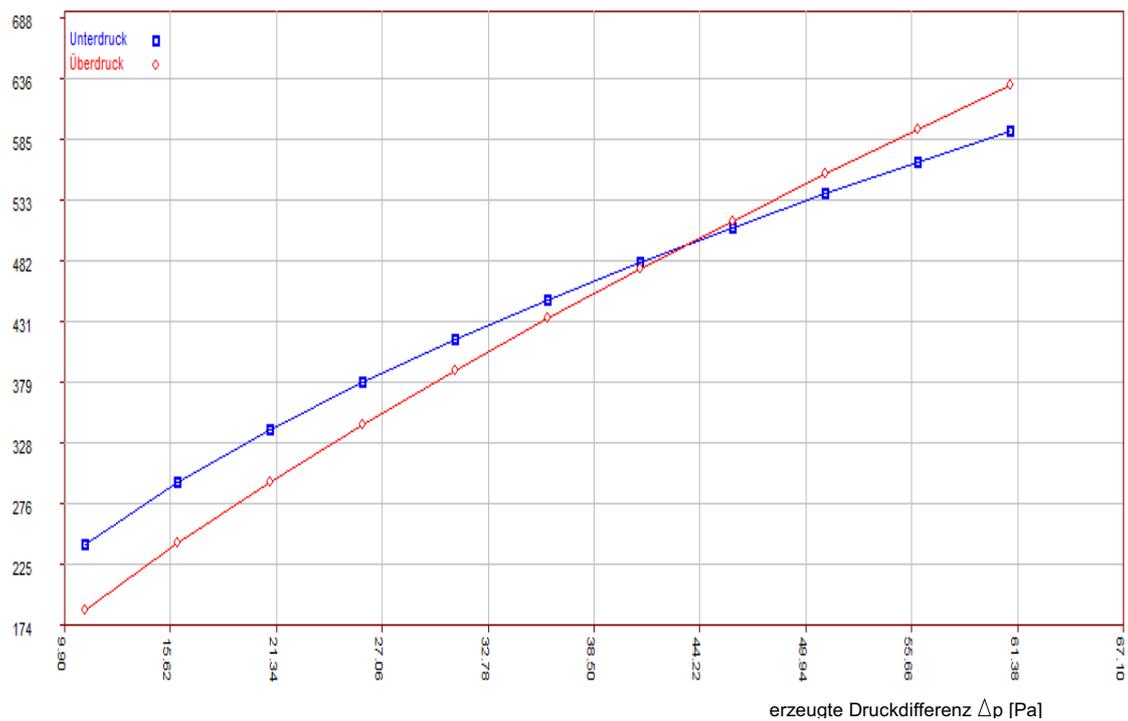
Messbedingungen (Überdruck)

Windstärke = 1 Beaufort natürliche Druckdifferenz:
 Außentemperatur = 9.2 °C $\Delta p_{0,1} = -1.21$ Pa $\Delta p_{0,2} = -1.35$ Pa
 Innentemperatur = 21.3 °C $\Delta p_{0,1+} = 0.62$ Pa $\Delta p_{0,2+} = 0.00$ Pa
 Luftdruck = 934.00 mbar $\Delta p_{0,1-} = -1.28$ Pa $\Delta p_{0,2-} = -1.37$ Pa

arithmetischer Mittelwert der Unter- und Überdruckmessung

Leckagestrom V_{50} = 684.0 m³/h
Luftwechselrate n_{50} = 2.70 h⁻¹

gemessener Volumenstrom V_m [m³/h]



Beilage 2 - Blower Door Test Raum 14

Wildermieming, am 26. 11. 2015

Luftdichtheitstest Blower Door

an der

Tiroler Fachsberufsschule

für Installation und Blechtechnik

„Klassenraum Nr.14“

Mandelsbergerstraße 12

A-6020 Innsbruck



Eckdaten:

Messung erfolgte am 25. 11. 2015 nachmittags

Messgerät: Blow Test 3000

Messverfahren: A B

Messablauf:

1. Begehung des Gebäudes und Vorbereitungsarbeiten nach Norm
2. Ein-Punkt-Messung bei 50 Pascal Differenzdruck
(Prüfung der Plausibilität)
3. Leckageortung bei 50 Pascal Unterdruck
4. Luftdichtheitsprüfung gemäß EN ISO 13829

Objektinformation:

Bauart: Massivbauweise

- Das Objekt ist fertiggestellt.
- Die Elektroinstallationen sind eingebaut und komplettiert.
- Die Innentüren sind eingebaut.
- Der Estrich ist vorhanden.
- Die Innenverkleidung ist komplett eingebaut.
- Die Luftdichtheitsebene ist komplett hergestellt.
- Abwasserleitungen sind eingebaut und abgedichtet. Vorhandene Sifone wurden mit Wasser gefüllt.

Heizungsanlage: Gas

Lüftungsanlage: keine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung installiert

Hilfsmittel: Rauchstift, Thermografie, Nebelmaschine, Testo

435/4 mit Behaglichkeitssonde und Luftgeschwindigkeitsmessung

Einbauort: Innentüre Klassenraum



Temporäre Abdichtungen: Der Einbau des Türrahmens musste temporär abgedichtet werden.



Leckageortung Unterdruck



Bild 1. Innentüre Garderobe
Anschlussdetail:

Der Türstock zur Garderobe schließt nicht luftdicht ab. Dieser Anschluss sollte unbedingt abgedichtet bzw. erneuert werden. Diese Situation ist auch bei der Innentüre des Klassenraumes zu überprüfen.



Bild 2. Innentüre Garderobe,
Türelement:

Die Innentüre liegt nicht am Rahmen an. Sollte die Türe nicht erneuert und den tatsächlichen „Maßen“ des Türrahmens angepasst werden, so ist zumindest für einen luftdichten Anschluss zu sorgen. Diese Situation ist auch bei der Innentüre des Klassenraumes zu überprüfen. Um eine Verbesserung nachweisen zu können, wurden für eine zweite Messung die Anschlüsse temporär abgedichtet.



Bild 3. Fenster:

Die Fenster schließen nicht luftdicht ab;
Fenstereinstellungen unbedingt überprüfen;



Bild 4. Fenster:

Die Fenster schließen nicht luftdicht ab;
Fenstereinstellungen unbedingt überprüfen;

Leckageortung Unterdruck



Bild 5. Fenster:

Die Fenster schließen nicht luftdicht ab;
Fenstereinstellungen unbedingt überprüfen;



Bild 6. Fenster:

Die Fenster schließen nicht luftdicht ab;
Fenstereinstellungen unbedingt überprüfen;



Bild 7. Fenster:

Die Fenster schließen nicht luftdicht ab;
Fenstereinstellungen unbedingt überprüfen;



Bild 8. Elektroinstallationen:

Die Elektroinstallationen an den Außen- sowie
Innenwänden stellen kein Problem dar.



Messergebnisse - ohne temporäre Abdichtung der Innentüre

Prüfbericht zur Bestimmung der Luftdurchlässigkeit gem. EN 13829

Objekt : TFBS für Installation und BleiAuftraggeber : Energie Tirol
 PLZ / Ort : 6020 Innsbruck Straße : Mandelsbergerstraße 12
 Datum / Zeit : 25.11.2015 / 17:10 und 25.11.2015 / 17:14
 Messgerät : blowtest 3000

Angaben zum Objekt

Meßort / Raum : Klasse 14 Gebäudehöhe : m
 Einbauort : Innentür Art der Heizung : Gas
 Netto-Grundfläche A_F : 68 m² und Lüftungsanlage :
 Raumvolumen V : 245 m³ Meßverfahren : a
 Hüllflächen A_E : m²

Messwerte (Unterdruck)

Druckdifferenz	61	50	40	30	21	11	0	0	0	0	Pa
Volumenstrom	854	766	672	573	442	301	0	0	0	0	m ³ /h

Strömungskoeffizient C_{env} = 78.80 m³/(h Paⁿ) VB_{env} = 74,3 bis 83,5
 Strömungsexponent n = 0.58 VB_n = 0,566 bis 0,600
 Leckagekoeffizient C_L = 76.10 m³/(h Paⁿ) VB_L = 71,8 bis 80,7
 Leckagestrom V_{50} = 745 m³/h
 Luftdurchlässigkeit q_{50} = - m³/(h m²)
 nettogrundflächenbezogener Leckagestrom W_{50} = 11.0 m³/(h m²)
Luftwechselrate n_{50} = 3.04 h⁻¹

Messbedingungen (Unterdruck)

Windstärke = 1 Beaufort natürliche Druckdifferenz:
 Außentemperatur = 16.0 °C $\Delta p_{0,1} = -0.47$ Pa $\Delta p_{0,2} = -0.51$ Pa
 Innentemperatur = 22.5 °C $\Delta p_{0,1+} = 0.00$ Pa $\Delta p_{0,2+} = 0.42$ Pa
 Luftdruck = 940.00 mbar $\Delta p_{0,1-} = -0.47$ Pa $\Delta p_{0,2-} = -0.53$ Pa

Messwerte (Überdruck)

Druckdifferenz	61	51	41	30	21	11	0	0	0	0	Pa
Volumenstrom	829	748	654	552	445	312	0	0	0	0	m ³ /h

Strömungskoeffizient C_{env} = 79.60 m³/(h Paⁿ) VB_{env} = 76,1 bis 83,4
 Strömungsexponent n = 0.57 VB_n = 0,555 bis 0,582
 Leckagekoeffizient C_L = 79.50 m³/(h Paⁿ) VB_L = 75,9 bis 83,2
 Leckagestrom V_{50} = 734 m³/h
 Luftdurchlässigkeit q_{50} = - m³/(h m²)
 nettogrundflächenbezogener Leckagestrom W_{50} = 10.8 m³/(h m²)
Luftwechselrate n_{50} = 3.00 h⁻¹

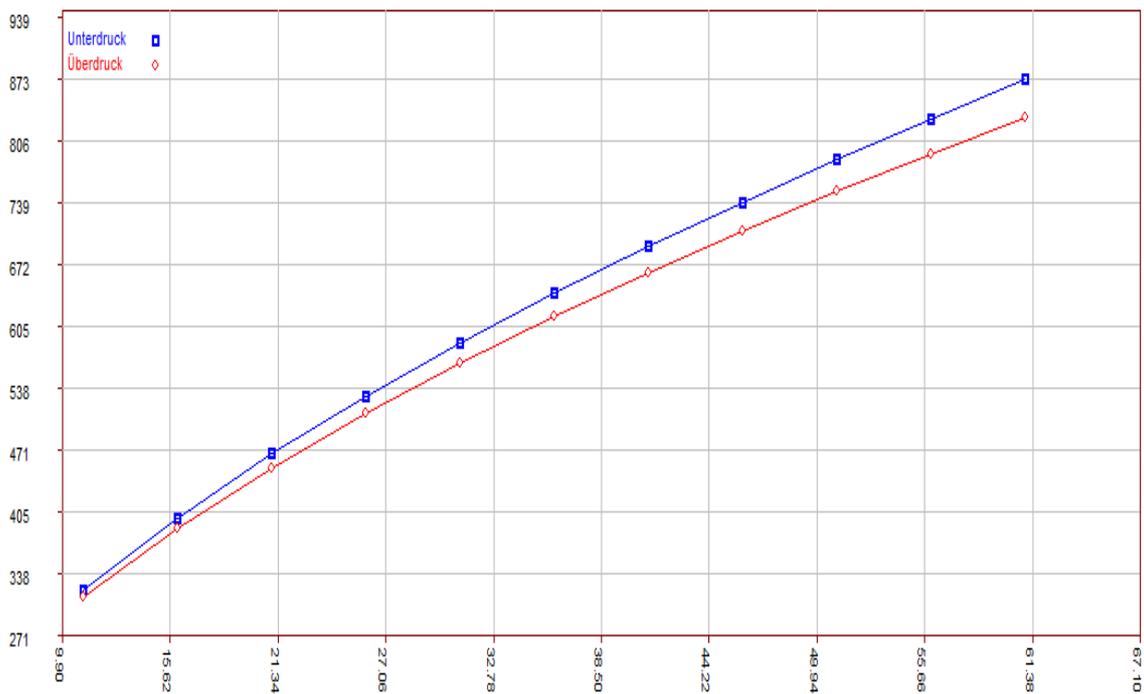
Messbedingungen (Überdruck)

Windstärke = 1 Beaufort natürliche Druckdifferenz:
 Außentemperatur = 16.0 °C $\Delta p_{0,1} = -0.47$ Pa $\Delta p_{0,2} = -0.51$ Pa
 Innentemperatur = 22.5 °C $\Delta p_{0,1+} = 0.00$ Pa $\Delta p_{0,2+} = 0.42$ Pa
 Luftdruck = 940.00 mbar $\Delta p_{0,1-} = -0.47$ Pa $\Delta p_{0,2-} = -0.53$ Pa

arithmetischer Mittelwert der Unter- und Überdruckmessung

Leckagestrom V_{50} = 739.5 m³/h
Luftwechselrate n_{50} = 3.02 h⁻¹

gemessener Volumenstrom V_m [m³/h]



Messergebnisse - mit temporärer Abdichtung der Innentüre

Prüfbericht zur Bestimmung der Luftdurchlässigkeit gem. EN 13829

Objekt : TFBS für Installation und BleiAuftraggeber : Energie Tirol
 PLZ / Ort : 6020 Innsbruck Straße : Mandelsbergerstraße 12
 Datum / Zeit : 25.11.2015 / 17:25 und 25.11.2015 / 17:29
 Messgerät : blowtest 3000

Angaben zum Objekt

Meßort / Raum : Klasse 14 Gebäudehöhe : m
 Einbauort : Innentür Art der Heizung : Gas
 Netto-Grundfläche A_F : 68 m² und Lüftungsanlage :
 Raumvolumen V : 245 m³ Meßverfahren : a
 Hüllflächen A_E : m²

Messwerte (Unterdruck)

Druckdifferenz	60	49	39	30	20	9	0	0	0	0	Pa
Volumenstrom	545	483	434	361	285	200	0	0	0	0	m ³ /h

Strömungskoeffizient C_{env} = 51.50 m³/(h Paⁿ) VB_{env} = 46,0 bis 57,6
 Strömungsexponent n = 0.57 VB_n = 0,54 bis 0,61
 Leckagekoeffizient C_L = 49.60 m³/(h Paⁿ) VB_L = 44,3 bis 55,5
 Leckagestrom V_{50} = 465 m³/h
 Luftdurchlässigkeit q_{50} = - m³/(h m²)
 nettogrundflächenbezogener Leckagestrom W_{50} = 6.84 m³/(h m²)
Luftwechselrate n_{50} = 1.90 h⁻¹

Messbedingungen (Unterdruck)

Windstärke = 1 Beaufort natürliche Druckdifferenz:
 Außentemperatur = 15.9 °C $\Delta p_{0,1} = 0.46$ Pa $\Delta p_{0,2} = 0.54$ Pa
 Innentemperatur = 22.7 °C $\Delta p_{0,1+} = 0.46$ Pa $\Delta p_{0,2+} = 0.56$ Pa
 Luftdruck = 937.00 mbar $\Delta p_{0,1-} = 0.00$ Pa $\Delta p_{0,2-} = -0.18$ Pa

Messwerte (Überdruck)

Druckdifferenz	60	50	39	29	20	10	0	0	0	0	Pa
Volumenstrom	427	378	328	276	216	137	0	0	0	0	m ³ /h

Strömungskoeffizient C_{env} = 32.00 m³/(h Paⁿ) VB_{env} = 29,6 bis 34,4
 Strömungsexponent n = 0.63 VB_n = 0,61 bis 0,66
 Leckagekoeffizient C_L = 31.90 m³/(h Paⁿ) VB_L = 29,6 bis 34,4
 Leckagestrom V_{50} = 381 m³/h
 Luftdurchlässigkeit q_{50} = - m³/(h m²)
 nettogrundflächenbezogener Leckagestrom W_{50} = 5.60 m³/(h m²)
Luftwechselrate n_{50} = 1.56 h⁻¹

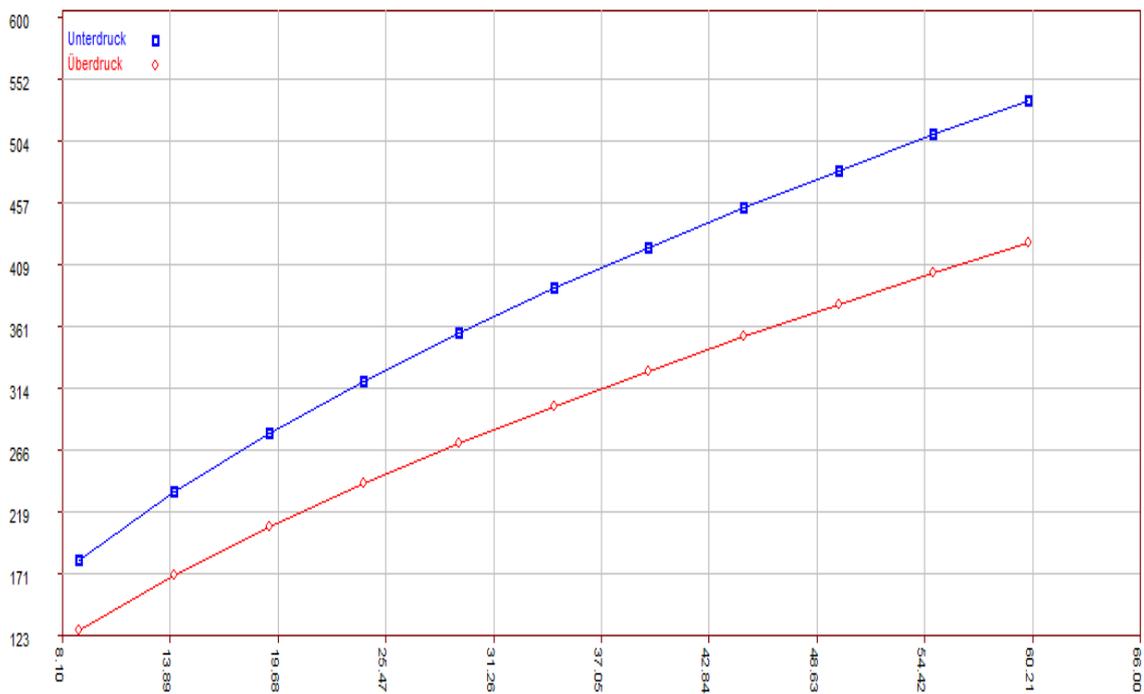
Messbedingungen (Überdruck)

Windstärke = 1 Beaufort natürliche Druckdifferenz:
 Außentemperatur = 15.9 °C $\Delta p_{0,1} = 0.46$ Pa $\Delta p_{0,2} = 0.54$ Pa
 Innentemperatur = 22.7 °C $\Delta p_{0,1+} = 0.46$ Pa $\Delta p_{0,2+} = 0.56$ Pa
 Luftdruck = 937.00 mbar $\Delta p_{0,1-} = 0.00$ Pa $\Delta p_{0,2-} = -0.18$ Pa

arithmetischer Mittelwert der Unter- und Überdruckmessung

Leckagestrom V_{50} = 423.0 m³/h
Luftwechselrate n_{50} = 1.73 h⁻¹

gemessener Volumenstrom V_m [m³/h]



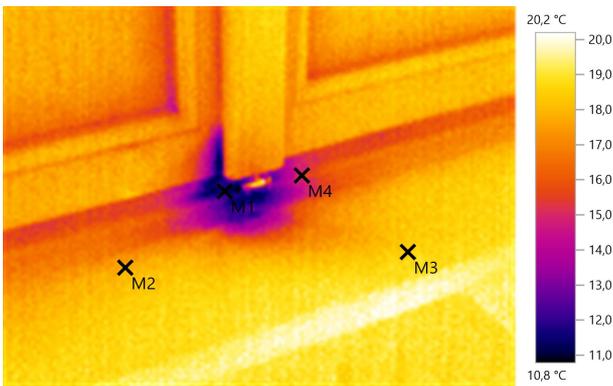
Luftdichtheitsmessung

Firma Energy Consultants
Wildermieming 12
6414 Wildermieming
Prüfer Daniel Strasser

Auftraggeber Tiroler Fachberufsschule für
Installation und Blechtechnik
Mandelsbergerstraße 12
6020 Innsbruck

Gerät testo 880-3 Serien-Nr.: 1519811

Auftrag

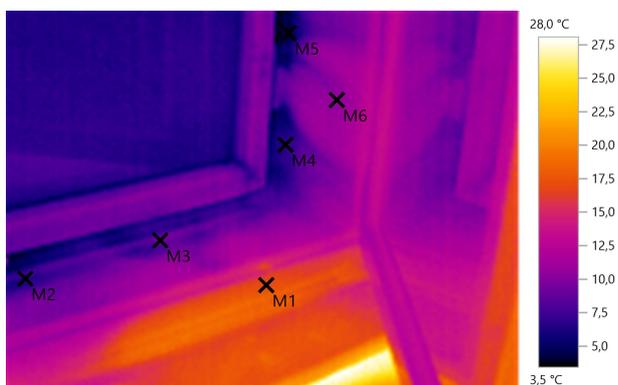


Bilddaten: **Datum:** 25.11.2015 **Emissionsgrad:** 0,94
Uhrzeit: 15:40:51 **Ref. Temp. [°C]:** 24,0
Datei: IR_00888.BMT

Bildmarkierungen:

Messobjekte	Temp. [°C]	Emiss.	Ref. Temp. [°C]	Bemerkungen
Messpunkt 1	11,6	0,94	24,0	-
Messpunkt 2	18,0	0,94	24,0	-
Messpunkt 3	18,6	0,94	24,0	-
Messpunkt 4	15,0	0,94	24,0	-

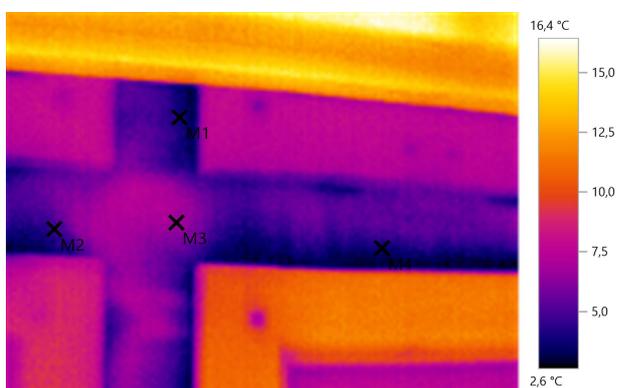
Luftdichtheitsmessung



Bilddaten:	Datum:	25.11.2015	Emissionsgrad:	0,94
	Uhrzeit:	15:50:13	Refl. Temp. [°C]:	24,0
	Datei:	IR_00891.BMT		

Bildmarkierungen:

Messobjekte	Temp. [°C]	Emiss.	Refl. Temp. [°C]	Bemerkungen
Messpunkt 1	17,2	0,94	24,0	-
Messpunkt 2	6,5	0,94	24,0	-
Messpunkt 3	8,9	0,94	24,0	-
Messpunkt 4	6,5	0,94	24,0	-
Messpunkt 5	3,7	0,94	24,0	-
Messpunkt 6	10,8	0,94	24,0	-

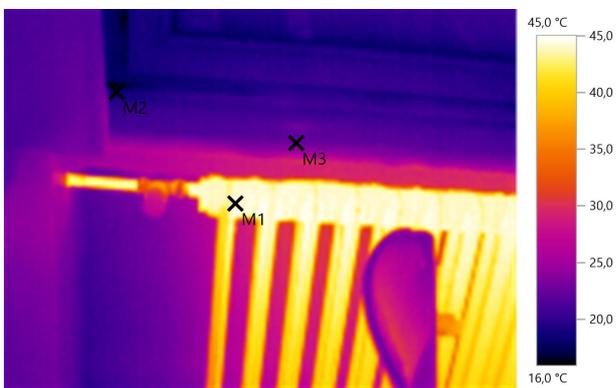


Bilddaten:	Datum:	25.11.2015	Emissionsgrad:	0,94
	Uhrzeit:	15:50:37	Refl. Temp. [°C]:	24,0
	Datei:	IR_00893.BMT		

Bildmarkierungen:

Luftdichtheitsmessung

Messobjekte	Temp. [°C]	Emiss.	Refl. Temp. [°C]	Bemerkungen
Messpunkt 1	3,7	0,94	24,0	-
Messpunkt 2	4,5	0,94	24,0	-
Messpunkt 3	6,5	0,94	24,0	-
Messpunkt 4	4,1	0,94	24,0	-



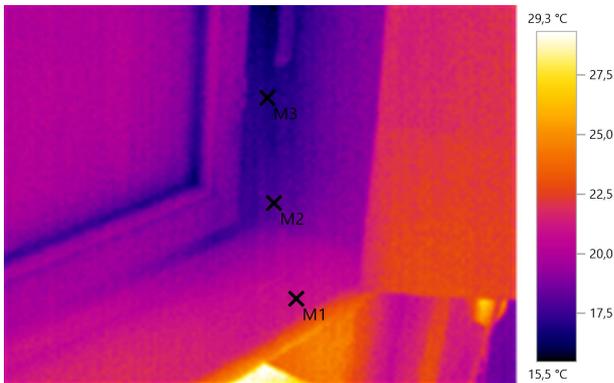
Bilddaten:	Datum:	25.11.2015	Emissionsgrad:	0,94
	Uhrzeit:	16:20:46	Refl. Temp. [°C]:	24,0
	Datei:	IR_00896.BMT		

Bildmarkierungen:

Messobjekte	Temp. [°C]	Emiss.	Refl. Temp. [°C]	Bemerkungen
Messpunkt 1	44,5	0,94	24,0	-
Messpunkt 2	18,2	0,94	24,0	-
Messpunkt 3	22,8	0,94	24,0	-

Luftdichtheitsmessung

Messobjekte	Temp. [°C]	Emiss.	Refl. Temp. [°C]	Bemerkungen
Messpunkt 3	13,5	0,94	24,0	-



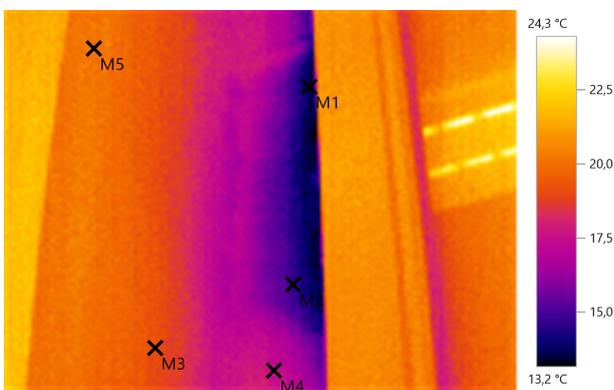
Bilddaten:	Datum:	25.11.2015	Emissionsgrad:	0,94
	Uhrzeit:	16:01:56	Refl. Temp. [°C]:	24,0
	Datei:	IV_07236.BMT		

Bildmarkierungen:

Messobjekte	Temp. [°C]	Emiss.	Refl. Temp. [°C]	Bemerkungen
Messpunkt 1	20,8	0,94	24,0	-
Messpunkt 2	17,7	0,94	24,0	-
Messpunkt 3	17,1	0,94	24,0	-

Luftdichtheitsmessung

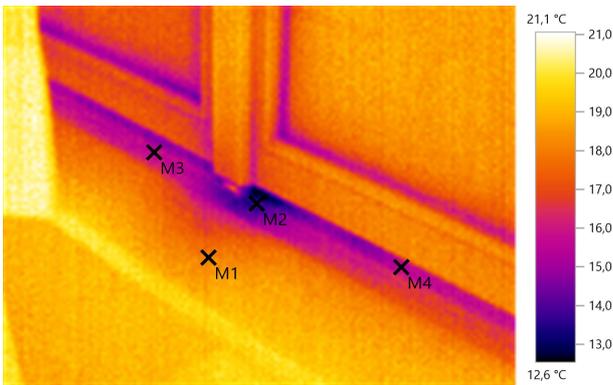
Messobjekte	Temp. [°C]	Emiss.	Refl. Temp. [°C]	Bemerkungen
Messpunkt 3	11,2	0,94	24,0	-
Messpunkt 4	12,1	0,94	24,0	-



Bilddaten:	Datum:	25.11.2015	Emissionsgrad:	0,94
	Uhrzeit:	16:02:25	Refl. Temp. [°C]:	24,0
	Datei:	IV_07239.BMT		

Bildmarkierungen:

Messobjekte	Temp. [°C]	Emiss.	Refl. Temp. [°C]	Bemerkungen
Messpunkt 1	13,8	0,94	24,0	-
Messpunkt 2	14,6	0,94	24,0	-
Messpunkt 3	19,3	0,94	24,0	-
Messpunkt 4	17,4	0,94	24,0	-
Messpunkt 5	20,0	0,94	24,0	-



Bilddaten:	Datum:	25.11.2015	Emissionsgrad:	0,94
	Uhrzeit:	16:12:39	Refl. Temp. [°C]:	24,0
	Datei:	IV_07242.BMT		

Bildmarkierungen:

Messobjekte	Temp. [°C]	Emiss.	Refl. Temp. [°C]	Bemerkungen
Messpunkt 1	18,0	0,94	24,0	-
Messpunkt 2	13,7	0,94	24,0	-
Messpunkt 3	15,7	0,94	24,0	-
Messpunkt 4	15,4	0,94	24,0	-



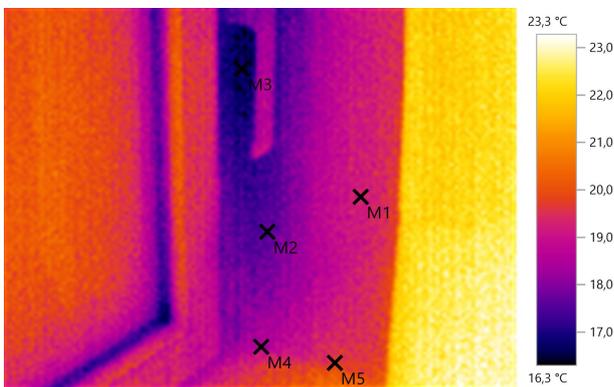
Bilddaten:	Datum:	25.11.2015	Emissionsgrad:	0,94
	Uhrzeit:	16:14:57	Refl. Temp. [°C]:	24,0
	Datei:	IV_07243.BMT		

Bildmarkierungen:

Messobjekte	Temp. [°C]	Emiss.	Refl. Temp. [°C]	Bemerkungen
Messpunkt 1	22,2	0,94	24,0	-

Luftdichtheitsmessung

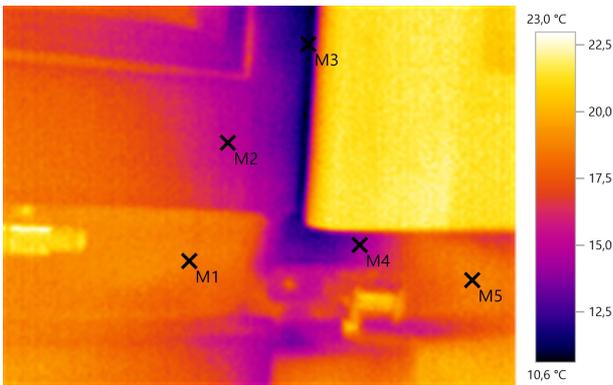
Messobjekte	Temp. [°C]	Emiss.	Refl. Temp. [°C]	Bemerkungen
Messpunkt 2	19,0	0,94	24,0	-
Messpunkt 3	20,1	0,94	24,0	-
Messpunkt 4	14,6	0,94	24,0	-
Messpunkt 5	16,1	0,94	24,0	-
Messpunkt 6	23,2	0,94	24,0	-



Bilddaten:	Datum:	25.11.2015	Emissionsgrad:	0,94
	Uhrzeit:	16:15:20	Refl. Temp. [°C]:	24,0
	Datei:	IV_07244.BMT		

Bildmarkierungen:

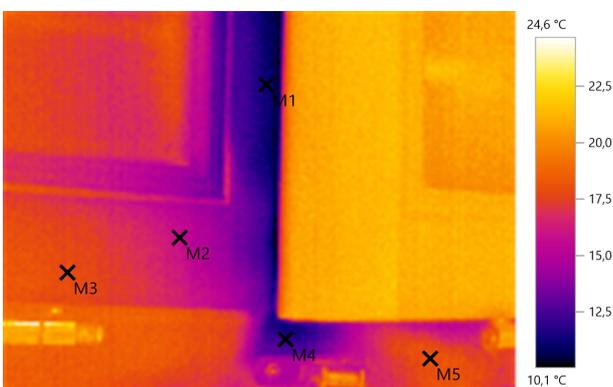
Messobjekte	Temp. [°C]	Emiss.	Refl. Temp. [°C]	Bemerkungen
Messpunkt 1	19,2	0,94	24,0	-
Messpunkt 2	17,5	0,94	24,0	-
Messpunkt 3	17,1	0,94	24,0	-
Messpunkt 4	18,6	0,94	24,0	-
Messpunkt 5	19,6	0,94	24,0	-



Bilddaten:	Datum:	25.11.2015	Emissionsgrad:	0,94
	Uhrzeit:	16:56:40	Refl. Temp. [°C]:	24,0
	Datei:	IV_07246.BMT		

Bildmarkierungen:

Messobjekte	Temp. [°C]	Emiss.	Refl. Temp. [°C]	Bemerkungen
Messpunkt 1	18,7	0,94	24,0	-
Messpunkt 2	14,9	0,94	24,0	-
Messpunkt 3	11,2	0,94	24,0	-
Messpunkt 4	14,0	0,94	24,0	-
Messpunkt 5	18,6	0,94	24,0	-

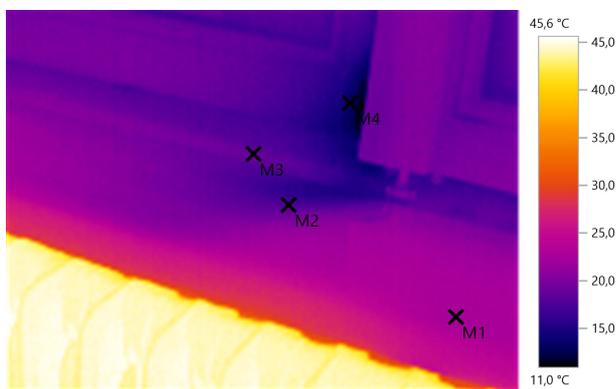


Bilddaten:	Datum:	25.11.2015	Emissionsgrad:	0,94
	Uhrzeit:	16:56:54	Refl. Temp. [°C]:	24,0
	Datei:	IV_07247.BMT		

Bildmarkierungen:

Luftdichtheitsmessung

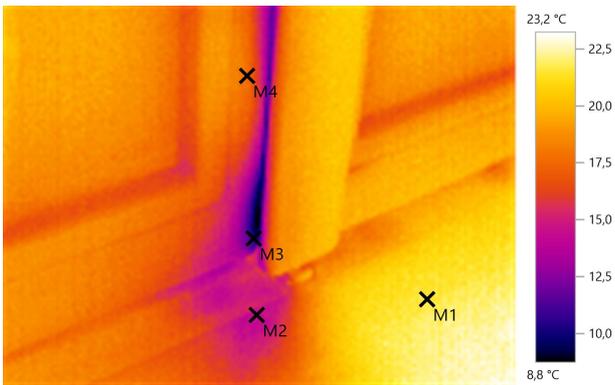
Messobjekte	Temp. [°C]	Emiss.	Refl. Temp. [°C]	Bemerkungen
Messpunkt 1	10,9	0,94	24,0	-
Messpunkt 2	15,7	0,94	24,0	-
Messpunkt 3	18,0	0,94	24,0	-
Messpunkt 4	11,9	0,94	24,0	-
Messpunkt 5	18,5	0,94	24,0	-



Bilddaten:	Datum:	25.11.2015	Emissionsgrad:	0,94
	Uhrzeit:	17:00:15	Refl. Temp. [°C]:	24,0
	Datei:	IV_07248.BMT		

Bildmarkierungen:

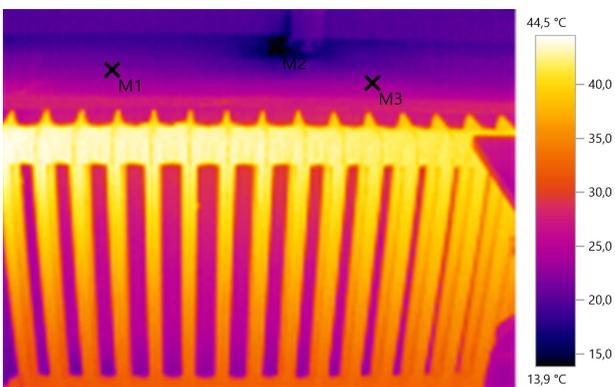
Messobjekte	Temp. [°C]	Emiss.	Refl. Temp. [°C]	Bemerkungen
Messpunkt 1	22,5	0,94	24,0	-
Messpunkt 2	17,6	0,94	24,0	-
Messpunkt 3	18,9	0,94	24,0	-
Messpunkt 4	13,4	0,94	24,0	-



Bilddaten:	Datum:	25.11.2015	Emissionsgrad:	0,94
	Uhrzeit:	17:01:16	Refl. Temp. [°C]:	24,0
	Datei:	IV_07249.BMT		

Bildmarkierungen:

Messobjekte	Temp. [°C]	Emiss.	Refl. Temp. [°C]	Bemerkungen
Messpunkt 1	21,6	0,94	24,0	-
Messpunkt 2	14,5	0,94	24,0	-
Messpunkt 3	10,1	0,94	24,0	-
Messpunkt 4	18,1	0,94	24,0	-



Bilddaten:	Datum:	25.11.2015	Emissionsgrad:	0,94
	Uhrzeit:	17:09:19	Refl. Temp. [°C]:	24,0
	Datei:	IV_07252.BMT		

Bildmarkierungen:

Messobjekte	Temp. [°C]	Emiss.	Refl. Temp. [°C]	Bemerkungen
Messpunkt 1	21,9	0,94	24,0	-

Luftdichtheitsmessung

Messobjekte	Temp. [°C]	Emiss.	Refl. Temp. [°C]	Bemerkungen
Messpunkt 2	14,3	0,94	24,0	-
Messpunkt 3	22,8	0,94	24,0	-

26.11.2015 , _____

Daniel Strasser

Auswertung Berufsschule Metall Endbericht

LIST engineering OG

Ingenieurbüro
6020 Innsbruck, Templstraße 9a

Auditor nach dem Energieeffizienzgesetz
Zertifizierter Energieberater nach EBA



1 Inhaltsverzeichnis

3	AUSGANGSSITUATION / AUFTRAG / DATEN:	6
3.1	Untersuchungszeitraum /Auftrag:	6
3.1.1	Raum 16 Messwerte:	6
3.1.2	Raum 14 Messwerte:	6
4	ÜBERSICHT ÜBER DIE RAUMBELEGUNG:	7
5	BLOCK 1 2016/17:	8
5.1	Klassenklima Vergleich:	8
5.2	Häufigkeit gemessener CO2 Werte:	9
5.3	CO2 Klasse A, R14, Zeitraum1:	10
5.4	CO2 Klasse A, R16, Zeitraum2:	10
5.5	CO2 Klasse B, R16, Zeitraum1:	11
5.6	CO2 Klasse B, R14, Zeitraum2:	11
5.7	Erklärungen:	12
6	BLOCK 2 2016/17:	13
6.1	Klassenklima Vergleich:	13
6.2	Häufigkeit gemessener4 CO2 Werte:	14
6.3	CO2 Klasse C, R14, Zeitraum1:	15
6.4	CO2 Klasse C, R16, Zeitraum2:	15
6.5	CO2 Klasse D, R16, Zeitraum1:	16
6.6	CO2 Klasse D R14, Zeitraum2:	16
7	BLOCK 3 2016/17:	17
7.1	Klassenklima Vergleich:	17
7.2	Häufigkeit gemessener4 CO2 Werte:	18
7.3	CO2 Klasse E R14, Zeitraum1:	19
7.4	Raumtemperatur Klasse E, R14, Zeitraum1:	19
7.5	CO2 Klasse E, R16, Zeitraum2:	20
7.6	Raumtemperatur Klasse E, R16, Zeitraum2:	20
8	BLOCK 4 2016/17:	21
8.1	Klassenklima Vergleich:	21
8.2	Häufigkeit gemessener CO2 Werte:	22
8.3	CO2 Klasse G, R14, Zeitraum1:	23
8.4	CO2 Klasse G, R16, Zeitraum2:	23
8.5	CO2 Klasse F, R16, Zeitraum1:	24

8.6 CO2 Klasse F, R14, Zeitraum2.....	24
9 BLOCK 1 2017/18:.....	25
9.1 Klassenklima Vergleich.....	25
9.2 Häufigkeit gemessener4 CO2 Werte.....	26
9.3 Raumtemperatur Klasse B, R14, Zeitraum2.....	27
9.4 CO2 Klasse B, R14, Zeitraum2.....	27
9.5 CO2 Klasse B, R16, Zeitraum1.....	28
9.6 Raumtemperatur Klasse B, R16, Zeitraum1.....	28
10 BLOCK 2 2017/18.....	29
10.1 Klassenklima Vergleich.....	29
10.2 Häufigkeit gemessener4 CO2 Werte.....	30
10.3 CO2 Klasse C, R14, Zeitraum1.....	31
10.4 CO2 Klasse C, R16, Zeitraum2.....	31
10.5 CO2 Klasse D, R16, Zeitraum1.....	32
10.6 CO2 Klasse D, R14, Zeitraum2.....	32
11 BLOCK 3 2017/18.....	33
11.1 Klassenklima Vergleich.....	33
11.2 Häufigkeit gemessener4 CO2 Werte.....	34
11.3 CO2 Klasse E, R14, Zeitraum1.....	35
11.4 CO2 Klasse E, R16, Zeitraum2.....	35
11.5 CO2 Klasse F, R16, Zeitraum1.....	36
11.6 CO2 Klasse F, R14, Zeitraum2.....	36
.....	36
12 BLOCK 4 2017/18.....	37
12.1 Klassenklima Vergleich.....	37
12.2 Häufigkeit gemessener4 CO2 Werte.....	38
12.3 CO2 Klasse H, R14, Zeitraum2.....	39
12.4 CO2 Klasse H, R16, Zeitraum1.....	39
12.5 Raumtemperatur Klasse H, R14, Zeitraum 2.....	40
12.6 Raumtemperatur Klasse H, R16, Zeitraum1.....	40
13 ENERGIEVERBRAUCH DER KOMFORTLÜFTUNGSANLAGE.....	41
13.1 Energieverbrauch Komfortlüftung als Tabelle.....	41
13.2 Energieverbrauch Komfortlüftung als Graf.....	41
14 MESSSYSTEM UND SENSOREN.....	42

14.1 list analyzer:.....	42
14.1.1 FUNKTIONEN:.....	42
14.1.2 Beispiel für Visualisierung:.....	43
14.2 CO ₂ , Temperatur, Feuchte Sensor Datenblatt:.....	44

2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht über Raumbelugung.....	7
Abbildung 2: Über- Unterschreitungen CO ₂ , Feuchte, Temperatur, Lehrgang 1 2016/17.....	8
Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung CO ₂ , Lehrgang 1 2016/17.....	9
Abbildung 4: CO ₂ in ppm, R14, ZR1.....	10
Abbildung 5: CO ₂ in ppm, R16, ZR2.....	10
Abbildung 6: CO ₂ in ppm, R16, ZR1.....	11
Abbildung 7: CO ₂ in ppm, R14, ZR2.....	11
Abbildung 8: Über- Unterschreitungen CO ₂ , Feuchte, Temperatur, Lehrgang 2 2016/17.....	13
Abbildung 9: Häufigkeitsverteilung CO ₂ , Lehrgang 2 2016/17.....	14
Abbildung 10: CO ₂ in ppm, R14, ZR1.....	15
Abbildung 11: CO ₂ in ppm, R16, ZR2.....	15
Abbildung 12: CO ₂ in ppm, R16, ZR1.....	16
Abbildung 13: CO ₂ in ppm, R14, ZR2.....	16
Abbildung 14: Über- Unterschreitungen CO ₂ , Feuchte, Temperatur, Lehrgang 3 2016/17.....	17
Abbildung 15: Häufigkeitsverteilung CO ₂ , Lehrgang 3 2016/17.....	18
Abbildung 16: CO ₂ in ppm, R14, ZR1.....	19
Abbildung 17: Raumtemperatur in °C *10, , R14, Zeitraum1.....	19
Abbildung 18: CO ₂ in ppm, R16, ZR2.....	20
Abbildung 19: Raumtemperatur in °C *10, R16, Zeitraum2.....	20
Abbildung 20: Klassenklima Vergleich 2016/16 Lehrgang 4.....	21
Abbildung 21: Häufigkeitsverteilung CO ₂ , Lehrgang 4 2016/17.....	22
Abbildung 22: CO ₂ in ppm, R14, ZR1.....	23
Abbildung 23: CO ₂ in ppm, R16, ZR2.....	23
Abbildung 24: CO ₂ in ppm, R16, ZR1.....	24

Abbildung 25: CO2 in ppm R14, ZR2.....	24
Abbildung 26: Über- Unterschreitungen CO2, Feuchte, Temperatur, Lehrgang 1 2017/18.....	25
Abbildung 27: Häufigkeitsverteilung CO2, Lehrgang 1 2017/18.....	26
Abbildung 28: Raumtemperatur C * 10, R14, Zeitraum2.....	27
Abbildung 29: CO2 in ppm, R14, Zeitraum2.....	27
Abbildung 30: CO2 in ppm, R16, Zeitraum1.....	28
Abbildung 31: Raumtemperatur C * 10, R16, Zeitraum1.....	28
Abbildung 32: Über- Unterschreitungen CO2, Feuchte, Temperatur, Lehrgang 1 2017/18.....	29
Abbildung 33: Häufigkeitsverteilung CO2, Lehrgang 1 2017/18.....	30
Abbildung 34: CO2 in ppm, R14, ZR1.....	31
Abbildung 35: CO2 in ppm, R16, ZR2.....	31
Abbildung 36: CO2 in ppm, R16, ZR1.....	32
Abbildung 37: CO2 in ppm, R14, ZR2.....	32
Abbildung 38: Über- Unterschreitungen CO2, Feuchte, Temperatur, Lehrgang 3 2017/18.....	33
Abbildung 39: Häufigkeitsverteilung CO2, Lehrgang 3 2017/18.....	34
Abbildung 40: CO2 in ppm, R14 Zeitraum1.....	35
Abbildung 41: CO2 in ppm, R16 Zeitraum2.....	35
Abbildung 42: CO2 in ppm, R16 Zeitraum1.....	36
Abbildung 43: CO2 in ppm, R14 Zeitraum2.....	36
Abbildung 44: Über- Unterschreitungen CO2, Feuchte, Temperatur, Lehrgang 1 2016/17.....	37
Abbildung 45: Häufigkeitsverteilung CO2, Lehrgang 1 2016/17.....	38
Abbildung 46: CO2 in ppm, R14 Zeitraum2.....	39
Abbildung 47: CO2 in ppm, R16 Zeitraum1.....	39
Abbildung 48: Raumtemperatur C * 10, R14, Zeitraum2.....	40
Abbildung 49: Raumtemperatur C * 10, R16, Zeitraum1.....	40
Abbildung 50: Elektrische Energie aufgeteilt auf Lehrgänge.....	41
Abbildung 51: Energieverbrauch über den Beobachtungszeitraum.....	41
Abbildung 52: list analyzer.....	42
Abbildung 53: Visualisierungsbeispiel.....	43
Abbildung 54: CO2, Temperatur, Feuchte Sensor Datenblatt.....	45

3 AUSGANGSSITUATION / AUFTRAG / DATEN:

3.1 Untersuchungszeitraum /Auftrag:

Die Berufsschule Metall ist Teil eines Forschungsprojektes, in welchem in zwei Klassenräumen die Daten des Raumklimas aufgezeichnet werden. Der Lernerfolg wird mit dem Raumklima verglichen.

Pro Lehrgang werden in zwei räumlich nahezu identischen Klassenräumen zwei parallele Klassen unterrichtet. Diese wechseln zur Halbzeit des Lehrganges die Klassenräume. Die beiden Halbzeiten werden hier als Zeitraum 1 und Zeitraum2 bezeichnet.

Der Klassenraum R 14, wird herkömmlich durch Öffnen der Fenster gelüftet. Der zweite Klassenraum, R16, ist mit einer Komfortlüftungsanlage ausgestattet. So ergibt sich, dass jede Klasse im Lehrgang ca. fünf Wochen in einem Klassenraum mit Komfortlüftung und ca. fünf Wochen in einem Klassenraum mit Fensterlüftung unterrichtet wird.

In Abb. 1, sind die Belegzeiten Klasse A und B mit den Räumen R14 und R16 als Übersicht dargestellt.

Beide Räume wurden mit LIST analyzern ausgestattet, die Raumklimadaten wurden erfasst und der Schule online zur Verfügung gestellt.

Als Untersuchungszeitraum wurden die Schuljahre 2016/17 und 2017/18 festgelegt.

3.1.1 Raum 16 Messwerte:

- Energieverbrauch der Komfortlüftungsanlage: L1, L2, L3
- CO2 im Raum
- Luftfeuchte im Raum
- Temperatur im Raum
- Ansaugtemperatur der Komfortlüftungsanlage

3.1.2 Raum 14 Messwerte:

- CO2 im Raum
- Luftfeuchte im Raum
- Temperatur im Raum

4 ÜBERSICHT ÜBER DIE RAUMBELEGUNG:

2016/17

Dauer Lehrgang	Gruppenwechsel	R14	R16		
12.09.16					
	10.10.16	A	B	ZR1	Lehrgang1
	11.10.16	B	A	ZR2	
18.11.16					
21.11.16		C	D	ZR1	Lehrgang2
	18.12.16	D	C	ZR2	
	19.12.16				
10.02.17		E	F	ZR1	Lehrgang3
20.02.17	23.03.17	F	E	ZR2	
	04.04.17				
28.04.17		G	H	ZR1	Lehrgang4
02.05.17	05.06.17	H	G	ZR2	
	06.06.17				
07.07.17					

2017/18

Dauer Lehrgang	Gruppenwechsel	R14	R16		
11.09.17					
	10.10.17	A	B	ZR1	Lehrgang1
	11.10.17	B	A	ZR2	
17.11.17					
20.11.17		C	D	ZR1	Lehrgang2
	18.12.17	D	C	ZR2	
	19.12.17				
07.02.18		E	F	ZR1	Lehrgang3
19.02.18	23.03.18	F	E	ZR2	
	04.04.18				
27.04.18		G	H	ZR1	Lehrgang4
02.05.18	05.06.18	H	G	ZR2	
	06.06.18				
06.07.18					

Abbildung 1: Übersicht über Raumbellegung

5 BLOCK 1 2016/17:

5.1 Klassenklima Vergleich

Klassenklima Vergleich

 LIST engineering

Block1_201617

	R14	R16	
Unterrichtszeit Messdauer	235,6	234,2	Stunden
CO2:			
Überschreitung von 1000 ppm	160,2	17,2	Stunden
	68,0	7,3	%
Überschreitung von 1500 ppm	34,6	0,0	Stunden
	14,7	0,0	%
Spitzenwerte über 2000 ppm	5,5	0,0	Stunden
	2,3	0,0	%
Feuchte:			
Überschreitung von 50,0 % rF	2,3	0,0	Stunden
	1,0	0,0	%
Unterschreitung von 40 % rF	117,7	155,7	Stunden
	49,9	66,5	%
Unterschreitung von 30 % rF	16,4	36,9	Stunden
	7,0	15,8	%
Temperatur:			
Überschreitung von 23 Grad C	136,0	70,8	Stunden
	57,7	30,2	%
Unterschreitung von 21 Grad C	2,7	2,9	Stunden
	1,1	1,2	%

Abbildung 2: Über- Unterschreitungen CO2, Feuchte, Temperatur, Lehrgang 1 2016/17

5.2 Häufigkeit gemessener CO2 Werte

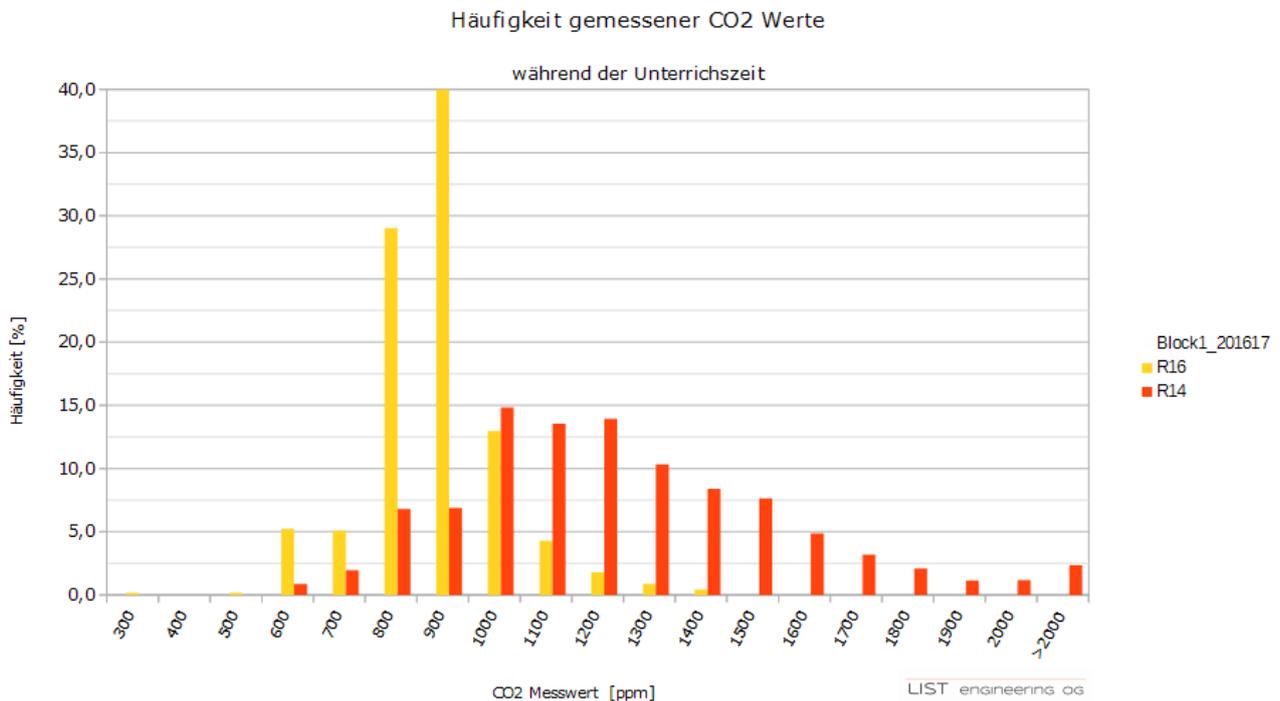


Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung CO2, Lehrgang 1 2016/17

Die gelben Balken stellen die Häufigkeitsverteilung der CO2 Werte im Raum R 16, die roten Balken die Häufigkeitsverteilung der CO2 Werte im Raum R 14 dar. Die Häufigkeit wird in Prozent der Messdauer während des Unterrichtes angegeben. Auf der X-Achse sind die CO2 Werte in ppm angegeben. Auf der Y Achse die Häufigkeit der Werte In Prozent der Messdauer.

Beispielsweise geben die beiden Balken beim Wert 900 ppm an, dass im Raum R16 während 40% der Unterrichtszeit der CO2 Wert 900 ppm überschritten aber unter 1000 ppm geblieben ist, also zwischen 900 und 1000ppm lag. Der rote Balken zeigt, dass im Raum R14 während 7% der Unterrichtszeit diese Werte erreicht wurden.

5.3 CO2 Klasse A, R14, Zeitraum1

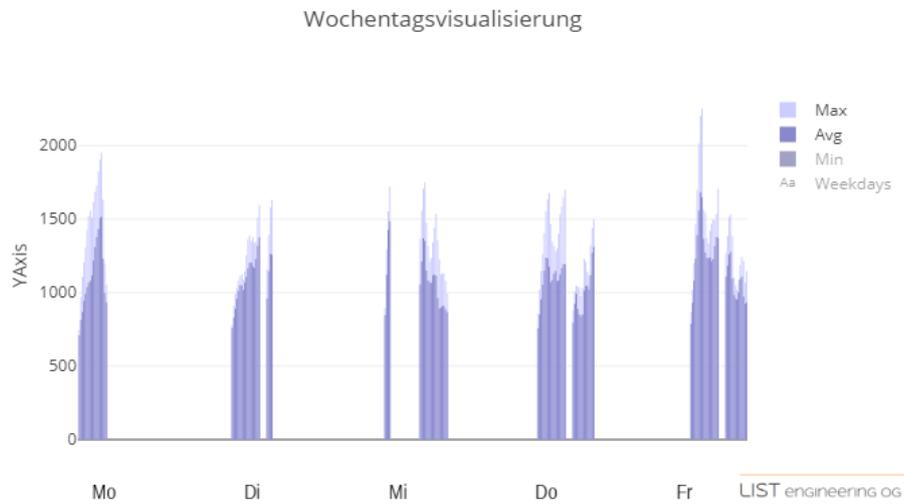


Abbildung 4: CO2 in ppm, R14, ZR1

5.4 CO2 Klasse A, R16, Zeitraum2

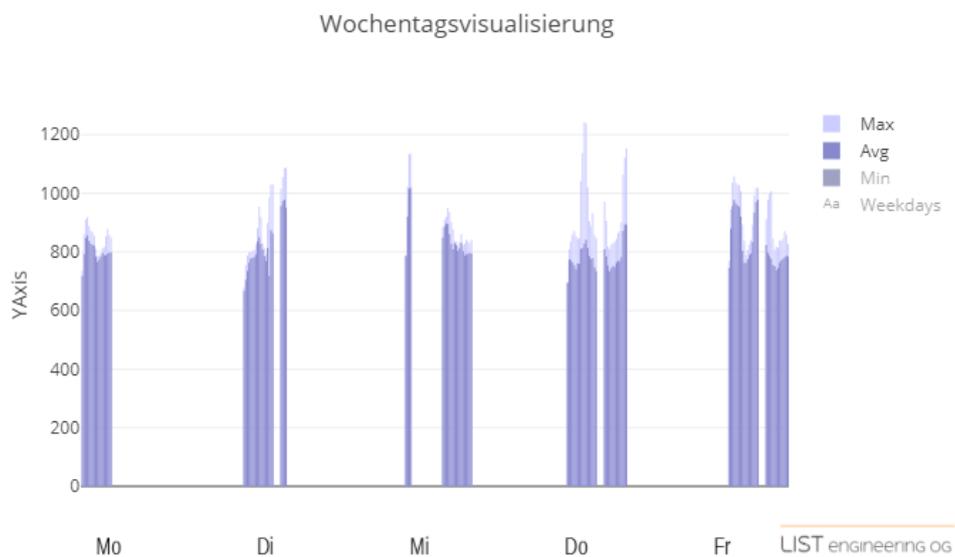


Abbildung 5: CO2 in ppm, R16, ZR2

5.5 CO2 Klasse B, R16, Zeitraum1

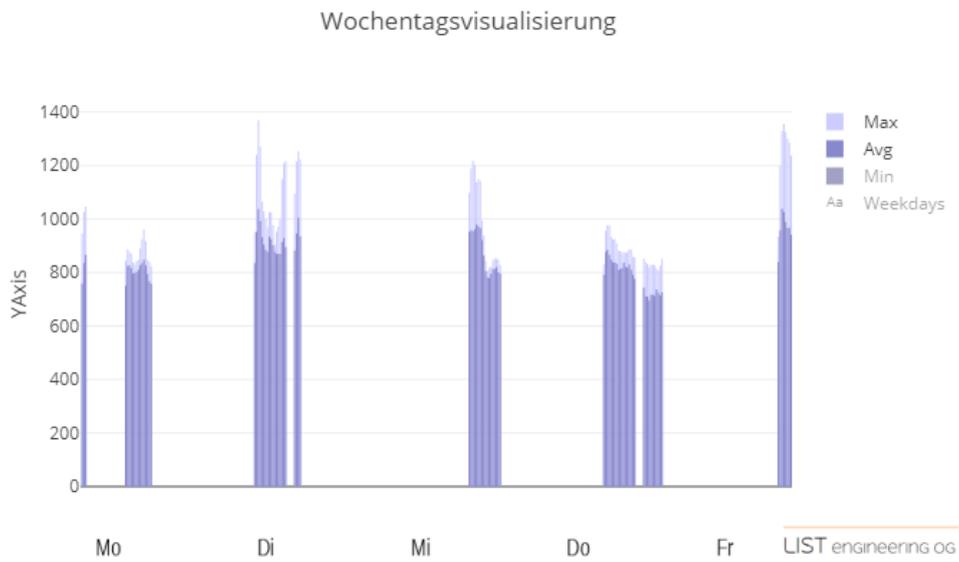


Abbildung 6: CO2 in ppm, R16, ZR1

5.6 CO2 Klasse B, R14, Zeitraum2

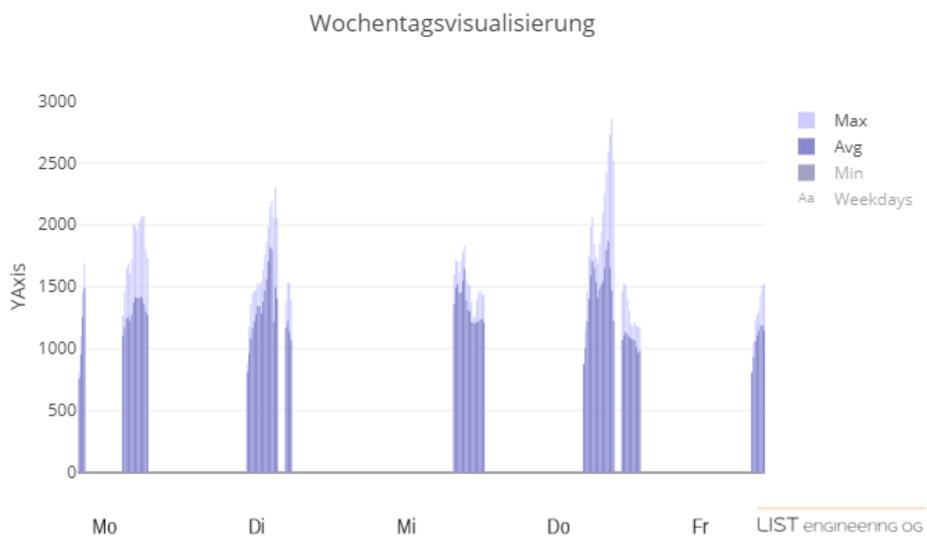


Abbildung 7: CO2 in ppm, R14, ZR2

5.7 Erklärungen

Bei allen acht Lehrgängen (je zwei Klassenräume) wurde die Häufigkeitsverteilung CO₂ in beiden Räumen dargestellt. Insgesamt wurden 16 Klassen untersucht.

Zur näheren Untersuchung der CO₂ Werte wurden diese in der Wochentagsvisualisierung dargestellt. Das heißt, dass die CO₂ Werte aller (ca. fünf) Unterrichtswochen übereinander gelegt, gemittelt und als *Avg* Wert dargestellt wurden. Der Maximalwert wurde als *Max* Wert Kurve dargestellt.

Bei drei Klassen wurde in gleicher Weise die Raumtemperatur dargestellt. Bei der Raumtemperatur wurde zusätzlich die minimale Raumtemperatur als *Min* Wert visualisiert.

Achtung: Die Skalierung der Diagramme wurde so gewählt, dass eine optimale Auflösung erzielt wurde. Beim Vergleich sind daher die Werte auf der Y-Achse (CO₂) zu beachten!

Beispiel:

Die Abbildung 1 (Raumbelegung) zeigt, dass im Jahr 2016/17 die Klasse A im Zeitraum 1 (vom 12.9.2016 bis 10.10.2016) den Raum R14 benutzte. Im Zeitraum 2 (vom 11.10.2016 bis 18.11.2016) wurde die Klasse A in den Raum R16 verlegt.

Die Abbildung 4 und die Abbildung 5 zeigen die Maximalwerte und die Mittelwerte der CO₂ Belastung für die Klasse A.

Abbildung 4 zeigt die Belastung im ZR 1 im Raum R14. Dabei ist beispielsweise am Freitag Vormittag zu erkennen, dass der CO₂ Maximalwert 2500 ppm erreichte. Der Mittelwert über die fünf Wochen bei ca. 1700 ppm lag.

Abbildung 5: Im Zeitraum 2 wurde die Klasse A im Raum R16 unterrichtet. Dort lag am Freitag Vormittag der Maximalwert CO₂ knapp über 1000 ppm. Der Mittelwert lag durchgängig unter 1000 ppm.

6 BLOCK 2 2016/17:

6.1 Klassenklima Vergleich

Klassenklima Vergleich

 LIST engineering

Block2_201617

	R14	R16	
Unterrichtszeit Messdauer	245,0	250,4	Stunden
CO2:			
Überschreitung von 1000 ppm	216,3 88,3	79,5 31,7	Stunden %
Überschreitung von 1500 ppm	141,1 57,6	1,3 0,5	Stunden %
Spitzenwerte über 2000 ppm	57,1 23,3	0,0 0,0	Stunden %
Feuchte:			
Überschreitung von 50,0 % rF	0,0 0,0	0,0 0,0	Stunden %
Unterschreitung von 40 % rF	230,8 94,2	248,4 99,2	Stunden %
Unterschreitung von 30 % rF	128,0 52,2	202,6 80,9	Stunden %
Temperatur:			
Überschreitung von 23 Grad C	138,4 56,5	2,0 0,8	Stunden %
Unterschreitung von 21 Grad C	0,5 0,2	32,6 13,0	Stunden %

Abbildung 8: Über- Unterschreitungen CO2, Feuchte, Temperatur, Lehrgang 2 2016/17

6.2 Häufigkeit gemessener CO₂ Werte

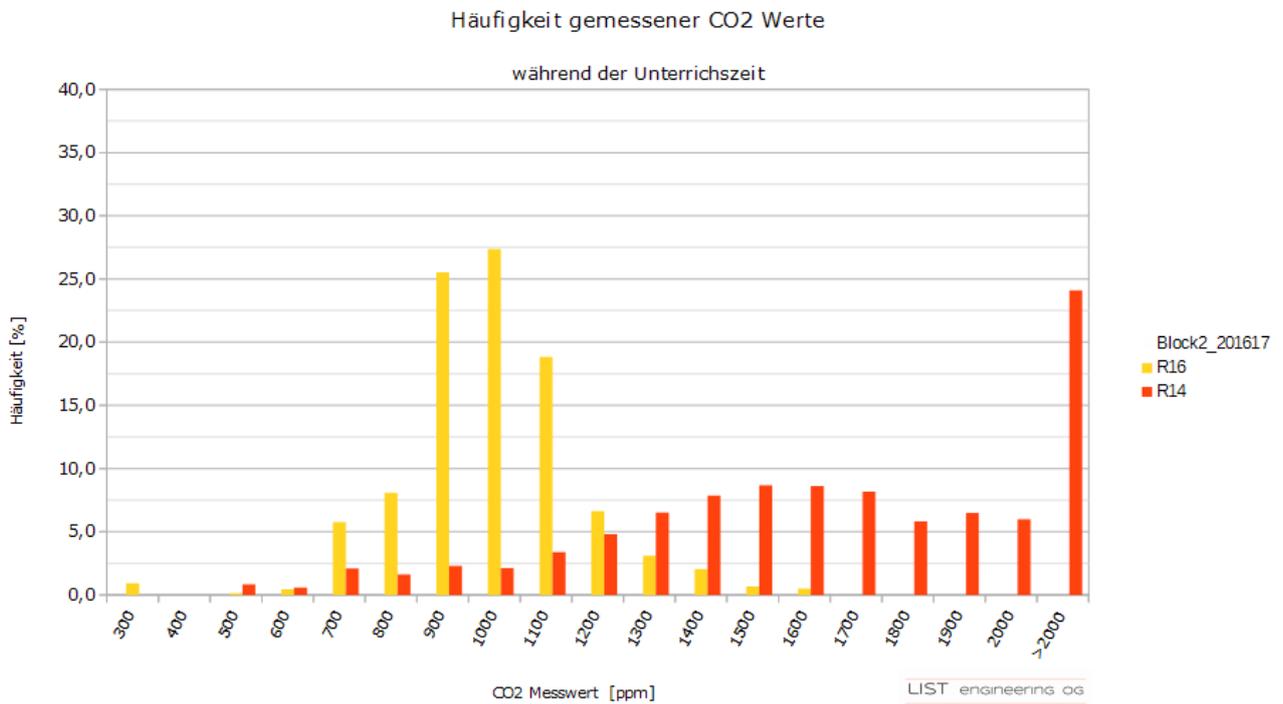


Abbildung 9: Häufigkeitsverteilung CO₂, Lehrgang 2 2016/17

6.3 CO2 Klasse C, R14, Zeitraum1

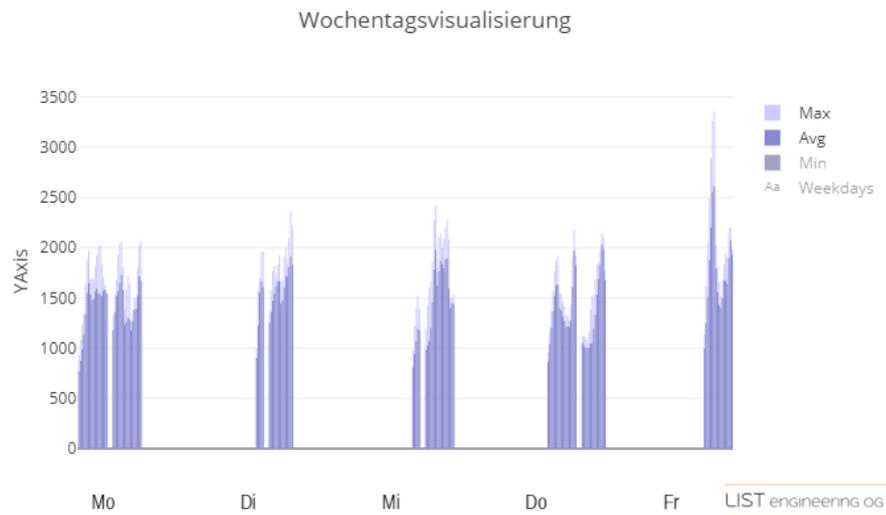


Abbildung 10: CO2 in ppm, R14, ZR1

6.4 CO2 Klasse C, R16, Zeitraum2



Abbildung 11: CO2 in ppm, R16, ZR2

6.5 CO2 Klasse D, R16, Zeitraum1

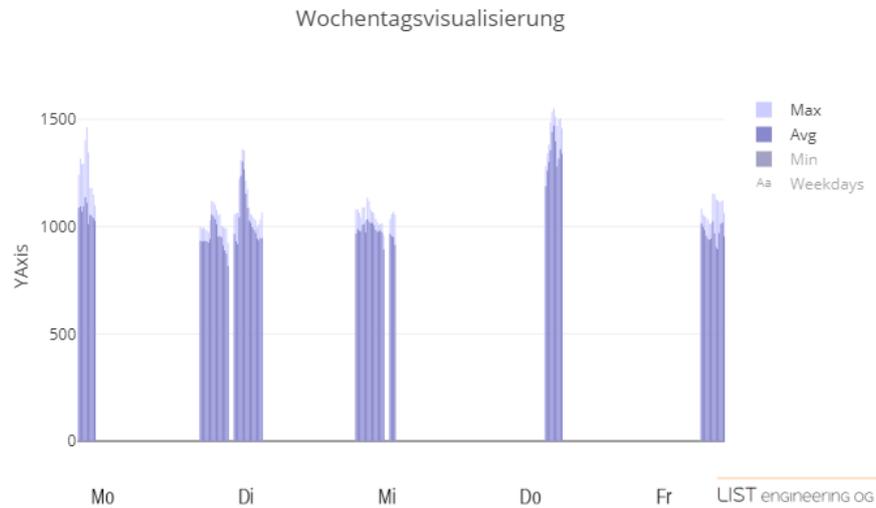


Abbildung 12: CO2 in ppm, R16, ZR1

6.6 CO2 Klasse D R14, Zeitraum2

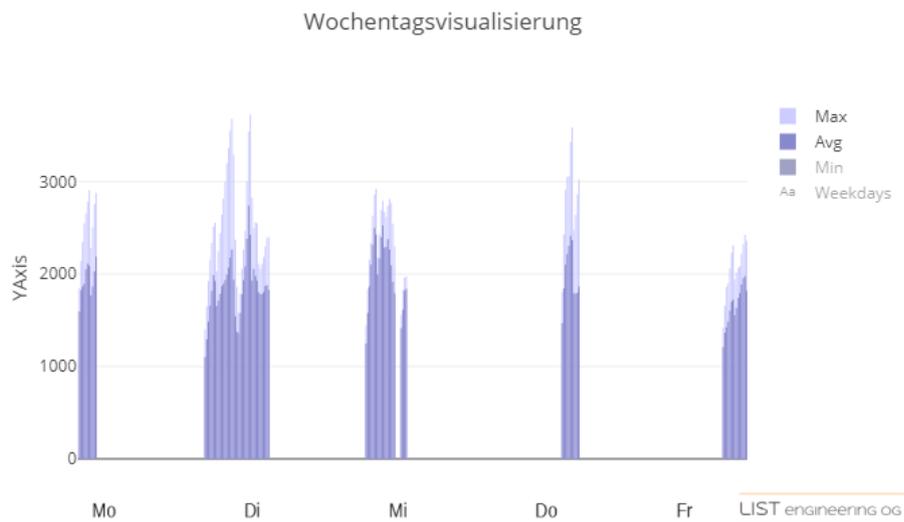


Abbildung 13: CO2 in ppm, R14, ZR2

7 BLOCK 3 2016/17:

7.1 Klassenklima Vergleich

Klassenklima Vergleich

 LIST engineering

Block3_201617

	R14	R16	
Unterrichtszeit Messdauer	182,0	223,0	Stunden
CO2:			
Überschreitung von 1000 ppm	158,2 86,9	110,4 49,5	Stunden %
Überschreitung von 1500 ppm	79,3 43,5	0,0 0,0	Stunden %
Spitzenwerte über 2000 ppm	21,9 12,0	0,0 0,0	Stunden %
Feuchte:			
Überschreitung von 50,0 % rF	0,0 0,0	0,0 0,0	Stunden %
Unterschreitung von 40 % rF	173,8 95,5	222,7 99,9	Stunden %
Unterschreitung von 30 % rF	62,5 34,3	91,1 40,8	Stunden %
Temperatur:			
Überschreitung von 23 Grad C	168,0 92,3	151,8 68,0	Stunden %
Unterschreitung von 21 Grad C	0,0 0,0	0,1 0,0	Stunden %

Abbildung 14: Über- Unterschreitungen CO2, Feuchte, Temperatur, Lehrgang 3 2016/17

7.2 Häufigkeit gemessener CO₂ Werte

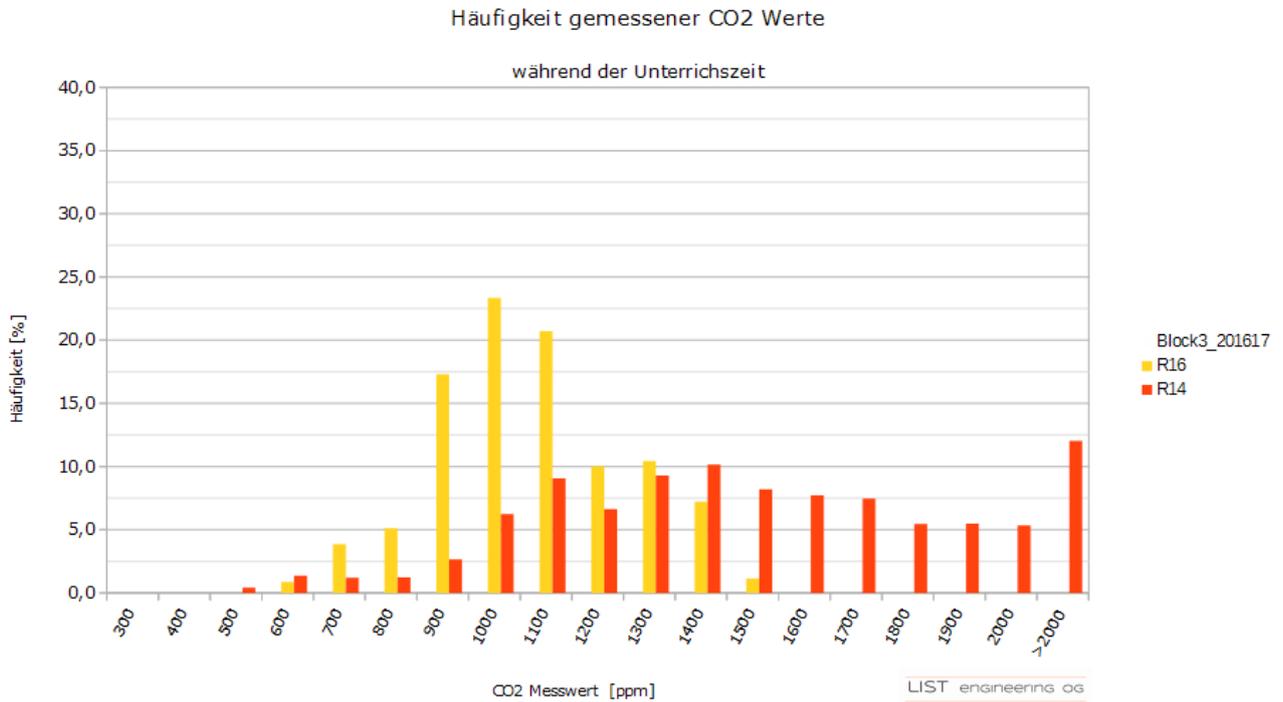


Abbildung 15: Häufigkeitsverteilung CO₂, Lehrgang 3 2016/17

7.3 CO2 Klasse E R14, Zeitraum1

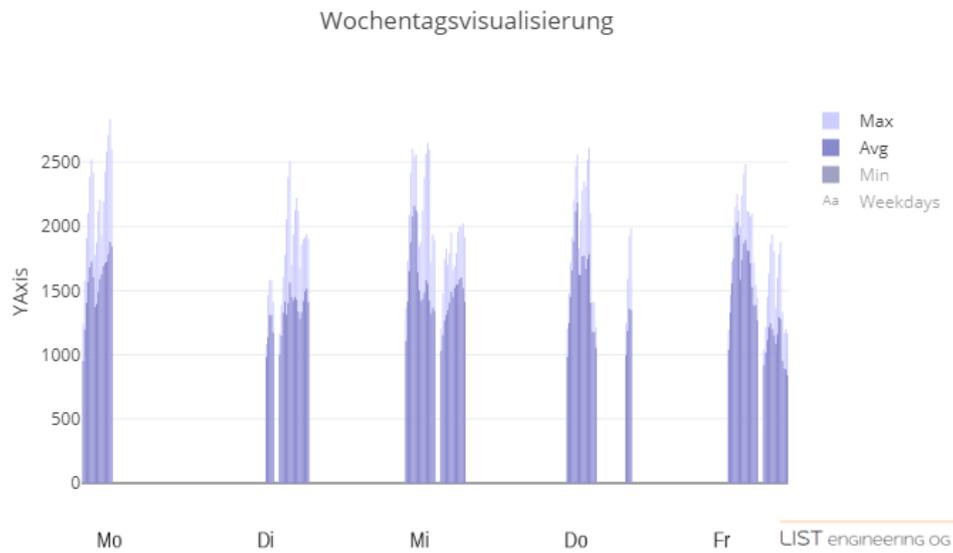


Abbildung 16: CO2 in ppm, R14, ZR1

7.4 Raumtemperatur Klasse E, R14, Zeitraum1

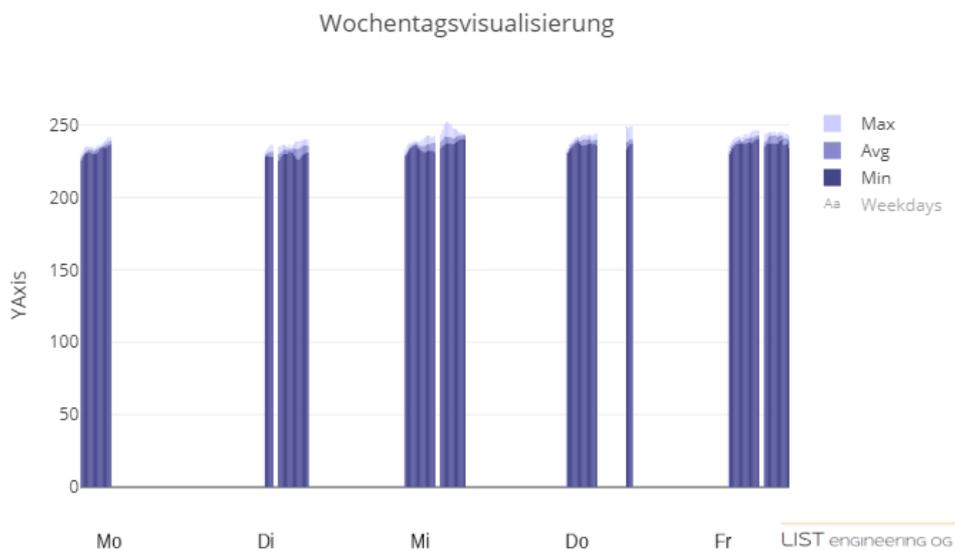


Abbildung 17: Raumtemperatur in °C *10, R14, Zeitraum1

7.5 CO2 Klasse E, R16, Zeitraum2

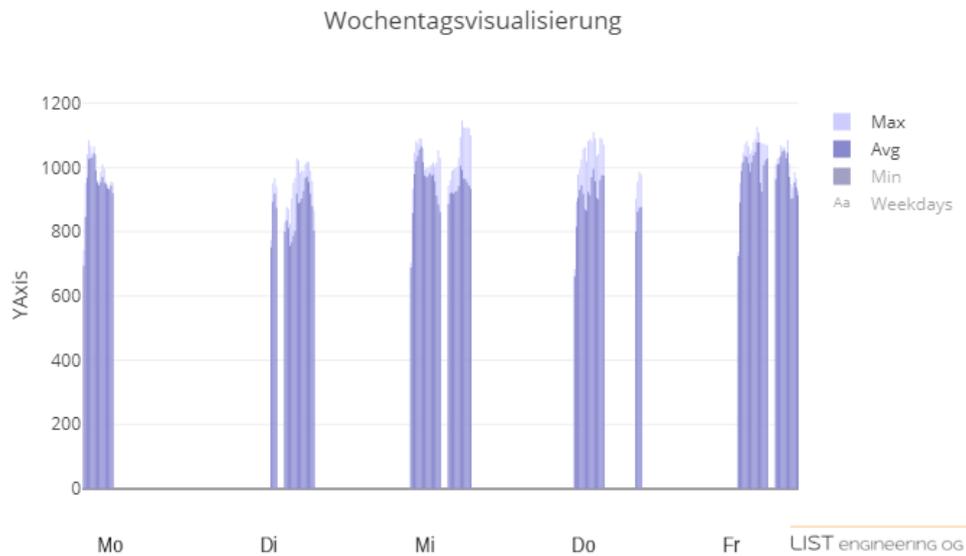


Abbildung 18: CO2 in ppm, R16, ZR2

7.6 Raumtemperatur Klasse E, R16, Zeitraum2

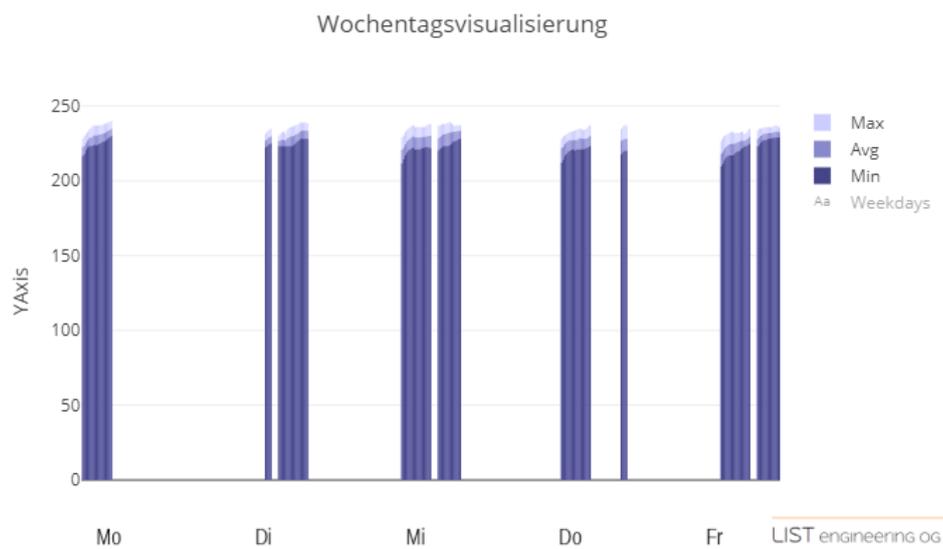


Abbildung 19: Raumtemperatur in °C * 10, R16, Zeitraum2

8 BLOCK 4 2016/17:

8.1 Klassenklima Vergleich

Klassenklima Vergleich

LIST engineering

Block4_201617

	R14	R16	
Unterrichtszeit Messdauer	177,4	221,1	Stunden
CO2:			
Überschreitung von 1000 ppm	76,4 43,1	21,9 9,9	Stunden %
Überschreitung von 1500 ppm	21,0 11,8	0,0 0,0	Stunden %
Spitzenwerte über 2000 ppm	4,8 2,7	0,0 0,0	Stunden %
Feuchte:			
Überschreitung von 50,0 % rF	8,8 5,0	17,6 8,0	Stunden %
Unterschreitung von 40 % rF	65,2 36,7	93,9 42,5	Stunden %
Unterschreitung von 30 % rF	0,1 0,0	2,8 1,3	Stunden %
Temperatur:			
Überschreitung von 23 Grad C	167,8 94,6	190,8 86,3	Stunden %
Unterschreitung von 21 Grad C	0,0 0,0	1,3 0,6	Stunden %

Abbildung 20: Klassenklima Vergleich 2016/16 Lehrgang 4

8.2 Häufigkeit gemessener CO2 Werte

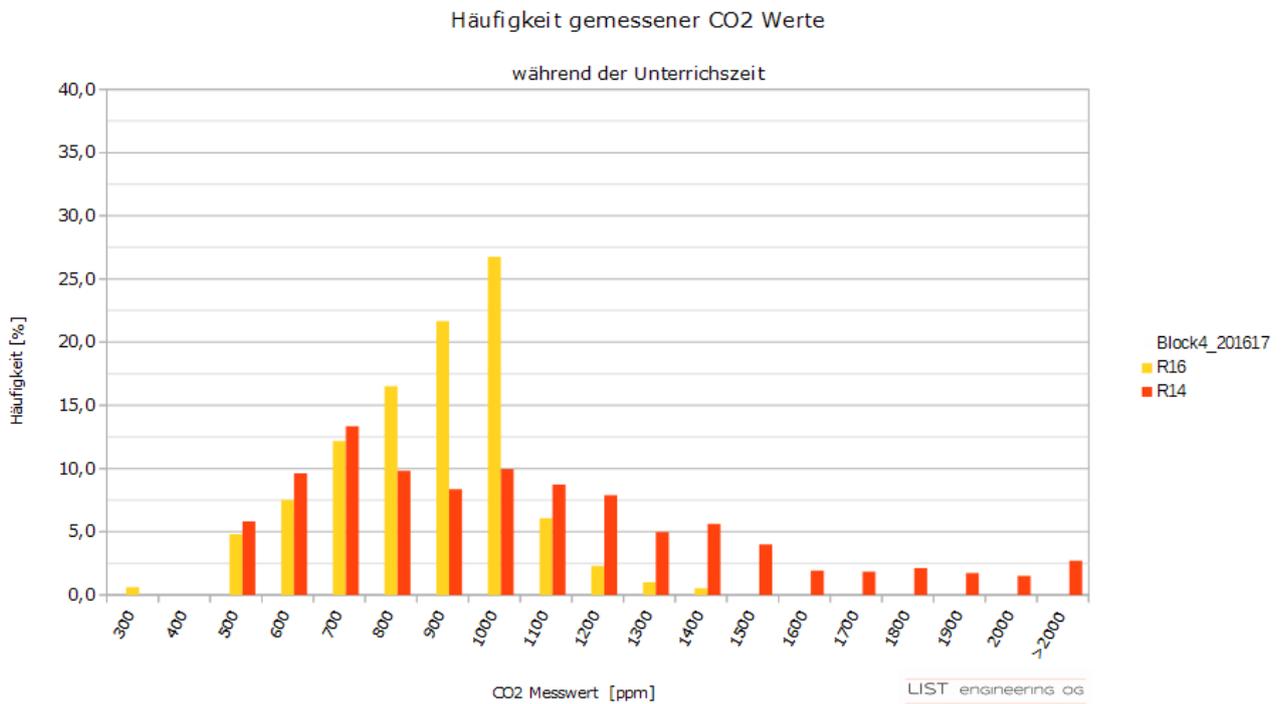


Abbildung 21: Häufigkeitsverteilung CO2, Lehrgang 4 2016/17

8.3 CO2 Klasse G, R14, Zeitraum1

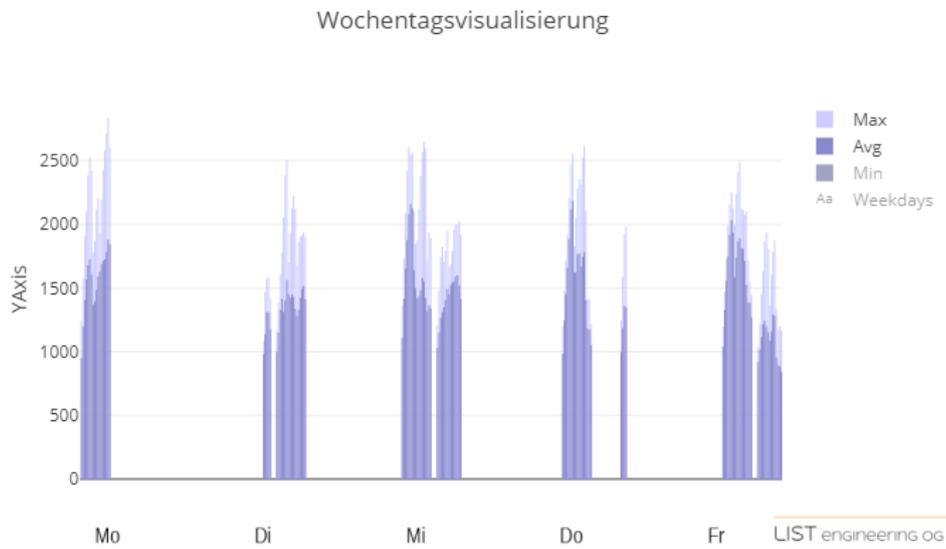


Abbildung 22: CO2 in ppm, R14, ZR1

8.4 CO2 Klasse G, R16, Zeitraum2

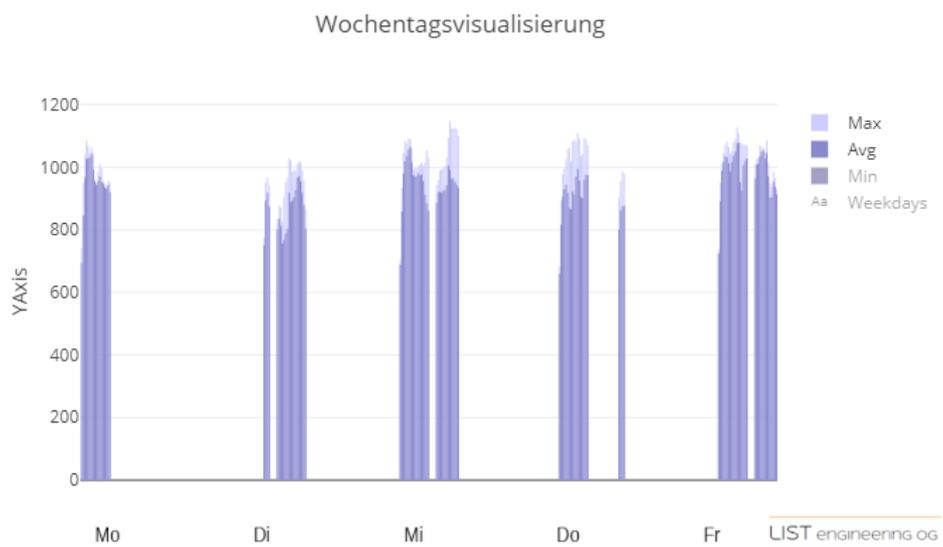


Abbildung 23: CO2 in ppm, R16, ZR2

8.5 CO2 Klasse F, R16, Zeitraum1

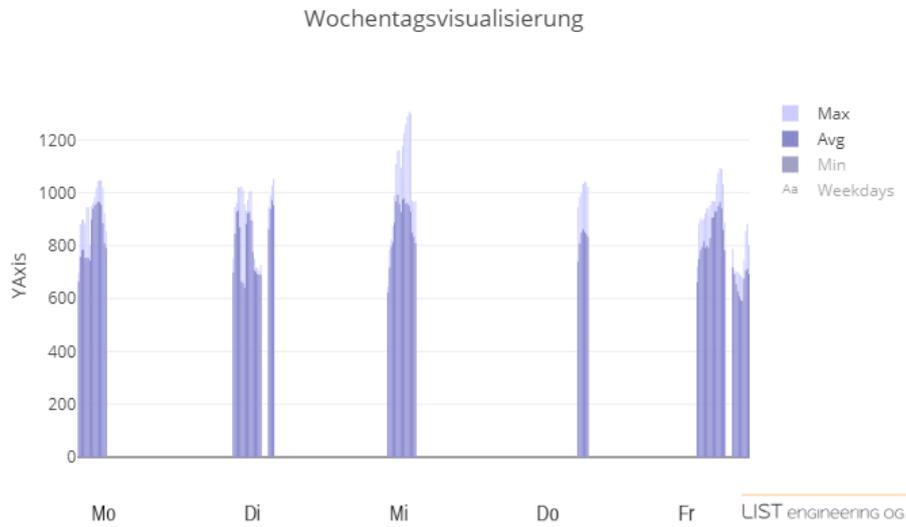


Abbildung 24: CO2 in ppm, R16, ZR1

8.6 CO2 Klasse F, R14, Zeitraum2

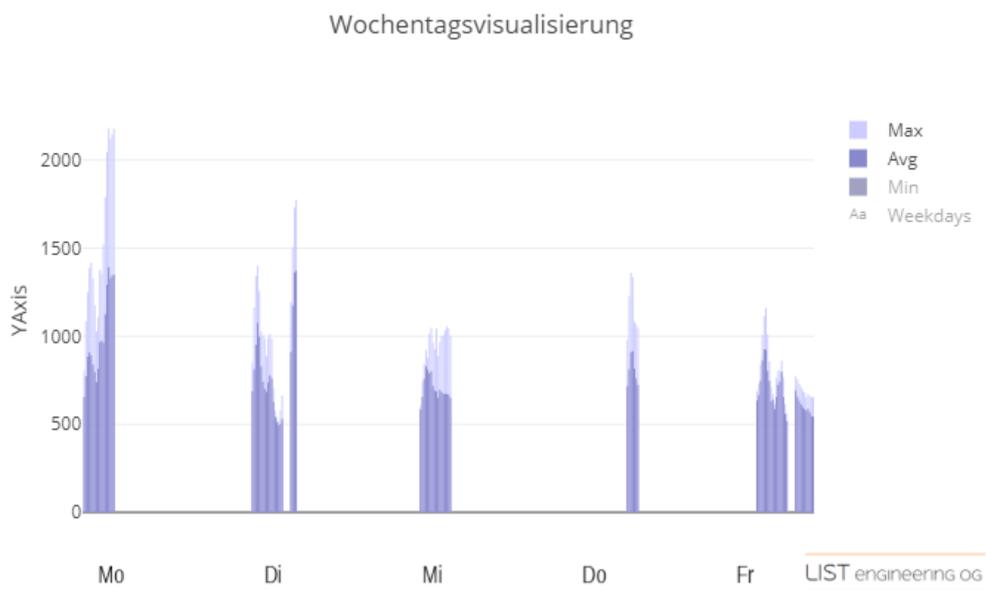


Abbildung 25: CO2 in ppm R14, ZR2

9 BLOCK 1 2017/18:

9.1 Klassenklima Vergleich

Klassenklima Vergleich

 LIST engineering

Block1_201718

	R14	R16	
Unterrichtszeit Messdauer	187,1	212,8	Stunden
CO2:			
Überschreitung von 1000 ppm	128,4	13,5	Stunden
	68,6	6,3	%
Überschreitung von 1500 ppm	58,8	1,6	Stunden
	31,4	0,7	%
Spitzenwerte über 2000 ppm	17,0	1,0	Stunden
	9,1	0,5	%
Feuchte:			
Überschreitung von 50,0 % rF	19,3	8,8	Stunden
	10,3	4,1	%
Unterschreitung von 40 % rF	96,7	137,9	Stunden
	51,7	64,8	%
Unterschreitung von 30 % rF	4,4	25,1	Stunden
	2,4	11,8	%
Temperatur:			
Überschreitung von 23 Grad C	97,3	91,3	Stunden
	52,0	42,9	%
Unterschreitung von 21 Grad C	0,0	21,1	Stunden
	0,0	9,9	%

Abbildung 26: Über- Unterschreitungen CO2, Feuchte, Temperatur, Lehrgang 1 2017/18

9.2 Häufigkeit gemessener CO₂ Werte

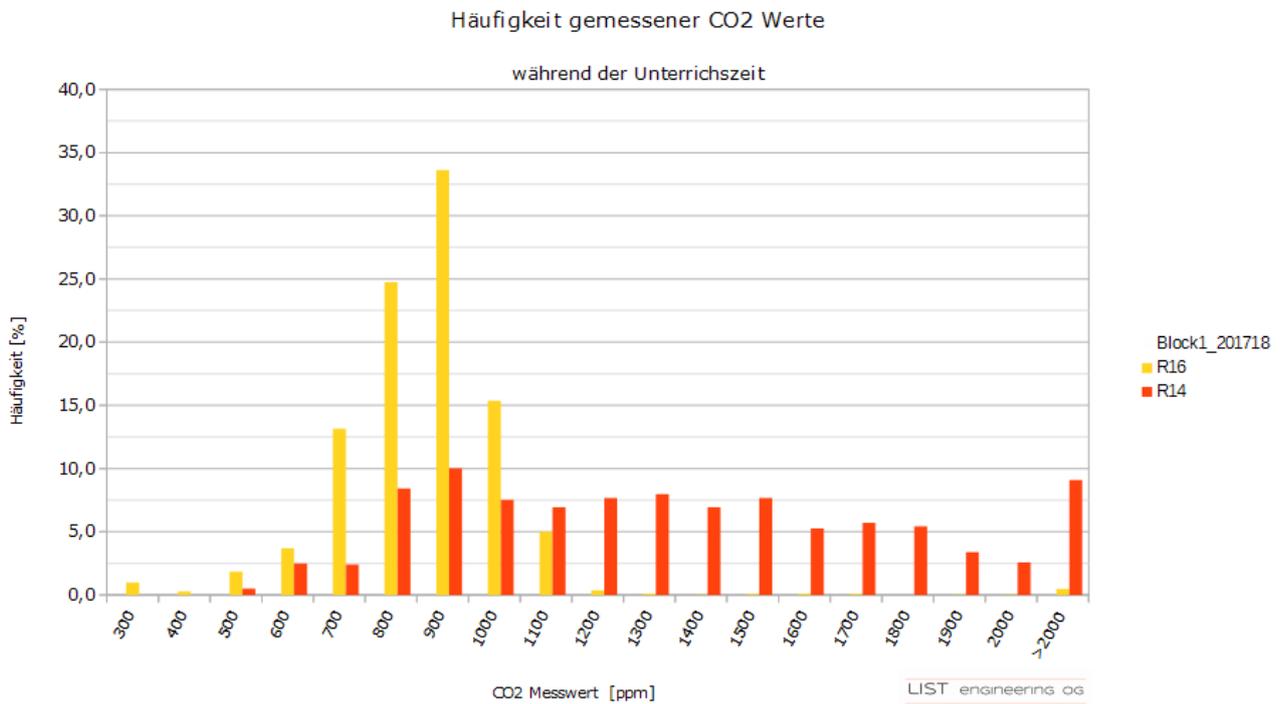


Abbildung 27: Häufigkeitsverteilung CO₂, Lehrgang 1 2017/18

9.3 Raumtemperatur Klasse B, R14, Zeitraum2

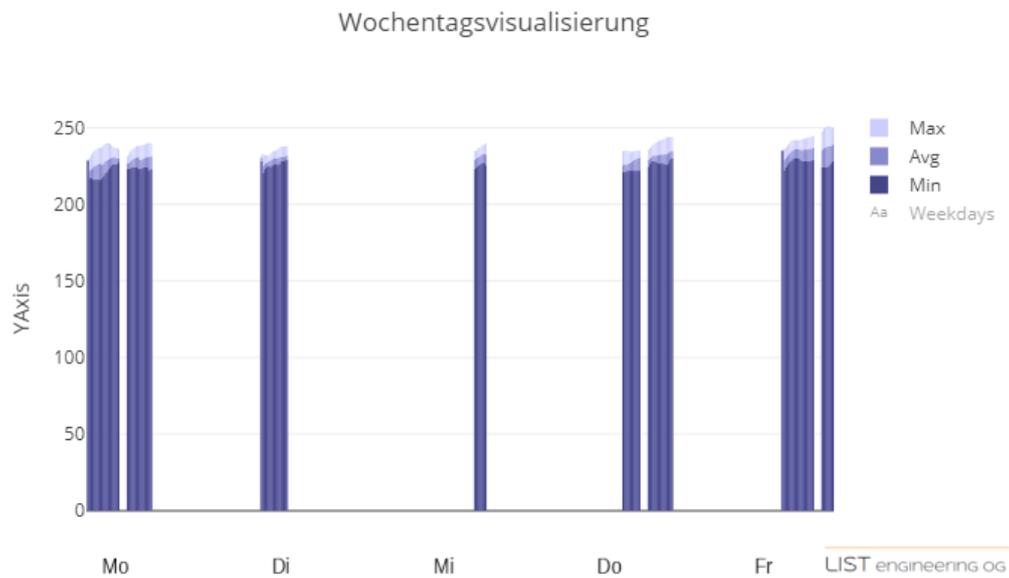


Abbildung 28: Raumtemperatur C * 10, R14, Zeitraum2

9.4 CO2 Klasse B, R14, Zeitraum2

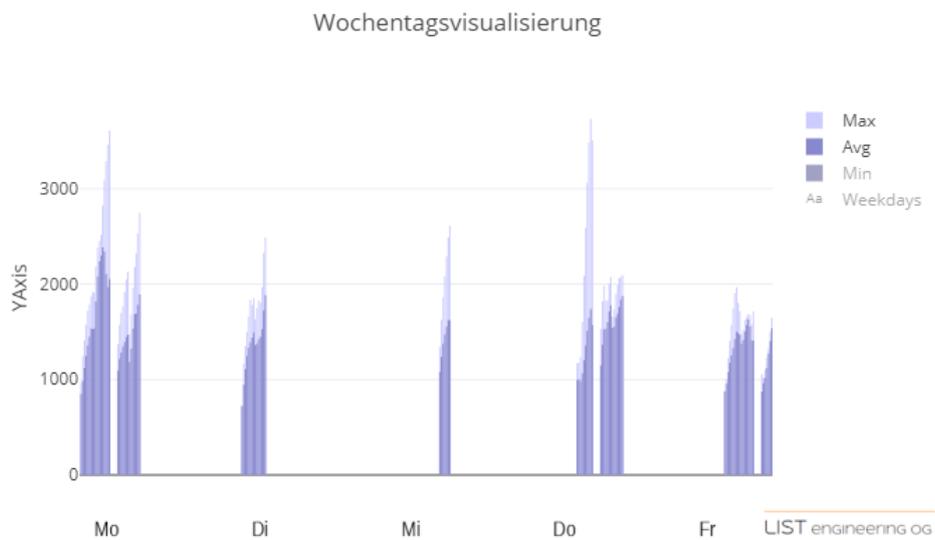


Abbildung 29: CO2 in ppm, R14, Zeitraum2

9.5 CO2 Klasse B, R16, Zeitraum1

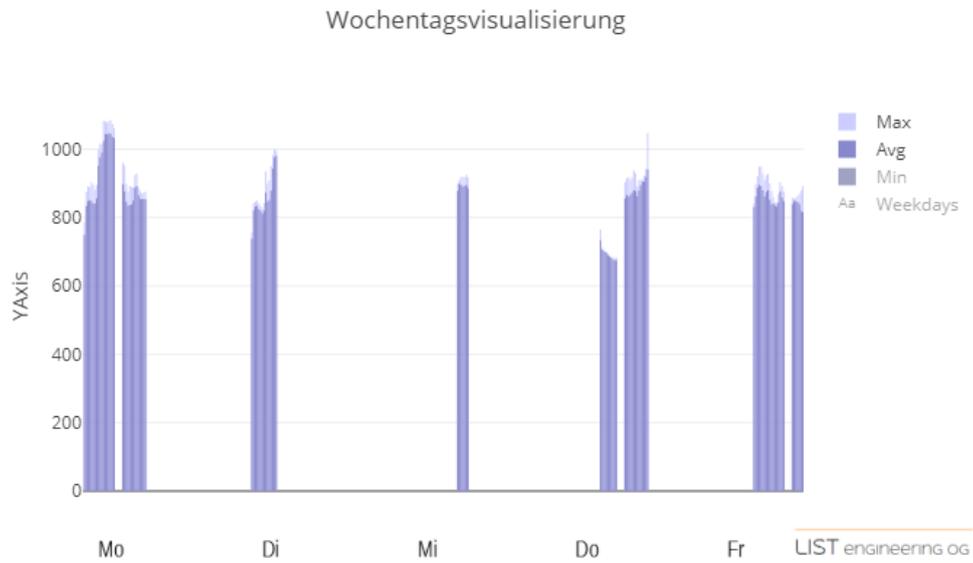


Abbildung 30: CO2 in ppm, R16, Zeitraum1

9.6 Raumtemperatur Klasse B, R16, Zeitraum1

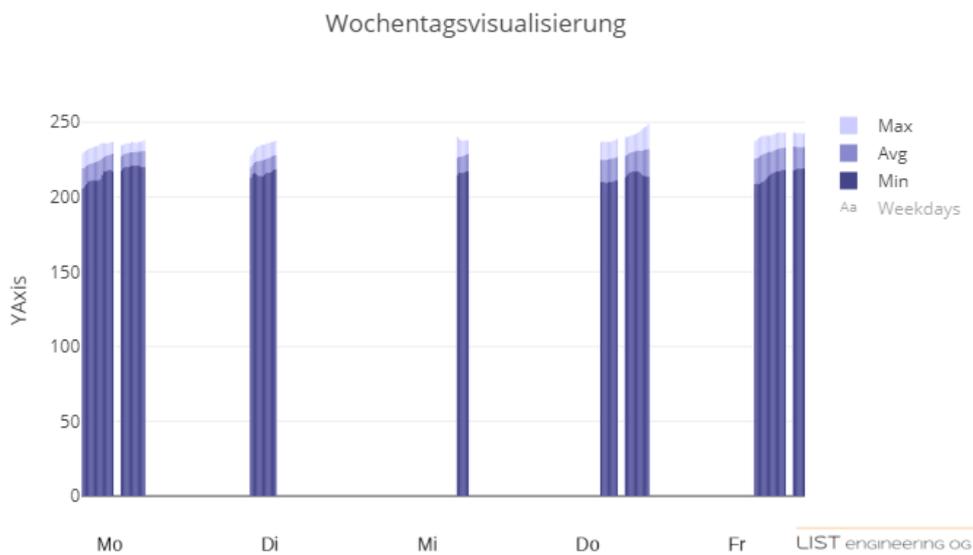


Abbildung 31: Raumtemperatur C * 10, R16, Zeitraum1

10 BLOCK 2 2017/18

10.1 Klassenklima Vergleich

Klassenklima Vergleich

 LIST engineering

Block2_201718

	R14	R16	
Unterrichtszeit Messdauer	224,2	218,4	Stunden
CO2:			
Überschreitung von 1000 ppm	210,8 94,0	149,3 68,3	Stunden %
Überschreitung von 1500 ppm	158,8 70,9	1,0 0,5	Stunden %
Spitzenwerte über 2000 ppm	82,8 36,9	0,0 0,0	Stunden %
Feuchte:			
Überschreitung von 50,0 % rF	0,0 0,0	0,0 0,0	Stunden %
Unterschreitung von 40 % rF	197,1 87,9	218,4 100,0	Stunden %
Unterschreitung von 30 % rF	29,8 13,3	117,0 53,6	Stunden %
Temperatur:			
Überschreitung von 23 Grad C	39,2 17,5	5,7 2,6	Stunden %
Unterschreitung von 21 Grad C	1,8 0,8	18,2 8,3	Stunden %

Abbildung 32: Über- Unterschreitungen CO2, Feuchte, Temperatur, Lehrgang 1 2017/18

10.2 Häufigkeit gemessener CO₂ Werte

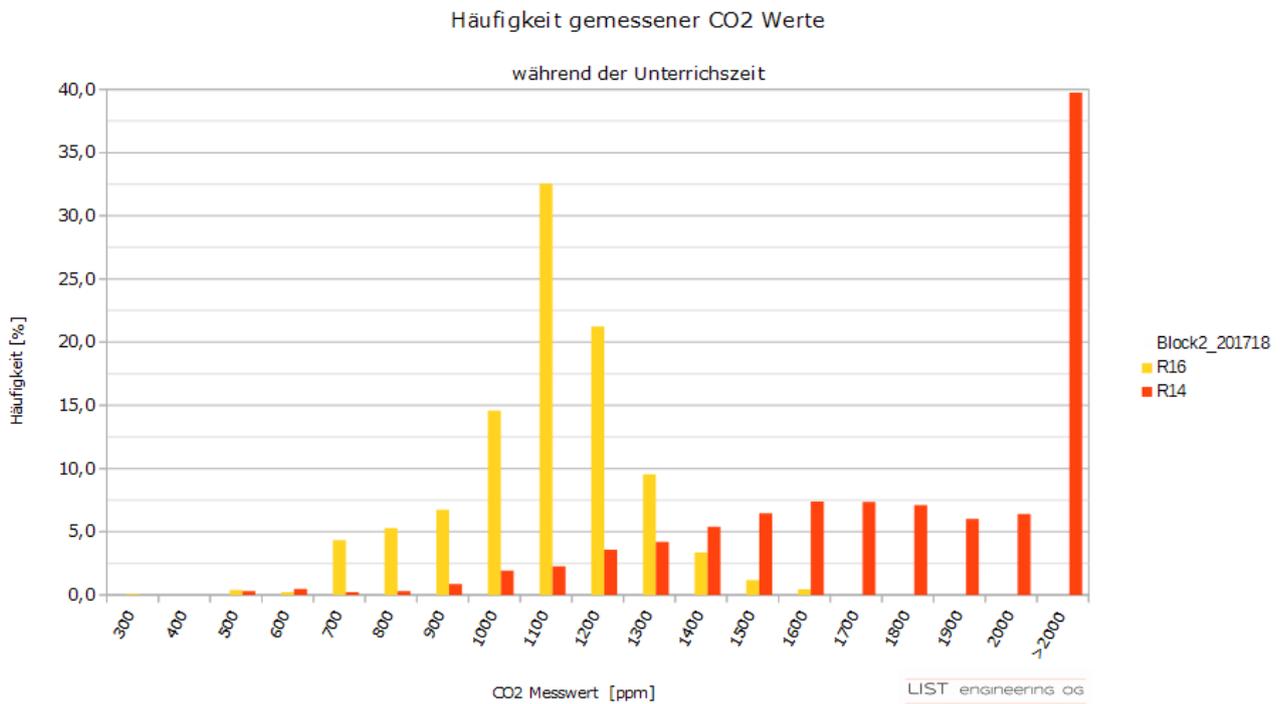


Abbildung 33: Häufigkeitsverteilung CO₂, Lehrgang 1 2017/18

10.3 CO2 Klasse C, R14, Zeitraum1

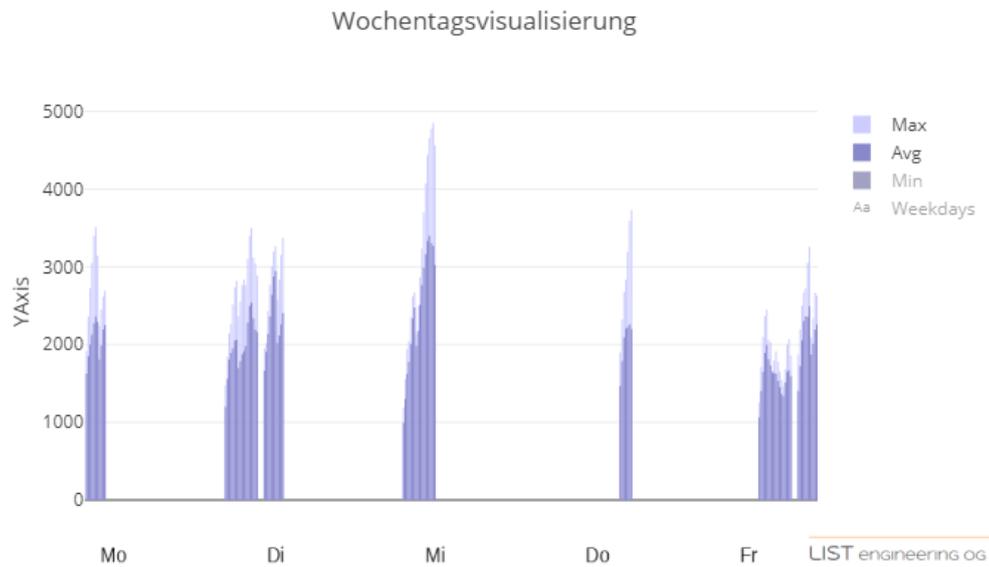


Abbildung 34: CO2 in ppm, R14, ZR1

10.4 CO2 Klasse C, R16, Zeitraum2

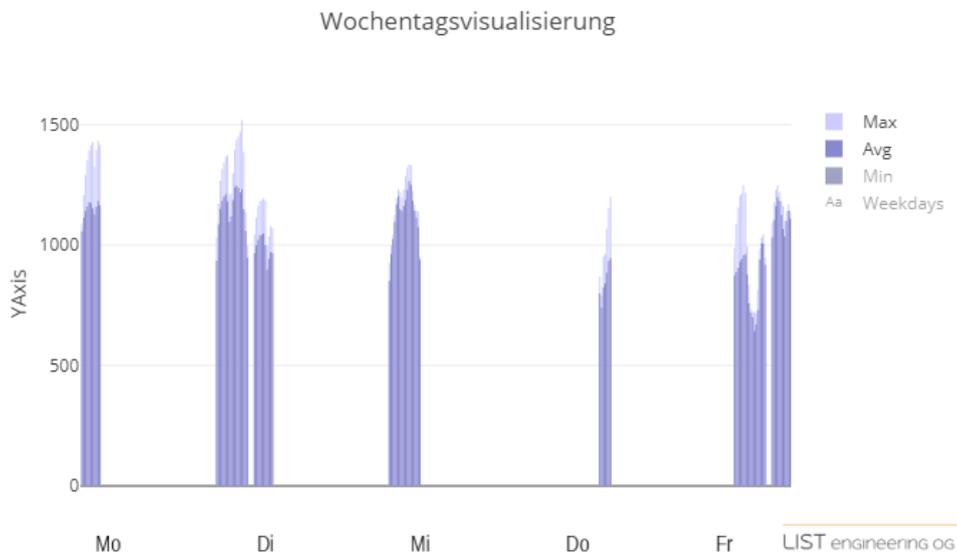


Abbildung 35: CO2 in ppm, R16, ZR2

10.5 CO2 Klasse D, R16, Zeitraum1

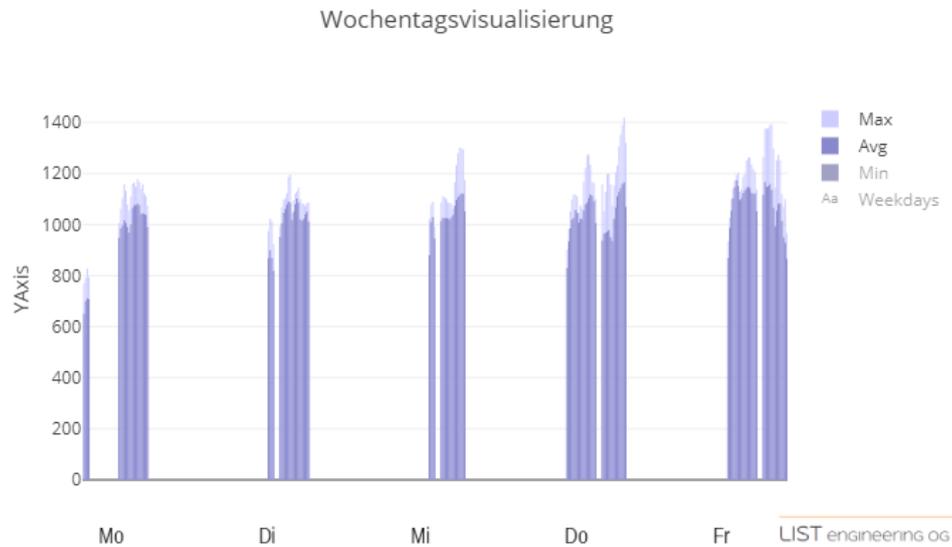


Abbildung 36: CO2 in ppm, R16, ZR1

10.6 CO2 Klasse D, R14, Zeitraum2

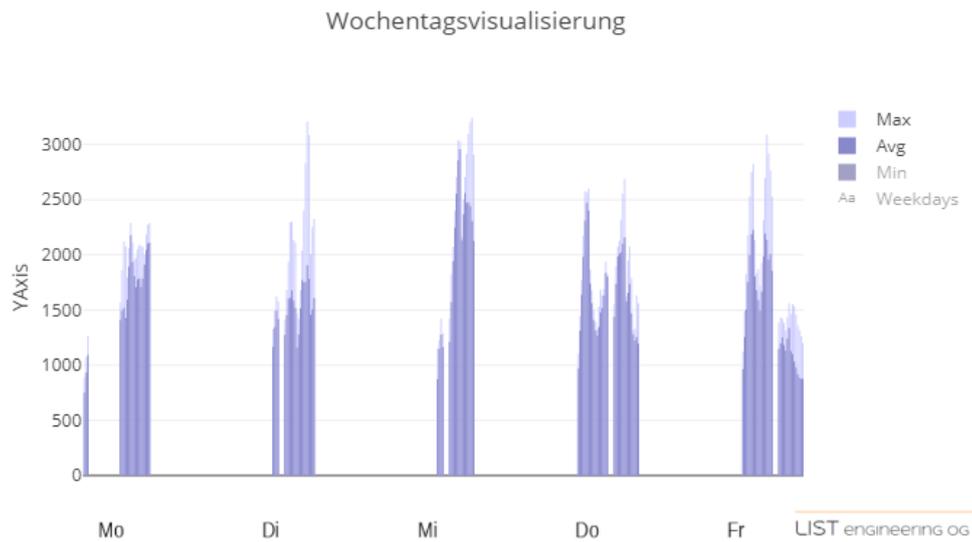


Abbildung 37: CO2 in ppm, R14, ZR2

11 BLOCK 3 2017/18

11.1 Klassenklima Vergleich

Klassenklima Vergleich

 LIST engineering

Block3_201718

	R14	R16	
Unterrichtszeit Messdauer	211,7	212,7	Stunden
CO2:			
Überschreitung von 1000 ppm	168,7 79,7	65,8 30,9	Stunden %
Überschreitung von 1500 ppm	109,3 51,7	2,4 1,1	Stunden %
Spitzenwerte über 2000 ppm	42,3 20,0	0,5 0,2	Stunden %
Feuchte:			
Überschreitung von 50,0 % rF	0,0 0,0	0,0 0,0	Stunden %
Unterschreitung von 40 % rF	202,2 95,5	206,2 96,9	Stunden %
Unterschreitung von 30 % rF	75,9 35,9	123,8 58,2	Stunden %
Temperatur:			
Überschreitung von 23 Grad C	60,5 28,6	110,3 51,8	Stunden %
Unterschreitung von 21 Grad C	0,8 0,4	12,6 5,9	Stunden %

Abbildung 38: Über- Unterschreitungen CO2, Feuchte, Temperatur, Lehrgang 3 2017/18

11.2 Häufigkeit gemessener CO₂ Werte

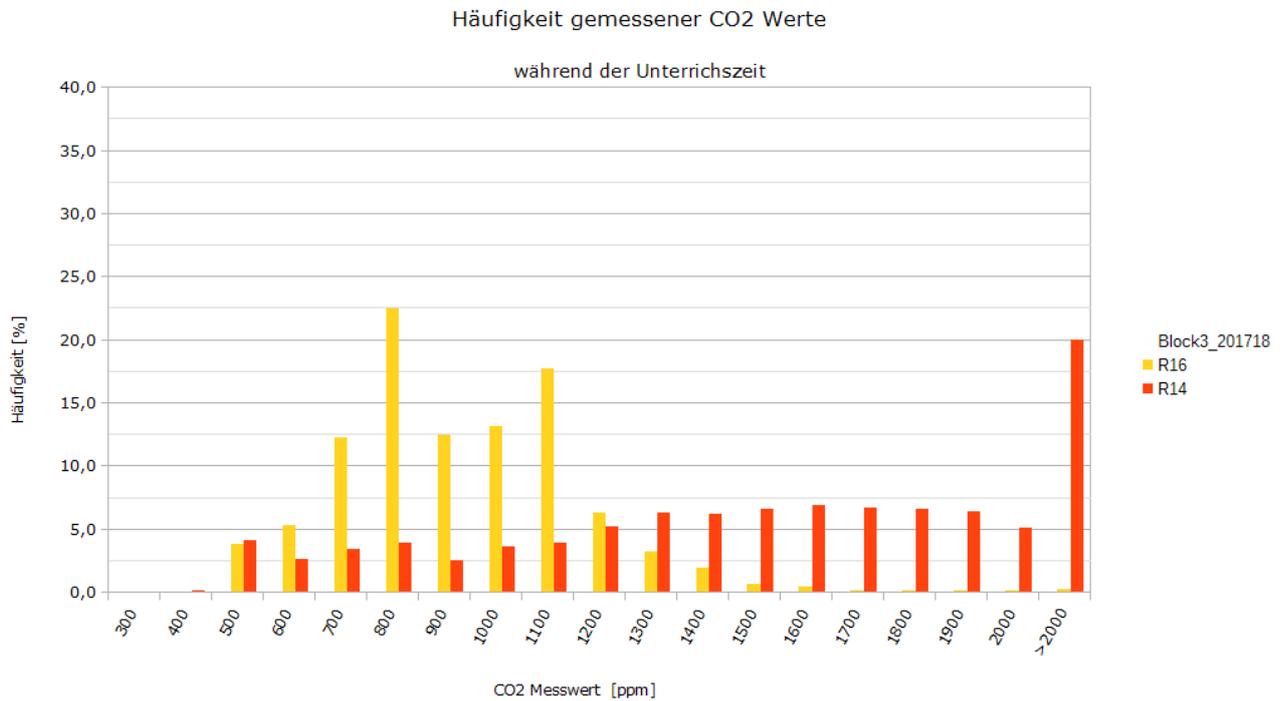


Abbildung 39: Häufigkeitsverteilung CO₂, Lehrgang 3 2017/18

11.3 CO2 Klasse E, R14, Zeitraum1

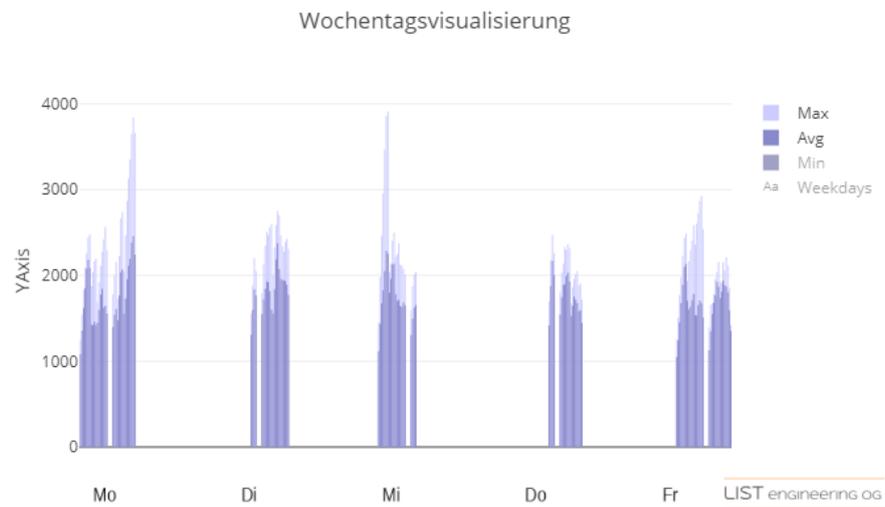


Abbildung 40: CO2 in ppm, R14 Zeitraum1

11.4 CO2 Klasse E, R16, Zeitraum2

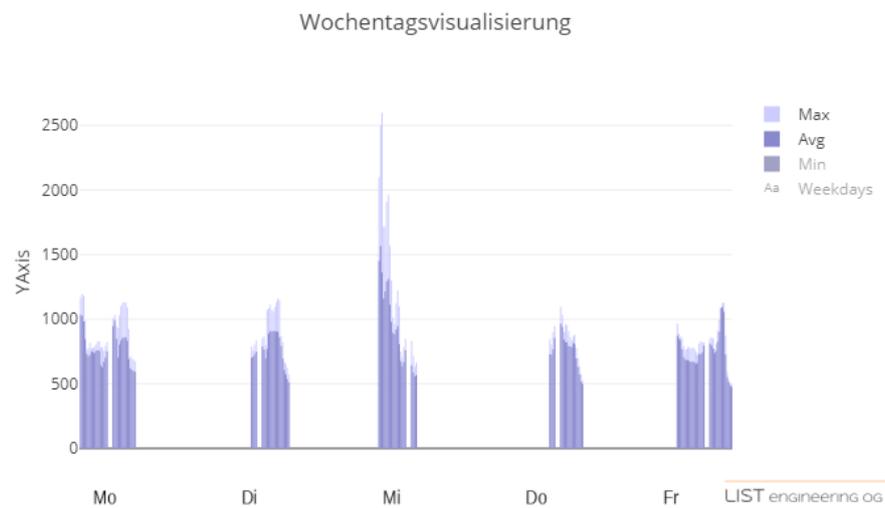


Abbildung 41: CO2 in ppm, R16 Zeitraum2

11.5 CO2 Klasse F, R16, Zeitraum1

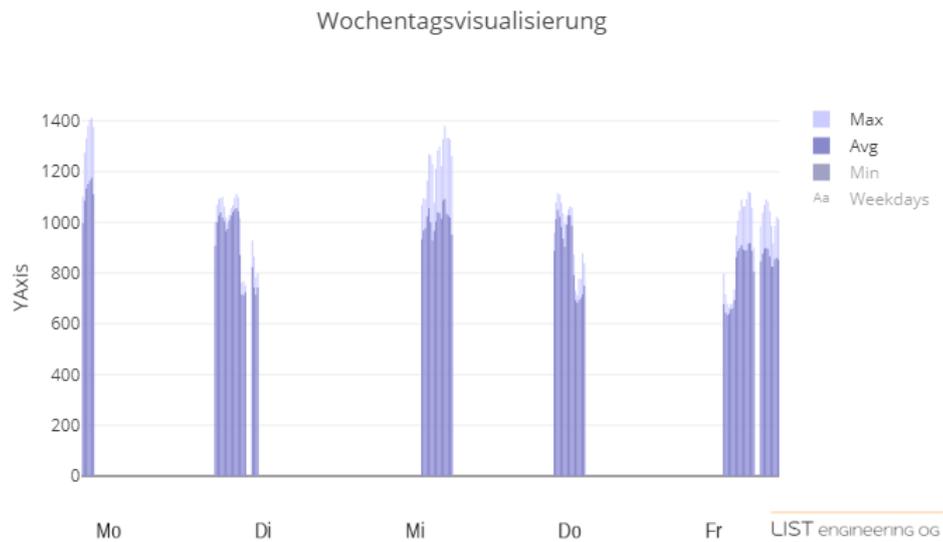


Abbildung 42: CO2 in ppm, R16 Zeitraum1

11.6 CO2 Klasse F, R14, Zeitraum2

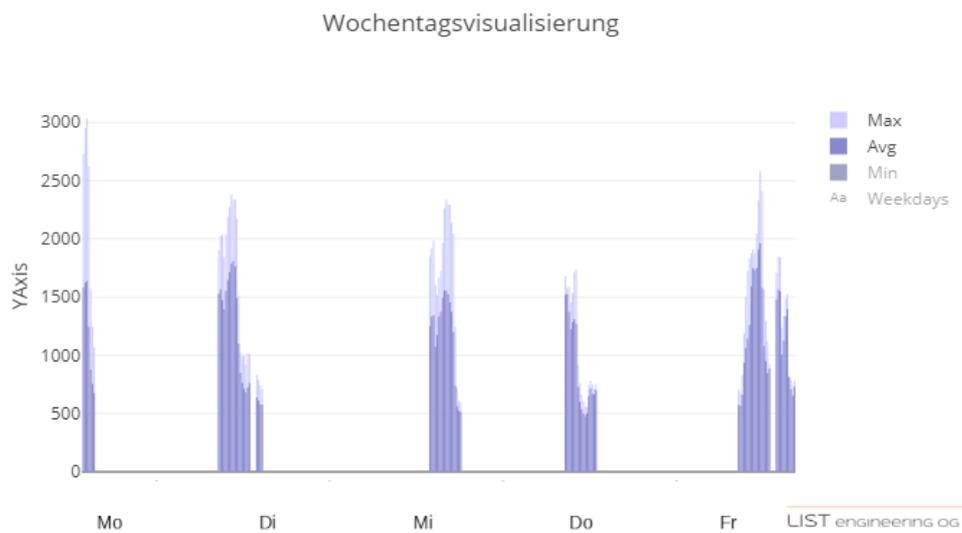


Abbildung 43: CO2 in ppm, R14 Zeitraum2

12 BLOCK 4 2017/18

12.1 Klassenklima Vergleich

Klassenklima Vergleich

 LIST engineering

Block4_201718

	R14	R16	
Unterrichtszeit Messdauer	178,2	221,8	Stunden
CO2:			
Überschreitung von 1000 ppm	71,2 39,9	35,4 16,0	Stunden %
Überschreitung von 1500 ppm	20,7 11,6	0,0 0,0	Stunden %
Spitzenwerte über 2000 ppm	3,5 2,0	0,0 0,0	Stunden %
Feuchte:			
Überschreitung von 50,0 % rF	32,7 18,3	15,7 7,1	Stunden %
Unterschreitung von 40 % rF	39,4 22,1	74,9 33,8	Stunden %
Unterschreitung von 30 % rF	2,8 1,5	2,6 1,2	Stunden %
Temperatur:			
Überschreitung von 23 Grad C	177,7 99,7	221,4 99,8	Stunden %
Unterschreitung von 21 Grad C	0,5 0,3	0,3 0,2	Stunden %

Abbildung 44: Über- Unterschreitungen CO2, Feuchte, Temperatur, Lehrgang 1 2016/17

12.2 Häufigkeit gemessener CO₂ Werte

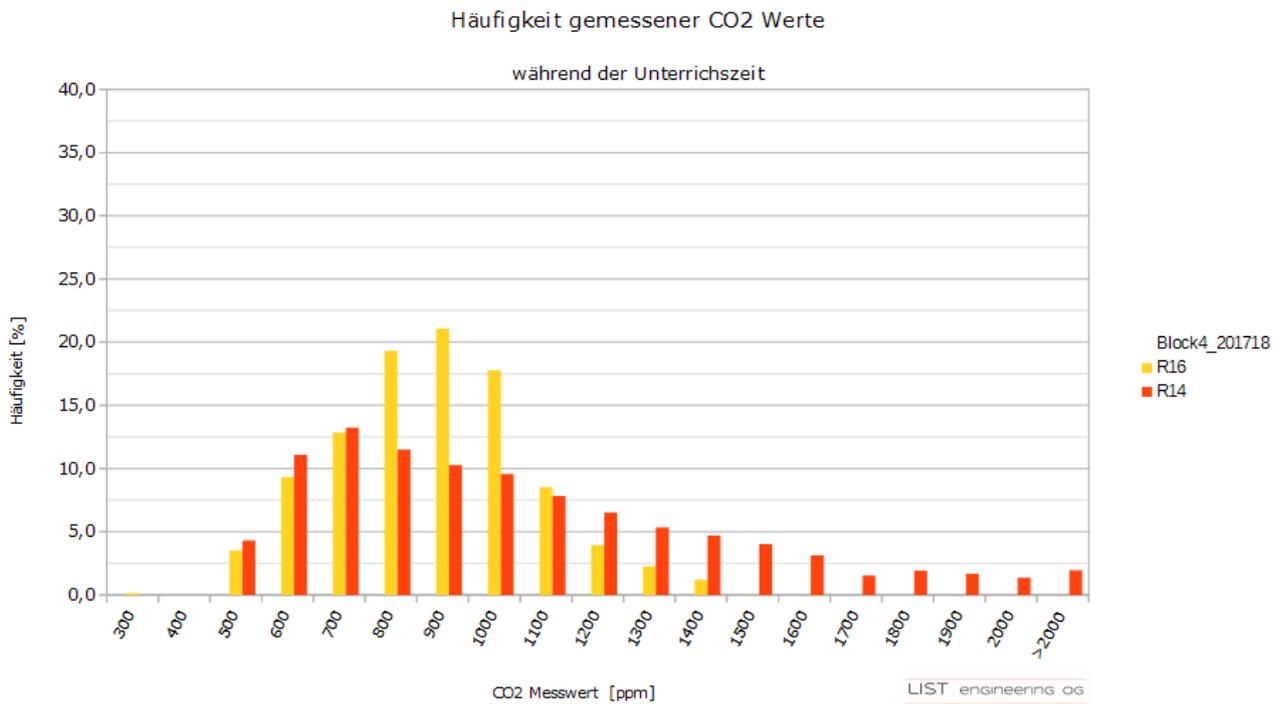


Abbildung 45: Häufigkeitsverteilung CO₂, Lehrgang 1 2016/17

12.3 CO2 Klasse H, R14, Zeitraum2

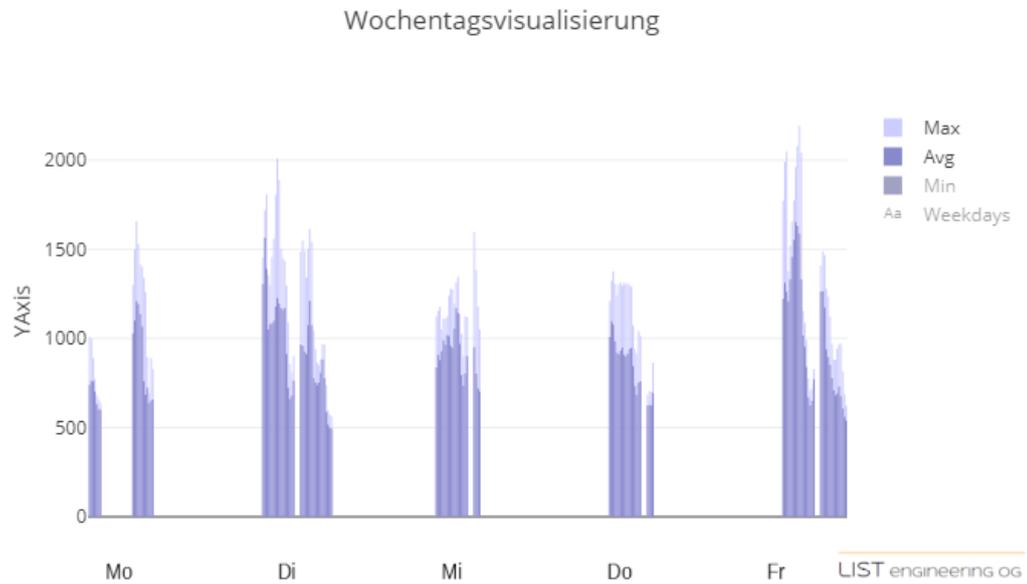


Abbildung 46: CO2 in ppm, R14 Zeitraum2

12.4 CO2 Klasse H, R16, Zeitraum1

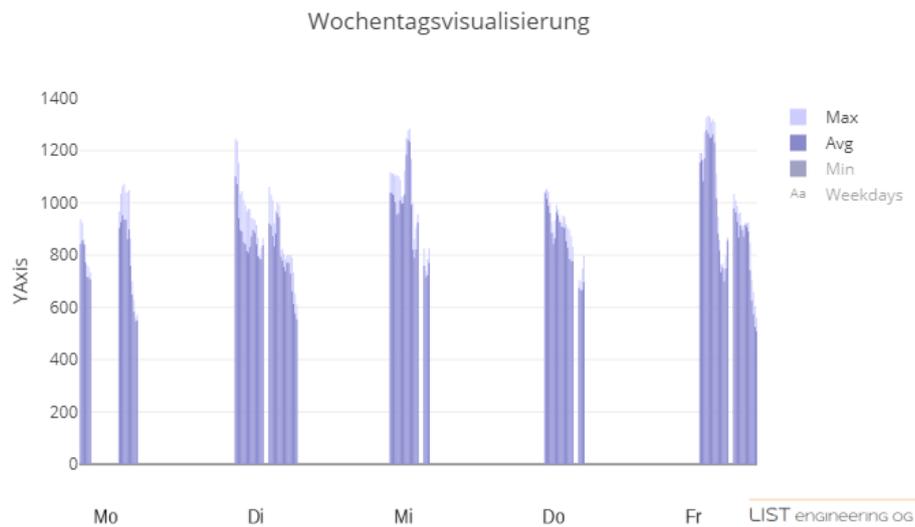


Abbildung 47: CO2 in ppm, R16 Zeitraum1

12.5 Raumtemperatur Klasse H, R14, Zeitraum 2

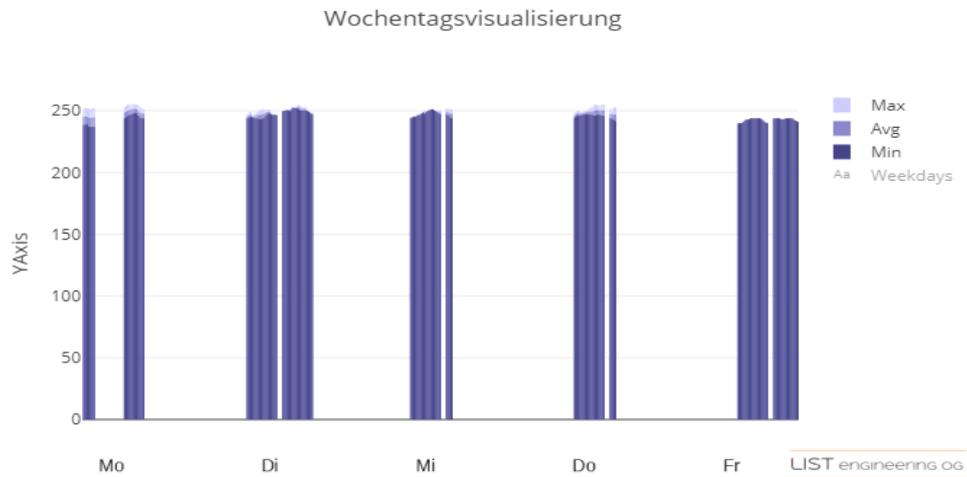


Abbildung 48: Raumtemperatur C * 10, R14, Zeitraum2

12.6 Raumtemperatur Klasse H, R16, Zeitraum1

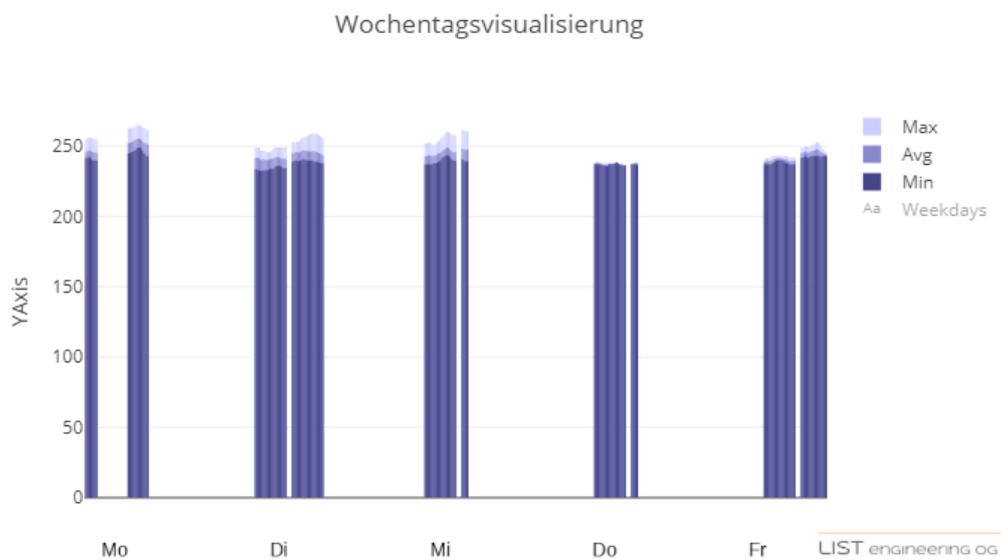


Abbildung 49: Raumtemperatur C * 10, R16, Zeitraum1

13 ENERGIEVERBRAUCH DER KOMFORTLÜFTUNGSANLAGE

13.1 Energieverbrauch Komfortlüftung als Tabelle

Zeitraum	Elektrische Energie in kWh
Summe Lehrgang 1 2016/17	76,06
Summe Lehrgang 2 2016/17	268,19
Summe Lehrgang 3 2016/17	82,55
Summe Lehrgang 4 2016/17	76,58
Summe Ferien 2017	26,63
Summe Lehrgang 1 2017/18	92,60
Summe Lehrgang 2 2017/18	95,64
Summe Lehrgang 3 2017/18	82,66
Summe Lehrgang 4 2017/18	40,99

Abbildung 50: Elektrische Energie aufgeteilt auf Lehrgänge

13.2 Energieverbrauch Komfortlüftung als Graf

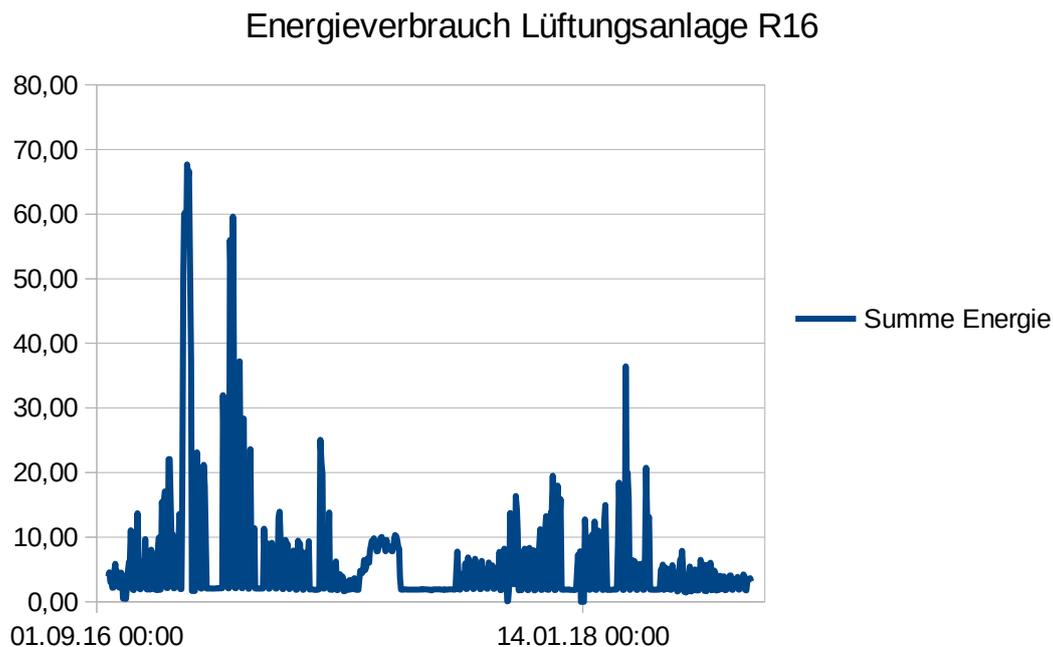


Abbildung 51: Energieverbrauch über den Beobachtungszeitraum

14 MESSSYSTEM UND SENSOREN

14.1 LIST analyzer:

Der LIST analyzer ist ein universell einsetzbares und einfach zu installierendes Analyse- und Onlinemonitoringsystem für alle physikalischen Messgrößen:

- Temperatur
- Luftfeuchte
- CO₂
- Elektrische Energie
- Wärmeenergie
- Externe Zähler
- Strahlungsstärke
- usw.



Abbildung 52: LIST analyzer

14.1.1 FUNKTIONEN:

- 1) Messwernerfassung bis zu einer Auflösung von einer Sekunde.
- 2) Messwertspeicherung auf einer eingebauten SD Karte. (Daher ist die volle Funktion ist auch ohne Internetverbindung gegeben.)
- 3) Messwertübertragung über GSM oder WLAN auf den List – Analyseserver.
- 4) Onlinemonitoring der Messwerte mit Visualisierung über Zugang auf der List Homepage.

14.1.2 Beispiel für Visualisierung:

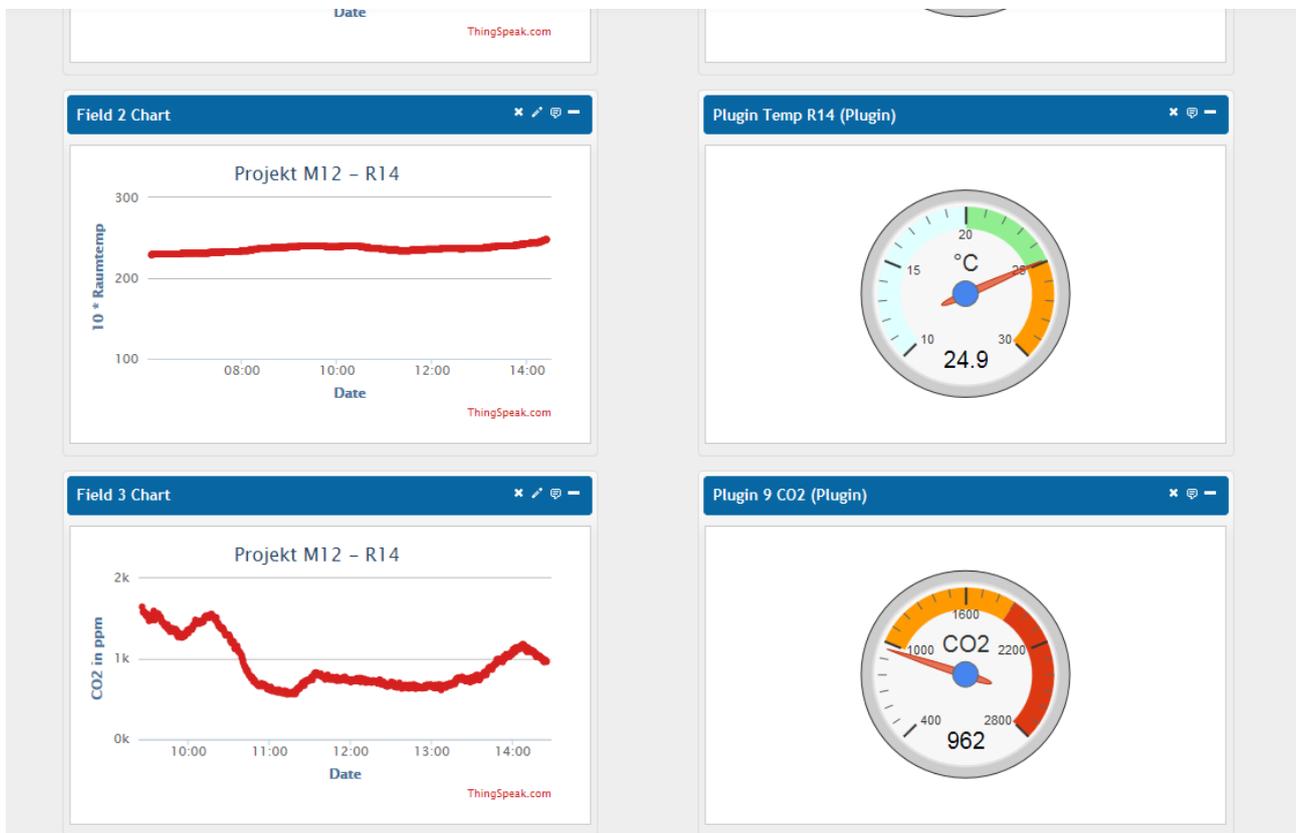


Abbildung 53: Visualisierungsbeispiel

14.2 CO₂, Temperatur, Feuchte Sensor Datenblatt:



COZIR™

Ultra Low Power Carbon Dioxide Sensor

COZIR is an ultra low power (3.5mW¹), high performance CO₂ sensor, ideally suited for battery operation and portable instruments. Based on patented IR LED and Detector technology and innovative optical designs, COZIR is the lowest power NDIR sensor available. Optional temperature and humidity sensing are available. COZIR is a third generation product from Gas Sensing Solutions Ltd – leaders in IR LED CO₂ sensing.

With measurement ranges of 0-2000ppm, 0-5000ppm and 0-1% the **COZIR Ambient** Sensor is suitable for applications such as Building Control and Horticulture.

- Ultra-low Power 3.5mW
- Measurement ranges from 0 to 1%
- 3.3V supply
- Peak current only 33mA
- Optional Temperature and Humidity Output



COZIR™ Ambient Sensor

Specifications

General Performance	
Warm-up Time	< 10s. 1.2 secs to first reading.
Operating Conditions	0°C to 50°C (Standard) -25°C to 55°C (Extended range) 0 to 95% RH, non-condensing
Recommended Storage	-30°C to +70°C
CO₂ Measurement	
Sensing Method	Non-dispersive infrared (NDIR) absorption Patented Gold-plated optics Patented Solid-state source and detector
Sample Method	Diffusion
Measurement Range	0-2000ppm, 0-5000ppm, 0-1%
Accuracy	±50 ppm +/- 3% of reading ¹
Calibration	Autocalibration ⁶
Non Linearity	< 1% of FS
Pressure Dependence	0.13% of reading per mm Hg in normal atmospheric conditions.
Operating Pressure Range	950 mbar to 1050 mbar ²
Response Time	30 secs to 3 mins (Configurable via filter type and application) ³ Reading refreshed twice per second. ³



Information supplied by GSS Ltd is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by GSS Ltd for its use.

COZIR™ Ambient Sensor
www.gassensing.co.uk
© GSS Ltd 2016

Rev J 04/2016



2-Terminal IC Temperature Transducer

Data Sheet

AD590

FEATURES

Linear current output: 1 $\mu\text{A}/\text{K}$
Wide temperature range: -55°C to $+150^\circ\text{C}$
Probe-compatible ceramic sensor package
2-terminal device: voltage in/current out
Laser trimmed to $\pm 0.5^\circ\text{C}$ calibration accuracy (AD590M)
Excellent linearity: $\pm 0.3^\circ\text{C}$ over full range (AD590M)
Wide power supply range: 4 V to 30 V
Sensor isolation from case
Available in 2-lead FLATPACK, 4-lead LFCSP, 3-pin TO-52, 8-lead SOIC, and die form

GENERAL DESCRIPTION

The AD590 is a 2-terminal integrated circuit temperature transducer that produces an output current proportional to absolute temperature. For supply voltages between 4 V and 30 V, the device acts as a high impedance, constant current regulator passing 1 $\mu\text{A}/\text{K}$. Laser trimming of the chip's thin-film resistors is used to calibrate the device to 298.2 μA output at 298.2 K (25°C).

The AD590 should be used in any temperature-sensing application below 150°C in which conventional electrical temperature sensors are currently employed. The inherent low cost of a monolithic integrated circuit combined with the elimination of support circuitry makes the AD590 an attractive alternative for many temperature measurement situations. Linearization circuitry, precision voltage amplifiers, resistance measuring circuitry, and cold junction compensation are not needed in applying the AD590.

In addition to temperature measurement, applications include temperature compensation or correction of discrete components, biasing proportional to absolute temperature, flow rate measurement, level detection of fluids and anemometry. The AD590 is available in die form, making it suitable for hybrid circuits and fast temperature measurements in protected environments.

The AD590 is particularly useful in remote sensing applications. The device is insensitive to voltage drops over long lines due to its high impedance current output. Any well-insulated twisted pair is sufficient for operation at hundreds of feet from the receiving circuitry. The output characteristics also make the AD590 easy to multiplex: the current can be switched by a CMOS multiplexer, or the supply voltage can be switched by a logic gate output.

Rev. G [Document Feedback](#)
 Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

PIN CONFIGURATIONS



Figure 1. 2-Lead FLATPACK



NOTES
 1. NC = NO CONNECT. THE NC PIN IS NOT BONDED TO THE DIE INTERNALLY.
 2. TO ENSURE CORRECT OPERATION, THE EXPOSED PAD (EP) SHOULD BE LEFT FLOATING.

Figure 2. 4-Lead LFCSP

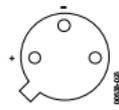


Figure 3. 3-Pin TO-52

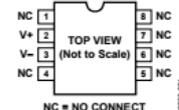


Figure 4. 8-Lead SOIC

PRODUCT HIGHLIGHTS

- The AD590 is a calibrated, 2-terminal temperature sensor requiring only a dc voltage supply (4 V to 30 V). Costly transmitters, filters, lead wire compensation, and linearization circuits are all unnecessary in applying the device.
- State-of-the-art laser trimming at the wafer level in conjunction with extensive final testing ensures that AD590 units are easily interchangeable.
- Superior interface rejection occurs because the output is a current rather than a voltage. In addition, power requirements are low (1.5 mW @ 5 V @ 25°C). These features make the AD590 easy to apply as a remote sensor.
- The high output impedance ($>10\text{ M}\Omega$) provides excellent rejection of supply voltage drift. For instance, changing the power supply from 5 V to 10 V results in only a 1 μA maximum current change, or 1°C equivalent error.
- The AD590 is electrically durable: it withstands a forward voltage of up to 44 V and a reverse voltage of 20 V. Therefore, supply irregularities or pin reversal does not damage the device.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
 Tel: 781.329.4700 [Technical Support](#)
 ©2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved. www.analog.com

Abbildung 54: CO₂, Temperatur, Feuchte Sensor Datenblatt

Beilage 6 - Endbericht des interdisziplinären Forschungszentrums



Monitoring der Tiroler Fachberufsschule für Installations- und
Blechtechnik in Innsbruck

Sozialwissenschaftliche Befragung - Endbericht

Graz, Dezember 2018

Mag. Jürgen Suschek-Berger

Interdisziplinäres Forschungszentrum (IFZ)

Schlögelgasse 2

8010 Graz

www.ifz.at

Inhalt

1. Einleitung.....	4
2. Darstellung der Befragungsergebnisse.....	5
2.1. Allgemeine Informationen	5
2.2. Raum ohne Lüftungsanlage.....	5
2.3. Raum mit Lüftungsanlage.....	11
3. Resümee	19
4. Anhang.....	21
4.1. Fragebogen - Raum ohne Lüftungsanlage.....	21
4.2. Fragebogen - Raum mit Lüftungsanlage.....	23

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Altersverteilung der Befragten	5
Abbildung 2: Aussagen zum Raumklima – Raum ohne Lüftungsanlage (LA)	6
Abbildung 3: Konnten Probleme beim Raumklima behoben werden? – Raum ohne LA	6
Abbildung 4: Haben Sie das Gefühl, in diesem Raum relativ oft lüften zu müssen? - Raum ohne Lüftungsanlage	7
Abbildung 5: Wie oft werden die Fenster zum Lüften geöffnet? – Raum ohne LA	7
Abbildung 6: Werden die Fenster ganz geöffnet oder gekippt? – Raum ohne LA.....	8
Abbildung 7: Gefühl, sich in diesem Raum konzentrieren zu können – Raum ohne LA	8
Abbildung 8: Haben Sie das Gefühl, dass in diesem Raum „dicke Luft“ herrscht? – Raum ohne Lüftungsanlage	9
Abbildung 9: Glauben Sie, dass Ihre schulischen Leistungen bei besserer Luft auch besser wären? – Raum ohne Lüftungsanlage.....	9
Abbildung 10: Glauben Sie, dass die Luftqualität in diesem Raum mit einer Lüftungsanlage besser wäre? – Raum ohne Lüftungsanlage	10
Abbildung 11: Welche Schulnote würden Sie insgesamt der Luftqualität in diesem Raum geben? – Raum ohne Lüftungsanlage.....	10
Abbildung 12: Eigene Einschätzung der schulischen Leistungen – Raum ohne Lüftungsanlage	11
Abbildung 13: Wie zufrieden sind Sie mit dem Funktionieren der Lüftungsanlage?.....	11
Abbildung 14: Wie zuverlässig funktioniert Ihrer Meinung nach die Lüftungsanlage in diesem Raum?	12
Abbildung 15: Stimmen Sie folgenden Aussagen zum Raumklima zu? – Raum mit LA	13
Abbildung 16: Falls es Probleme gab: Konnten diese behoben werden? – Raum mit LA	14
Abbildung 17: Haben Sie das Gefühl, in diesem Raum – trotz LA – lüften zu müssen?.....	14
Abbildung 18: Wie oft werden die Oberlichten der Fenster zum Lüften gekippt? – Raum mit Lüftungsanlage	15
Abbildung 19: Gefühl, sich in diesem Raum konzentrieren zu können – Raum mit LA	15
Abbildung 20: Haben Sie das Gefühl, dass in diesem Raum „dicke Luft“ herrscht? - Raum mit Lüftungsanlage	16
Abbildung 21: Glauben Sie, dass Ihre schulischen Leistungen bei besserer Luft auch besser wären? – Raum mit Lüftungsanlage.....	16
Abbildung 22: Welche Schulnote würden Sie insgesamt der Luftqualität in diesem Raum geben? – Raum mit Lüftungsanlage.....	17
Abbildung 23: Eigene Einschätzung der schulischen Leistung – Raum mit Lüftungsanlage	18

1. Einleitung

Die Tiroler Fachberufsschule für Installations- und Blechtechnik in Innsbruck möchte vor einer möglichen umfassenden Ausstattung des Gebäudes die Vor- und Nachteile einer Lüftungsanlage in einer Referenzklasse prüfen. Im Referenzraum wurde seitens der Berufsschule in Eigenregie eine Lüftungsanlage errichtet und betrieben (Raum A). Im Zuge des Projekts wurden die wesentlichen Parameter Temperatur, Feuchte und CO₂ erhoben. Um noch aussagekräftigere Daten zu erhalten, wurde ein ungelüfteter Klassenraum (Raum B) in das Messkonzept mit aufgenommen. Somit ist ein direkter Vergleich zwischen identen Klassenräumen mit und ohne Lüftungsanlage möglich.

Pro Jahr werden vier Lehrgänge abgehalten (vier mal zwei Monate). Nach einem Monat wechseln die Schüler von Raum A in Raum B und umgekehrt. Das Projekt erstreckte sich über acht volle Lehrgänge und zwei Jahre. Damit konnte ein sehr valides Ergebnis erreicht werden.

Ein Teil des Projekts war die Partizipation der SchülerInnen bei der Bewertung der Qualität der Klassenzimmerlüftungsanlage. Zu diesem Zweck wurden zwei Fragebögen entwickelt, die in den acht Lehrgängen von den SchülerInnen sowohl für den Raum ohne Lüftungsanlage als auch für den Raum mit Lüftungsanlage ausgefüllt wurden. Die Fragebögen wurden am Ende des Schuljahres 2017/18 mit Hilfe des Programmpaketes SPSS ausgewertet. In diesem Bericht werden die Ergebnisse der Auswertung dargestellt.

2. Darstellung der Befragungsergebnisse

2.1. Allgemeine Informationen

Insgesamt wurden 681 Fragebögen ausgefüllt, davon ca. jeweils die Hälfte für den Referenzraum ohne Lüftungsanlage (337 Fragebögen, 49,5%) und für den Raum mit Lüftungsanlage (344 Personen, 50,5%).

In der Geschlechterverteilung gibt es einen starken Überhang an Männern, 96,8% der SchülerInnen sind männlich, nur 3,2% weiblich.

Die 18 bis 20-Jährigen bilden den Hauptteil der Befragten (54,3%), gefolgt von den 15 bis 17-Jährigen (29%). Die 20 bis 30-Jährigen bilden 13,5% der Gruppe, die über 30-Jährigen sind mit nur noch 3,2% vertreten (vgl. Abbildung 1).

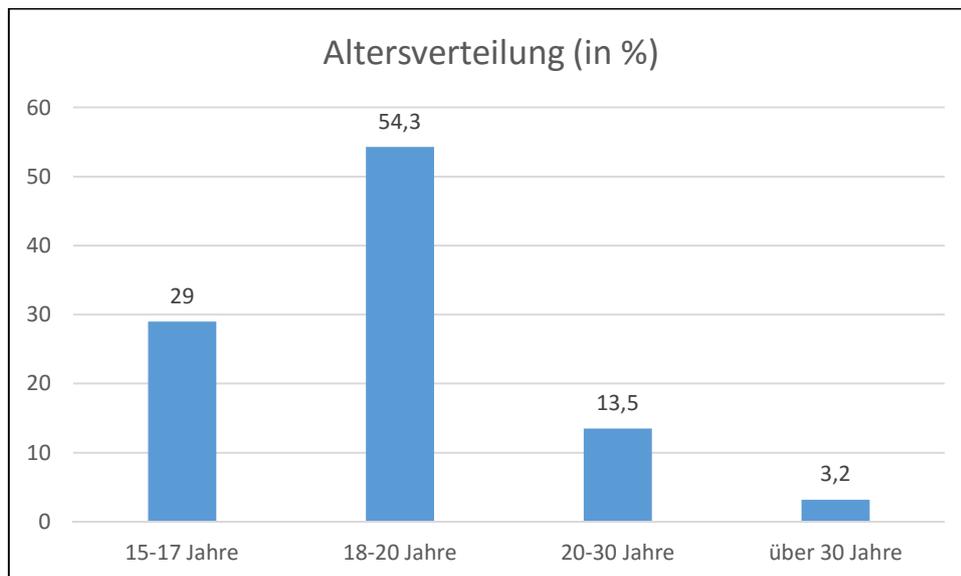


Abbildung 1: Altersverteilung der Befragten

2.2. Raum ohne Lüftungsanlage

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf den Raum ohne Lüftungsanlage.

Am Beginn des Fragebogens wurden einige Aussagen zur Luftqualität in diesem Raum angeführt, denen man zustimmen oder die man ablehnen konnte. Im Raum ohne Lüftungsanlage stimmten knapp die Hälfte der Befragten den Aussagen „Die Luftqualität im Raum ist gut“ und „Die Luft ist weder zu trocken noch zu feucht“ zu. Nur ca. 35% meinten, dass die Luftqualität im Raum gut sei, nur mehr ein geringer Prozentsatz stimmte der Aussage zu, dass „es im Raum gut riecht“ (vgl. Abbildung 2).

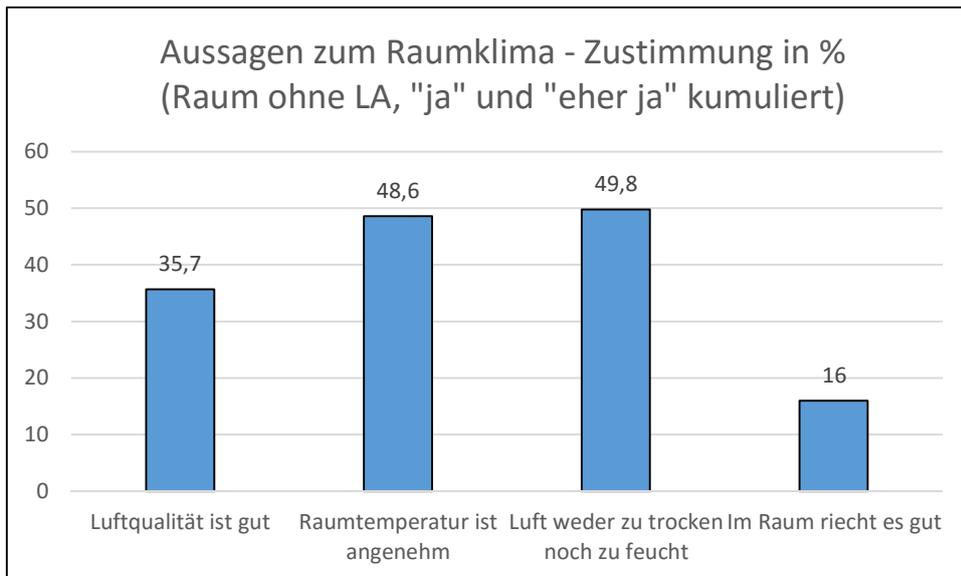


Abbildung 2: Aussagen zum Raumklima – Raum ohne Lüftungsanlage (LA)

In einer anschließenden offenen Frage war es den Befragten möglich, über Probleme mit der Luftqualität, die ihnen in diesem Raum aufgefallen sind, zu berichten.

Hier wird vor allem aber schlechte Gerüche und Gestank geklagt (11 Nennungen), darüber, dass es im Sommer zu warm bzw. zu heiß sei (10 Nennungen) und im Winter zu kalt - auch, weil die Fenster geöffnet werden müssen (7 Nennungen), dass die Luft stickig sei (8 Nennungen) und dass es durch die Fenster zieht bzw. diese undicht sind (8 Nennungen).

Ob diese Probleme behoben werden konnten, war die nächste Frage. Hier antworteten knapp 30% der Befragten mit „Ja“, knapp die Hälfte mit „teilweise“ und etwas über 20% mit „nein“ (vgl. Abbildung 3).

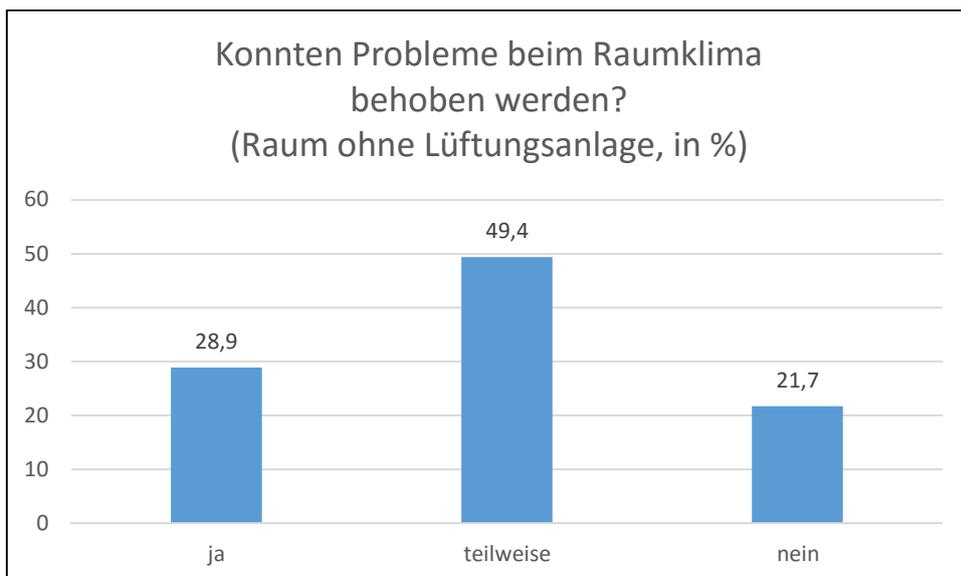


Abbildung 3: Konnten Probleme beim Raumklima behoben werden? – Raum ohne LA

Was die Luftqualität im Raum ohne Lüftungsanlage und die damit verbundene Notwendigkeit den Raum zu lüften betrifft, haben etwas mehr als die Hälfte das Gefühl, den

Raum sehr oft lüften zu müssen, ca. 40% meinen, dass er oft gelüftet werden müsse (vgl. Abbildung 4).

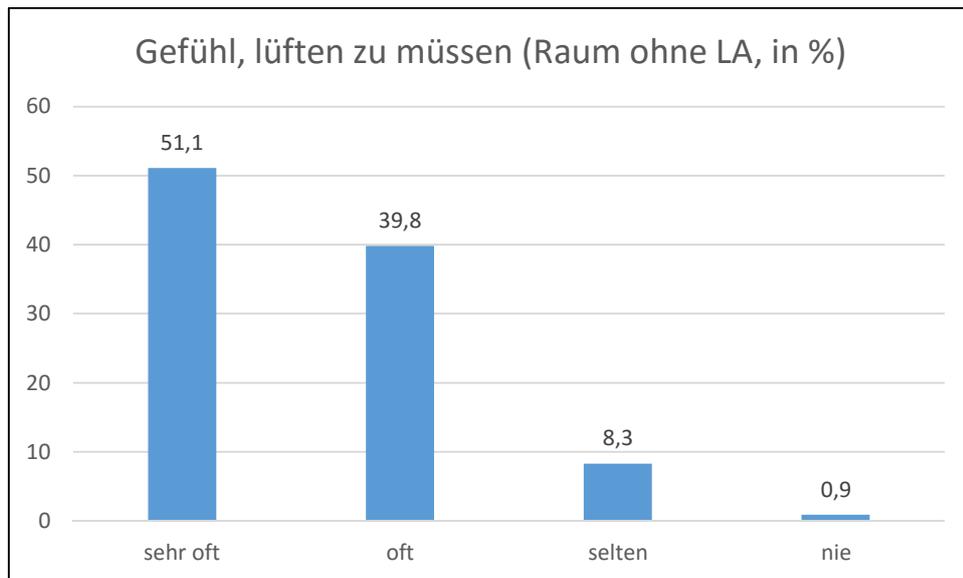


Abbildung 4: Haben Sie das Gefühl, in diesem Raum relativ oft lüften zu müssen?
- Raum ohne Lüftungsanlage

Für diese Lüftung meinen ca. 30% der Befragten, dass die Fenster dauernd geöffnet werden, über die Hälfte, dass diese häufig geöffnet werden und nur ca. 15%, dass diese manchmal oder nie geöffnet werden (vgl. Abbildung 5).

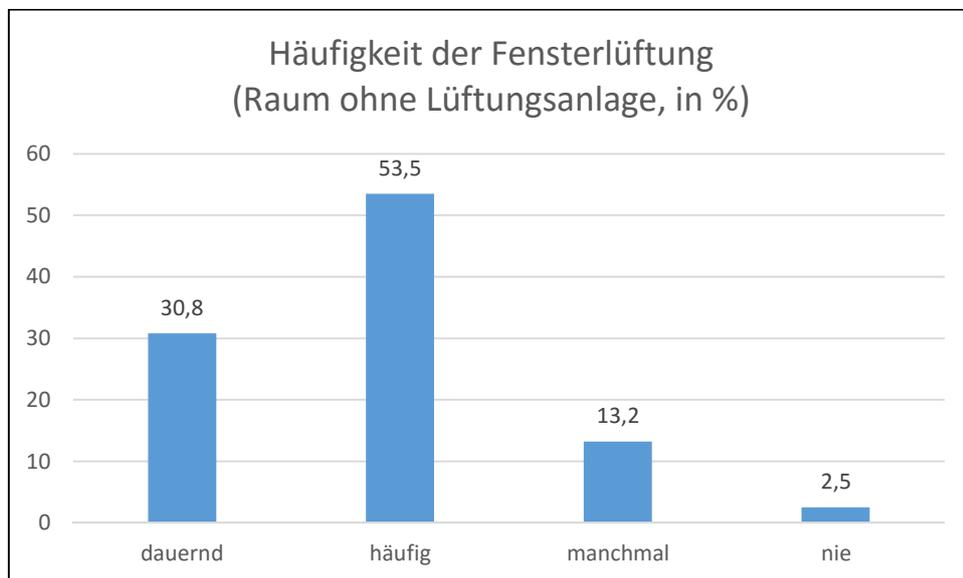


Abbildung 5: Wie oft werden die Fenster zum Lüften geöffnet? – Raum ohne LA

In diesem Fall werden die Fenster zu ca. 60% ganz geöffnet, zu ca. 10% gekippt und zu knapp 30% entweder geöffnet oder gekippt (vgl. Abbildung 6).

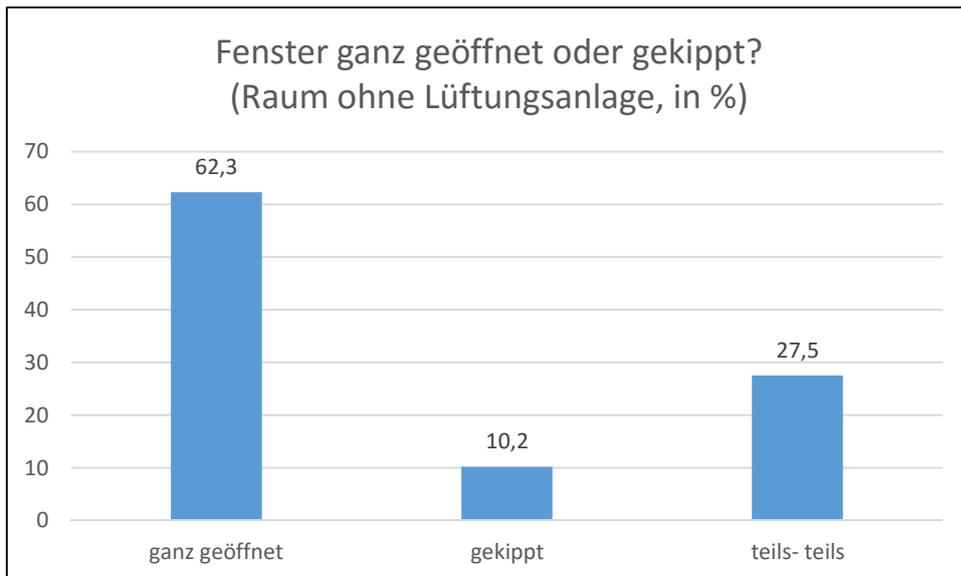


Abbildung 6: Werden die Fenster ganz geöffnet oder gekippt? – Raum ohne LA

Sehr interessant ist die Frage, wie gut sich die SchülerInnen über den Tag verteilt im Unterricht in diesem Raum konzentrieren können. Hier zeigt sich, dass am Morgen sich noch ca. 70% der Befragten sehr gut oder gut konzentrieren können, am Vormittag auch noch ca. 66%, am frühen Nachmittag sind es noch ca. die Hälfte und am späten Nachmittag nur mehr ca. ein Viertel der Befragten (vgl. Abbildung 7).

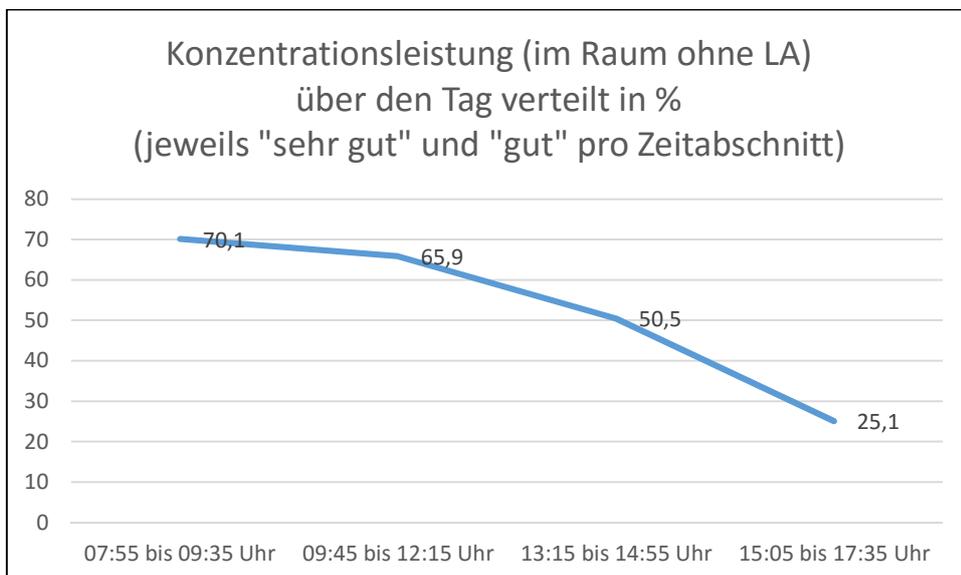


Abbildung 7: Gefühl, sich in diesem Raum konzentrieren zu können – Raum ohne LA

Knapp die Hälfte der Befragten meint auch, dass die Luft in diesem Raum schon nach einigen Minuten „dick“ wird, etwas mehr als 40% meinen, dass die Luft erst gegen Ende der Stunde schlecht wird und nur knapp 10% sagen, dass die Luft im Raum angenehm bleibt (vgl. Abbildung 8).

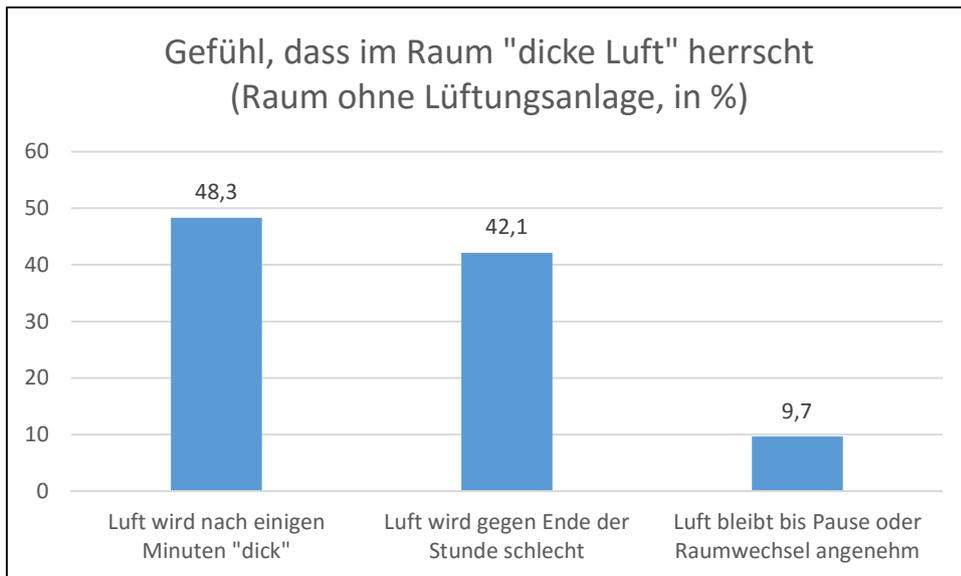


Abbildung 8: Haben Sie das Gefühl, dass in diesem Raum „dicke Luft“ herrscht? – Raum ohne Lüftungsanlage

Etwas mehr als ein Viertel der Befragten meint auch, dass ihre schulischen Leistungen mit Sicherheit besser waren, wenn auch die Luft im Raum besser wäre, dass das „eher schon“ der Fall wäre, antworten fast 60% der Befragten (vgl. Abbildung 9).

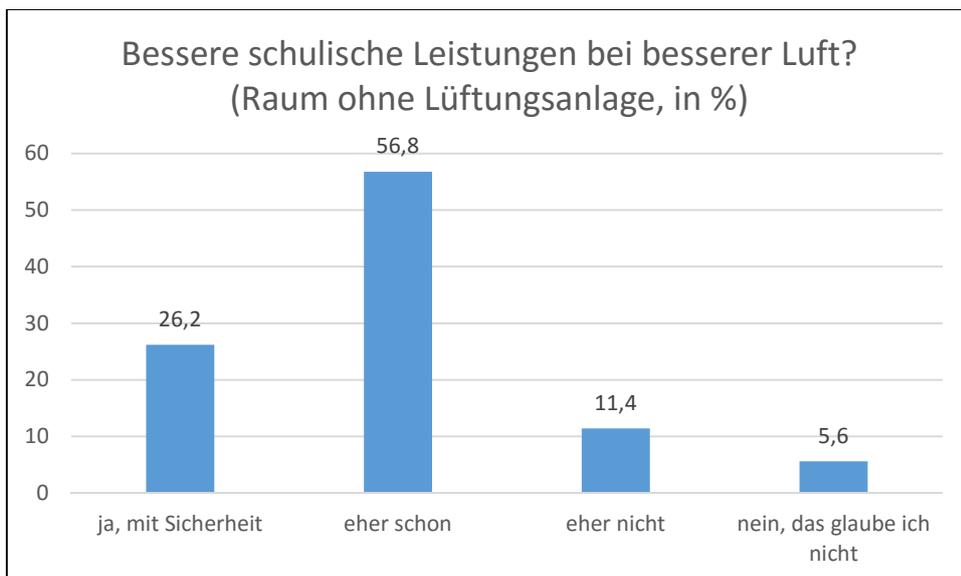


Abbildung 9: Glauben Sie, dass Ihre schulischen Leistungen bei besserer Luft auch besser wären? – Raum ohne Lüftungsanlage

Und 90% der Befragten glauben, dass die Luftqualität in diesem Raum mit einer Lüftungsanlage besser wäre (vgl. Abbildung 10).

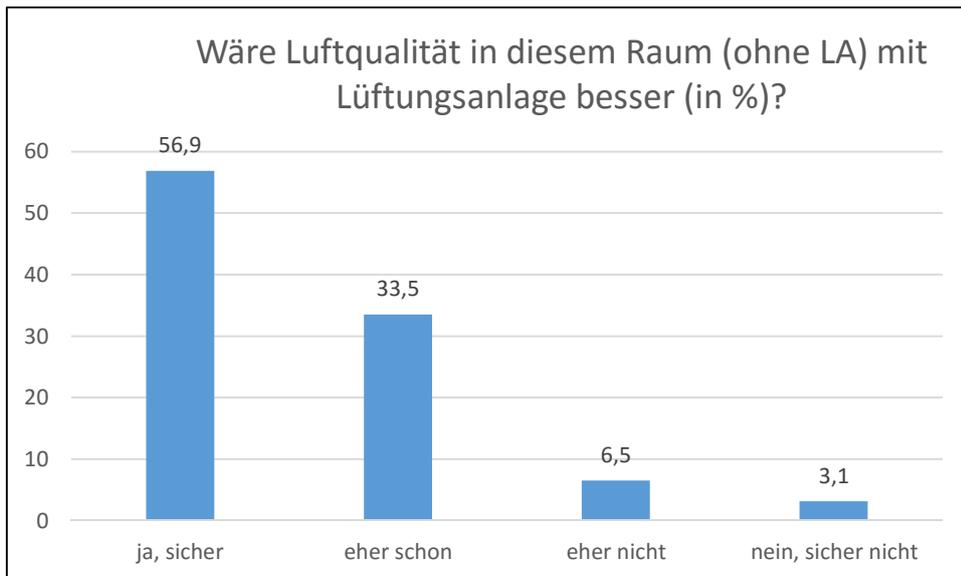


Abbildung 10: Glauben Sie, dass die Luftqualität in diesem Raum mit einer Lüftungsanlage besser wäre? – Raum ohne Lüftungsanlage

Die Befragten konnten noch die Luftqualität in diesem Raum bewerten. Nur ca. 15% stufen die Luftqualität als sehr gut oder gut ein, ein Drittel mit befriedigend, ca. ein weiteres Drittel mit genügend und ca. 16% mit nicht genügend (vgl. Abbildung 11).

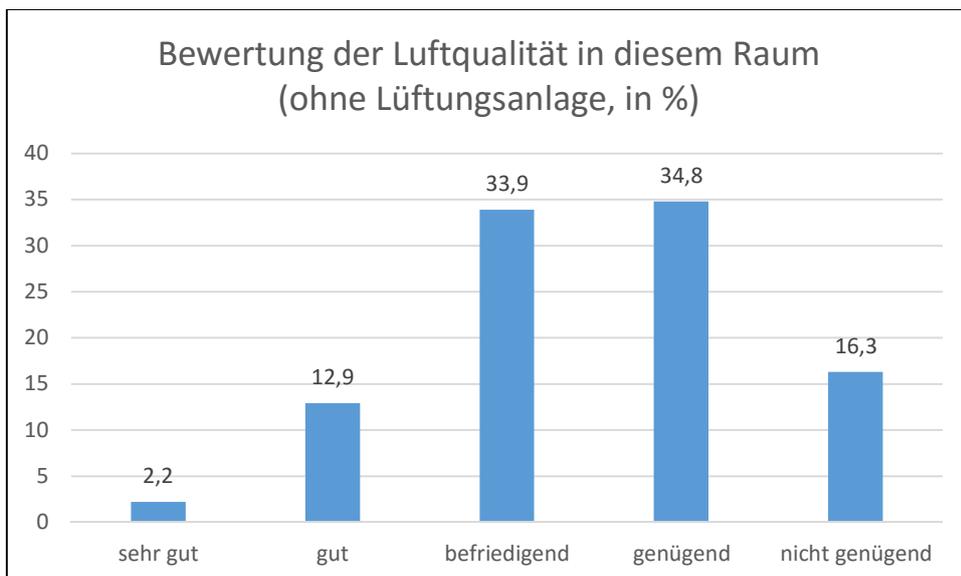


Abbildung 11: Welche Schulnote würden Sie insgesamt der Luftqualität in diesem Raum geben? – Raum ohne Lüftungsanlage

Diese Bewertung bestätigt sich noch einmal in den abschließenden Aussagen zur Luftqualität in diesem Raum: Die Luft sei schlecht, stickig und muffig (15 Nennungen), es rieche schlecht und stinke (7 Nennungen). Eine Lüftungsanlage im Raum wäre gut oder von Vorteil (6 Nennungen), die Fenster müssten immer geöffnet werden (5 Nennungen), was vor allem im Winter zu kalter Luft im Raum führe (3 Nennungen) bzw. sei es im Sommer im Raum zu heiß (6 Nennungen).

Zum Abschluss wurden die SchülerInnen noch ihrer Einschätzung bzgl. ihrer schulischen Leistungen befragt. Hier zeigte sich, dass bei der Befragung im Raum ohne Lüftungsanlage ca. 28% meinten, sie seien „sehr gut“ unterwegs und streben eine Auszeichnung an, ca. 33% könnten einen „guten Erfolg“ erwarten, ca. 37% meinen, ihre Leistung sei „mäßig, aber ausreichend“ und nur ganz wenige meinen, sie seien schlecht unterwegs (vgl. Abbildung 12).

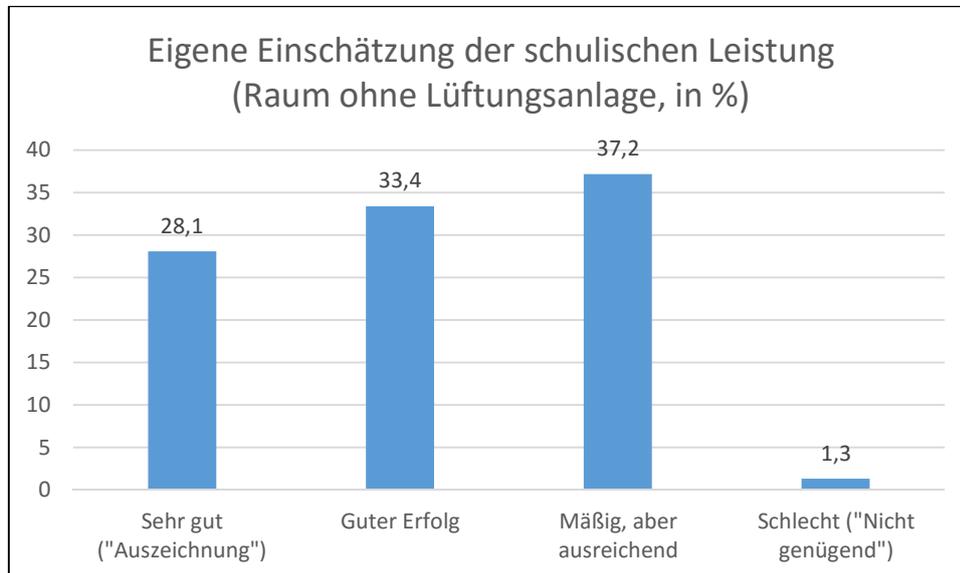


Abbildung 12: Eigene Einschätzung der schulischen Leistungen – Raum ohne Lüftungsanlage

2.3. Raum mit Lüftungsanlage

Im Vergleich zum Raum ohne Lüftungsanlage wurde auch im Raum mit Lüftungsanlage eine Befragung über mehrere Jahrgänge durchgeführt. Als erstes wurden die SchülerInnen gefragt, wie zufrieden sie mit dem Funktionieren dieser Lüftungsanlage in diesem Raum sind. Sehr zufrieden mit der Anlage sind ca. 20%, etwas mehr als die Hälfte sind eher zufrieden, knapp ein Viertel eher unzufrieden und ganz wenige sehr unzufrieden (vgl. Abbildung 13).

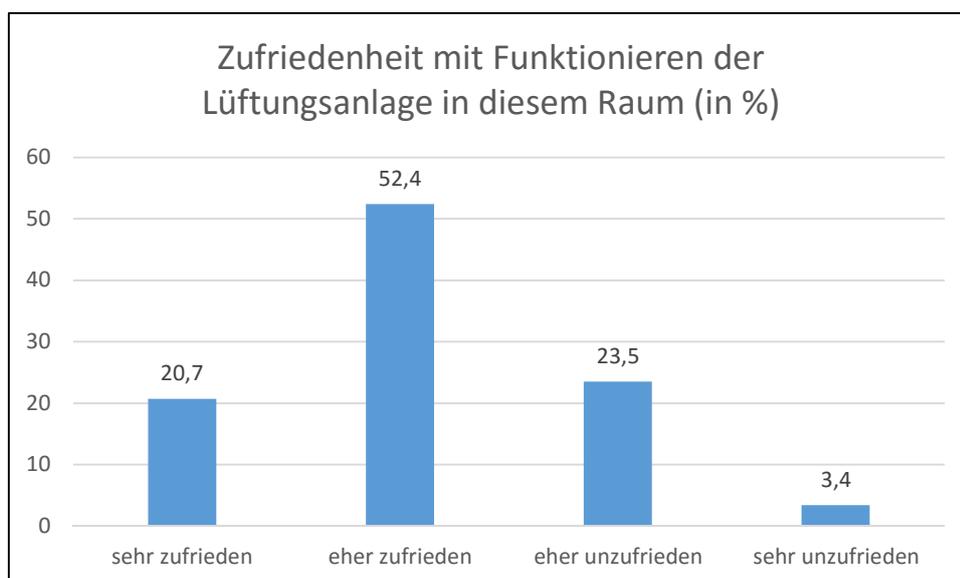


Abbildung 13: Wie zufrieden sind Sie mit dem Funktionieren der Lüftungsanlage?

Die Zuverlässigkeit der Lüftungsanlage in diesem Raum wird von knapp 20% als sehr zuverlässig eingeschätzt, von mehr als der Hälfte als eher zuverlässig, und von einem Viertel als eher unzuverlässig (vgl. Abbildung 14).

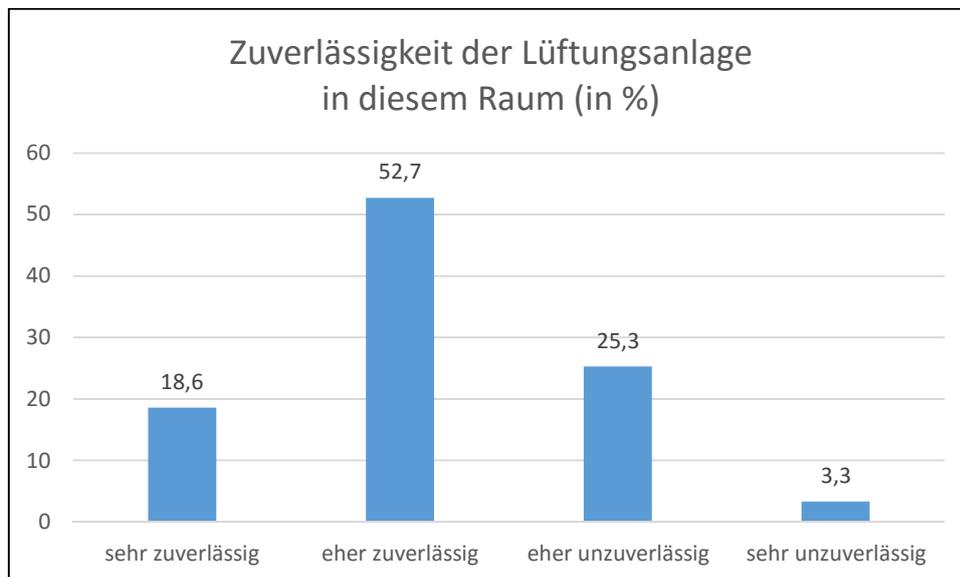


Abbildung 14: Wie zuverlässig funktioniert Ihrer Meinung nach die Lüftungsanlage in diesem Raum?

Auch in diesem Fragebogen gab es die Möglichkeit, Aussagen zum Raumklima im Raum mit Lüftungsanlage zuzustimmen oder diese abzulehnen. Die größte Zustimmung erhielt die Aussage „Die Lüftung verursacht keine Zugluft“ (83%), gefolgt von „Die Luftqualität im Raum ist gut“ (78%), „Die Luft ist weder zu trocken noch zu feucht“ (75%) und „Die Lüftungsanlage verursacht keine Geräusche“ (71%). Immerhin noch zwei Drittel der Befragten finden, dass die Raumtemperatur angenehm ist und etwas mehr als die Hälfte meinen, dass es im Raum gut riecht (vgl. Abbildung 15).

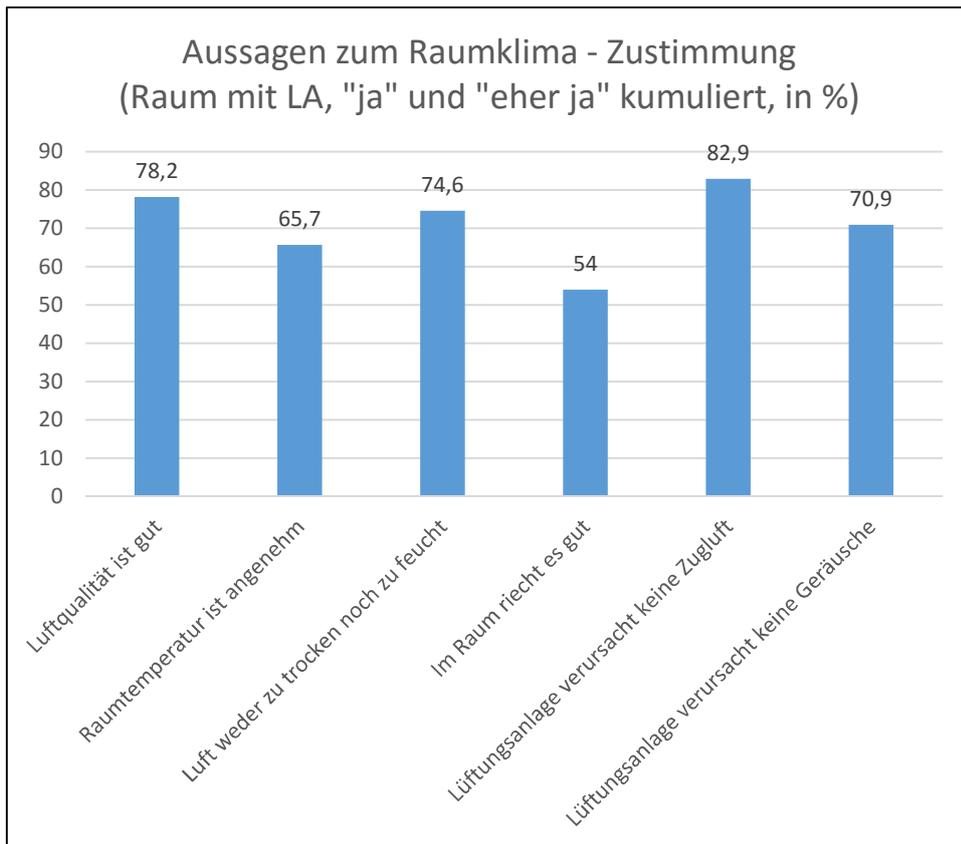


Abbildung 15: Stimmen Sie folgenden Aussagen zum Raumklima zu? – Raum mit LA

Auch hier konnten die Befragten wieder über Probleme berichten, die sie in diesem Raum mit dem Raumklima oder der Lüftungsanlage wahrgenommen haben. Hier wurden die folgenden Probleme genannt:

Im Raum ist es zu kalt (15 Nennungen) bzw. zu heiß (9 Nennungen), das Geräusch der Lüftungsanlage sei zu laut (6 Nennungen), die Luft zu trocken (5 Nennungen) und es gäbe starke Gerüche (3 Nennungen). Die Luft sei trotz Lüftungsanlage schlecht (3 Nennungen) bzw. müssten die Fenster trotz Lüftungsanlage gekippt oder geöffnet werden.

Ob diese Probleme behoben werden konnten, war auch hier die nächste Frage. Ca. die Hälfte der Befragten meint „ja“, ca. 37% meinen „teilweise“, nur ca. 13% antworten mit „nein“ (vgl. Abbildung 16).

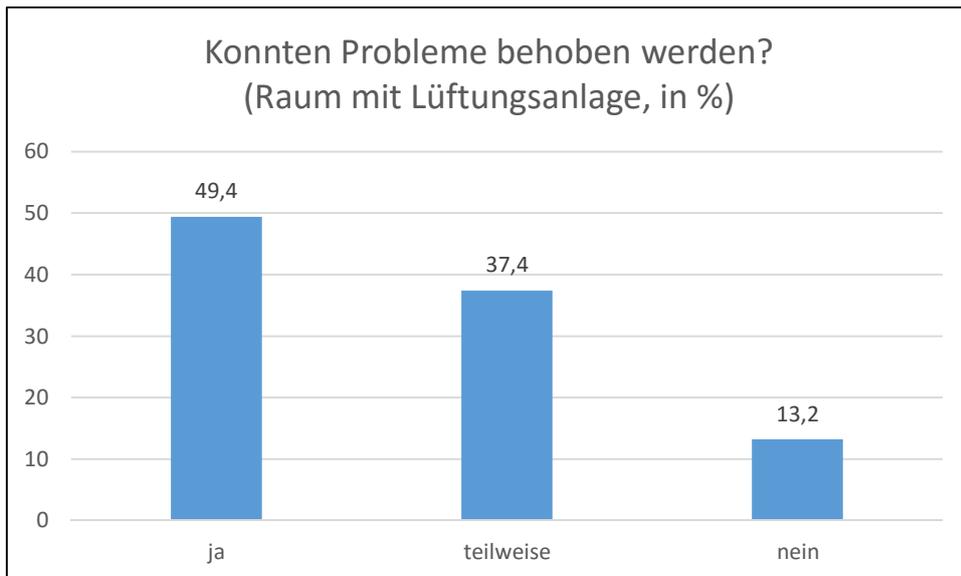


Abbildung 16: Falls es Probleme gab: Konnten diese behoben werden? – Raum mit LA

Durch den Einsatz der Lüftungsanlage sollte es in diesem Raum eigentlich nicht notwendig sein, die Fenster zu öffnen und lüften zu müssen. Haben die Befragten trotzdem das Gefühl, dies tun zu müssen? Ca. 14% der Befragten meinen, dass dies sehr oft der Fall ist, fast 30%, dass es oft so ist. Die Hälfte meint, dass es selten sei, 8% sagen, dass es überhaupt nie vorkomme (vgl. Abbildung 17).

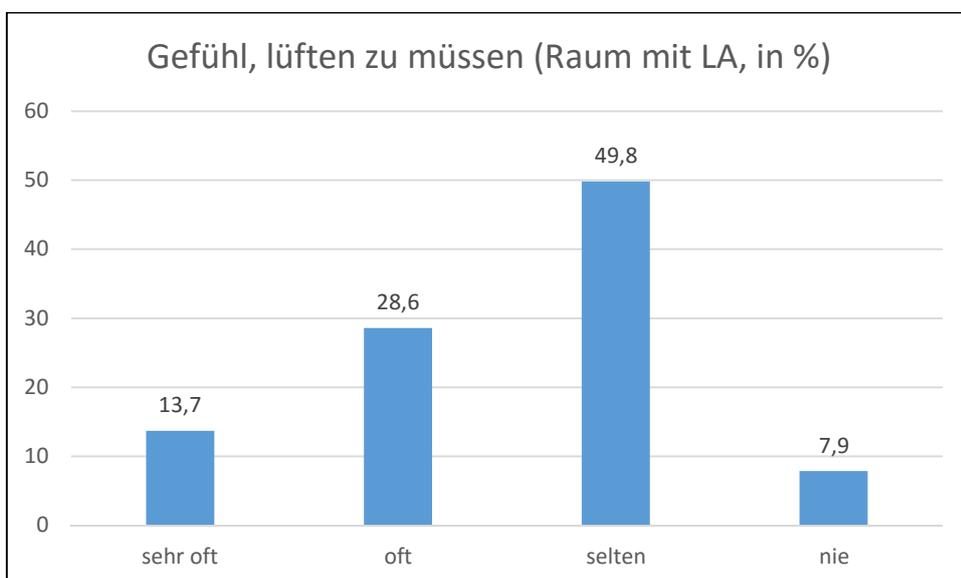


Abbildung 17: Haben Sie das Gefühl, in diesem Raum – trotz LA – lüften zu müssen?

Wie oft werden die Oberlichter der Fenster in diesem Raum zum Lüften gekippt?

Ca. 12% meinen, dies sei dauernd der Fall, ein Drittel der Befragten meint, dies sei häufig der Fall, ca. 42% meinen, manchmal und nur ca. 13% nie (vgl. Abbildung 18).

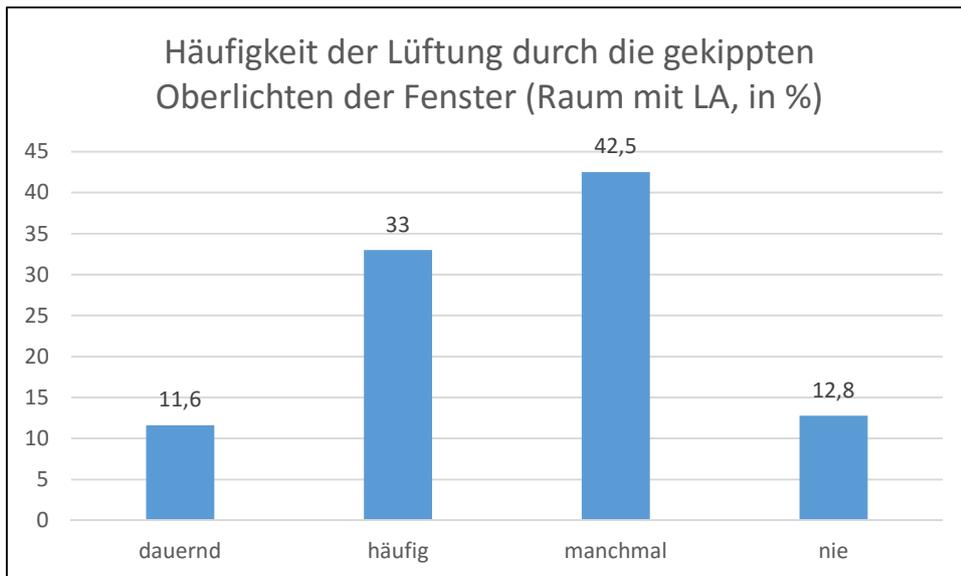


Abbildung 18: Wie oft werden die Oberlichten der Fenster zum Lüften gekippt? – Raum mit Lüftungsanlage

Auch hier ist die Frage interessant, wie sich die SchülerInnen in diesem Raum mit Lüftungsanlage konzentrieren können. Hier zeigt sich, dass diese Konzentrationsfähigkeit in der ersten Hälfte des Vormittags zu drei Viertel sehr gut oder gut konzentrieren können, in der zweiten Hälfte des Vormittags zu 83% sehr gut oder gut, in der ersten Hälfte des Nachmittags zu zwei Drittel und am späteren Nachmittag noch immer zu 44% (vgl. Abbildung 19).

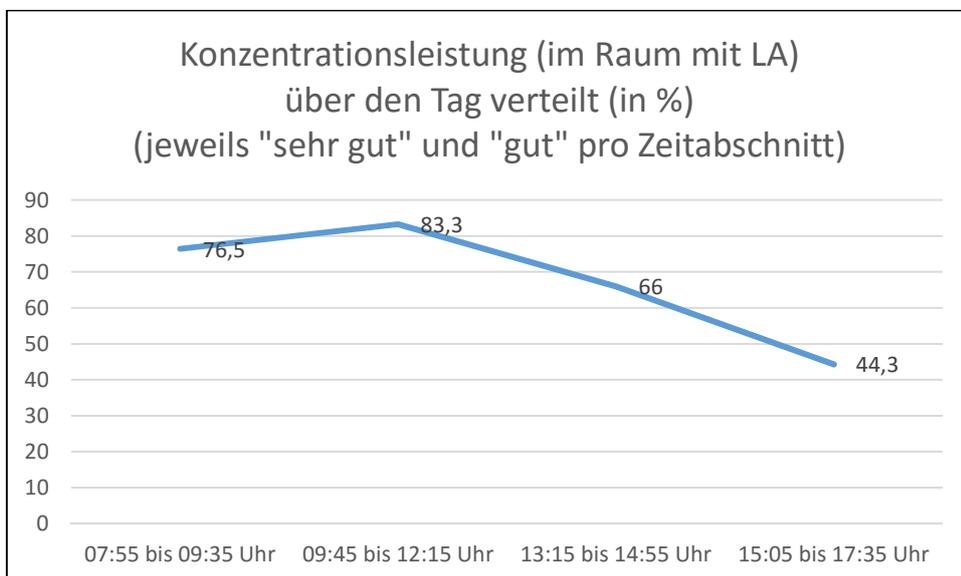


Abbildung 19: Gefühl, sich in diesem Raum konzentrieren zu können – Raum mit LA

In diesem Raum mit Lüftungsanlage haben nur ca. 12% der Befragten das Gefühl, dass die Luft schon nach einigen Minuten „dick“ wird, ca. 42% meinen, dies sei erst gegen Ende der Stunde der Fall und ca. 45% meinen, dass die Luft längere Zeit angenehm bleibe (vgl. Abbildung 20).

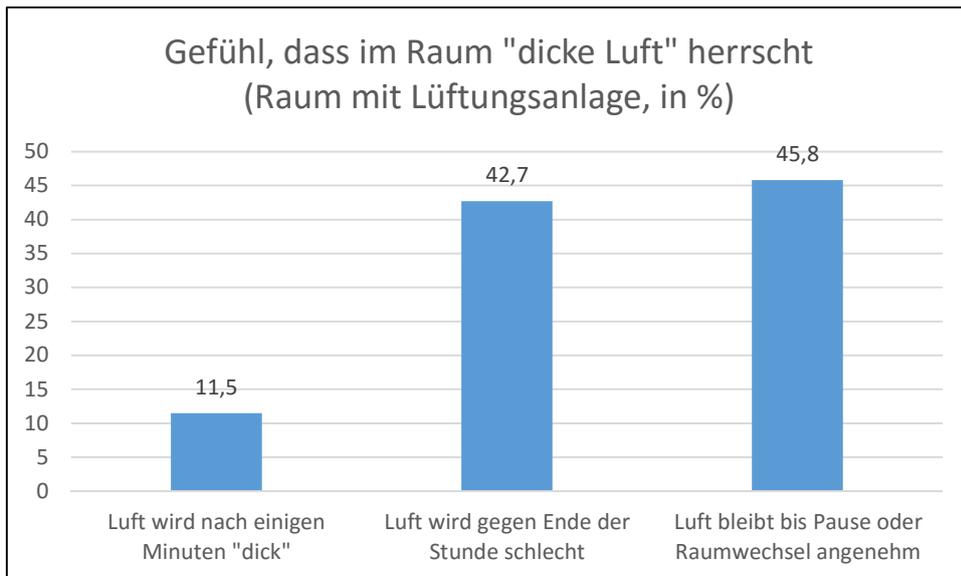


Abbildung 20: Haben Sie das Gefühl, dass in diesem Raum „dicke Luft“ herrscht?
- Raum mit Lüftungsanlage

Auch hier ging es um die Einschätzung, ob die schulischen Leistungen nach Einschätzung der Befragten bei besserer Luft auch besser wären? Hier meinen ca. 27%, dass dies sicher der Fall sei, ca.45% meinen, eher ja, nur knapp 20% sagen „eher nicht“ (vgl. Abbildung 21).

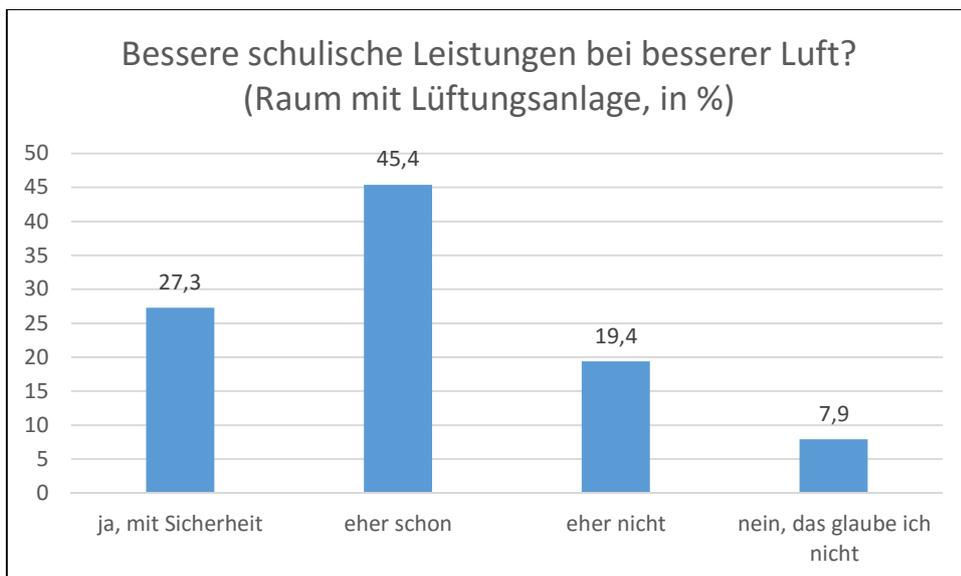


Abbildung 21: Glauben Sie, dass Ihre schulischen Leistungen bei besserer Luft auch besser wären? – Raum mit Lüftungsanlage

Zum Abschluss des Fragebogens konnte wiederum die Luftqualität in diesem Raum beurteilt werden. Hier vergaben 10% ein „sehr gut“, mehr als 40% ein „gut“, ca. 30% ein „befriedigend“, und ca. 12% ein „genügend“ (vgl. Abbildung 22).

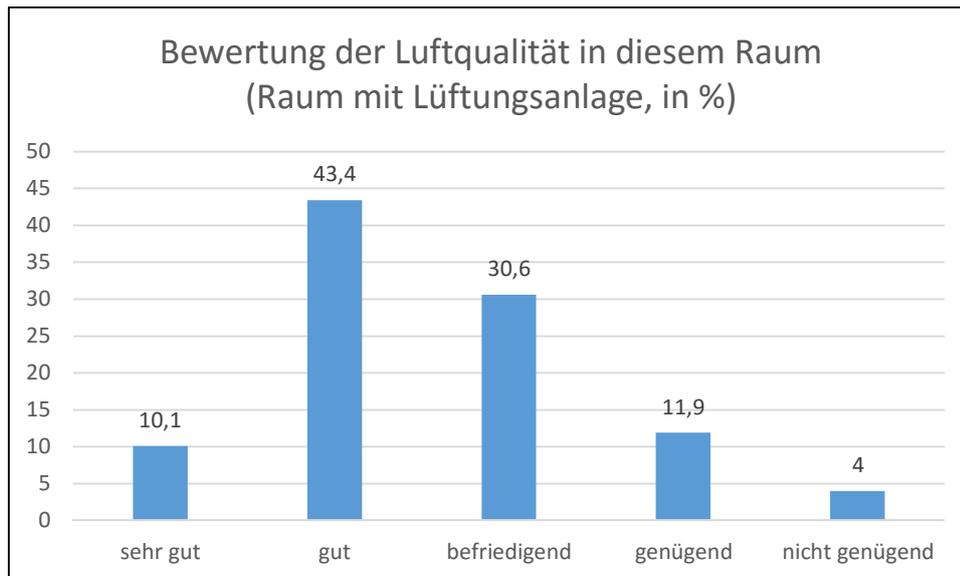


Abbildung 22: Welche Schulnote würden Sie insgesamt der Luftqualität in diesem Raum geben? – Raum mit Lüftungsanlage

Hier gab es auch noch die Möglichkeit, Anmerkungen zur Luftqualität bzw. zur Lüftungsanlage in diesem Raum aufzuschreiben. Dabei wurde angegeben, dass die Luft im Raum angenehmer und besser sei als in anderen Räumen und die Anlage gut funktioniere (10 Nennungen), dass die Lüftungsanlage eine gute Idee sei, weiter empfohlen werde und in allen Räumen eingesetzt werden solle (7 Nennungen), aber auch, dass trotz der Lüftungsanlage die Fenster geöffnet oder gekippt werden müssen (7 Nennungen), die Luft schlecht, muffig oder abgestanden sei (5 Nennungen), dass es zu wenig Luftaustausch gäbe (5 Nennungen) und dass Fenster öffnen besser sei als der Einsatz einer Lüftungsanlage (4 Nennungen). Eine Kühlung im Sommer (7 Nennungen) bzw. mehr Wärme im Winter (ebenfalls 7 Nennungen) werden gewünscht.

Auch im Raum mit Lüftungsanlage wurden die SchülerInnen wieder nach der Einschätzung ihrer schulischen Leistung gefragt. Hier meinen knapp 30%, dass sie eine Auszeichnung zu erwarten hätten, 32% glauben an einen guten Erfolg, ca. 37% meinen, dass ihre Leistung mäßig, aber ausreichend sei und auch hier schätzen sich nur ganz wenige schlecht ein (vgl. Abbildung 23).

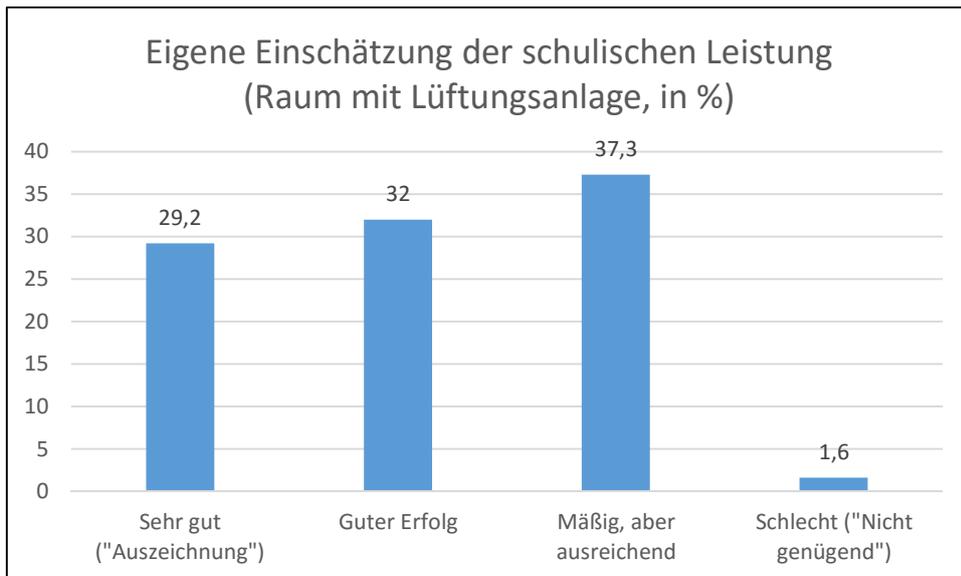


Abbildung 23: Eigene Einschätzung der schulischen Leistung – Raum mit Lüftungsanlage

3. Resümee

Da Befragungen in beiden Klassenräumen (in jenem ohne Lüftungsanlage und in jenem mit Lüftungsanlage) durchgeführt wurden, können hier die Ergebnisse und Einschätzungen der befragten SchülerInnen gut verglichen werden.

Bei den Aussagen zum Raumklima zeigt sich, dass die Luftqualität im Raum mit der Lüftungsanlage durchgehend besser bewertet wird („Luftqualität ist gut“ (78 zu 36%), „Luft weder zu trocken noch zu feucht“ (75 zu 50%), „Raumtemperatur ist angenehm“ (66 zu 49%) und „Im Raum riecht es gut“ (54 zu 16%)). Auch die Lüftungsanlage an sich wird Großteils gut bewertet („verursacht keine Zugluft“ (83%) und „verursacht keine Geräusche“ (71%)).

Dies wird auch durch die Antworten auf die Frage, welche Probleme den Befragten bei der Luftqualität aufgefallen seien, bestätigt, hier wird vor allem genannt, dass es schlechte Gerüche und Gestank im Raum ohne Lüftungsanlage gäbe und die Luft stickig sei. Allerdings gibt es auch Probleme mit Überhitzung des Raumes im Sommer bzw. zu großer Kälte im Raum im Winter.

Derartige Aussagen finden sich bei der Bewertung des Raumes mit der Lüftungsanlage in Bezug auf die Luftqualität viel weniger, allerdings werden auch hier Probleme vor allem mit zu niedrigen bzw. zu hohen Temperaturen genannt. Dieses Phänomen dürfte also beide Räume betreffen, unabhängig davon, ob mit oder ohne Lüftungsanlage. Einige meinen auch, dass die Lüftungsanlage zu laut sei bzw. die Luft durch die Lüftungsanlage zu trocken werde.

Zumindest konnte ein Teil der geäußerten Probleme behoben werden, verstärkt im Raum mit Lüftungsanlage.

Das Gefühl, lüften zu müssen, ist im Raum mit Lüftungsanlage auch viel weniger ausgeprägt als im Raum ohne Lüftungsanlage: „sehr oft“ (14 zu 51%), „selten“ (50 zu 8%)). Im Raum mit Lüftungsanlage wird auch wesentlich weniger gelüftet („dauernd“ (12 zu 31%), „häufig“ (33 zu 53%), „manchmal“ (13 zu 42%)). Zumindest werden die Fenster beim Lüften im Raum ohne Lüftungsanlage zu 60% ganz geöffnet und damit stoßgelüftet.

Ebenfalls ist das Gefühl, ob im Raum „dicke Luft“ herrscht, im Klassenraum mit der Lüftungsanlage viel weniger ausgeprägt als im Klassenraum ohne Lüftungsanlage („Luft wird nach einigen Minuten dick“ (11 zu 48%), „Luft bleibt bis Pause oder Raumwechsel angenehm“ (46 zu 10%)).

Und ca. 90% der Befragten meinen, dass die Luftqualität im Raum ohne Lüftungsanlage „mit Sicherheit“ oder „eher schon“ mit einer Lüftungsanlage besser wäre.

Eine sehr spannende Frage ist, wie sich die Konzentrationsmöglichkeit der SchülerInnen über den Tag verteilt darstellt. Dies hängt natürlich sicher nicht nur von der Luftqualität ab und hat auch mit anderen Faktoren zu tun, die Luftqualität in einem Raum spielt dafür aber sicher eine wichtige Rolle. Hier zeigt sich, dass im Raum ohne Lüftungsanlage die Konzentration von einem guten Wert am Morgen (70%) bis zum späteren Nachmittag kontinuierlich auf einen schlechten Wert von 25% abfällt. Im Raum mit Lüftungsanlage hingegen beginnt der Wert bei 77%, wird am späteren Vormittag sogar noch höher (83%) und fällt am späteren Nachmittag nur auf einen Wert von 44% ab. Hier zeigt sich also, dass

die Luftqualität im Raum mit der Lüftungsanlage eine signifikante Auswirkung auf die Aufnahme- und Konzentrationsfähigkeit der SchülerInnen hat.

Die SchülerInnen selbst meinen auch, dass ihre Leistungen bei besserer Luftqualität auch besser wären – hier macht es relativ wenig Unterschied, ob diese Einschätzung im Raum mit oder im Raum ohne Lüftungsanlage getroffen wird.

Die Einschätzung der eigenen schulischen Leistung korreliert auch nicht mit den beiden verschiedenen Räumen, sie ist sehr einheitlich, egal, ob im Raum mit oder ohne Lüftungsanlage vorgenommen.

Eine abschließende Beurteilung der Luftqualität bzw. der Lüftungsanlage wiederum über offene Antworten zeigt noch einmal, dass die Luft im Raum ohne Lüftungsanlage als schlecht, stickig und muffig beurteilt wird und mit schlechtem Geruch assoziiert wird. Daher müssen die Fenster geöffnet werden, was im Sommer dazu führt, dass es zu heiß bzw. im Winter, dass es zu kalt wird.

Im Raum mit der Lüftungsanlage wird die Luft als angenehm beschrieben, die Lüftungsanlage funktioniert gut und kann weiterempfohlen werden, allerdings müssten auch in diesem Raum manchmal die Fenster zum Lüften geöffnet werden. Die Geräuschentwicklung der Lüftungsanlage und Zugluft durch die Anlage stellen für manche ein Problem dar, an dem noch gearbeitet werden müsste. Auch in diesem Raum besteht ein Problem mit Überhitzung und Unterkühlung.

Zusammenfassend wird die Luftqualität im Klassenraum mit der Lüftungsanlage wesentlich besser eingeschätzt („sehr gut“ (10 zu 2%), „gut“ (43 zu 13%), „genügend“ (12 zu 35%), „nicht genügend“ (4 zu 16%).

Aufgrund der Befragungsergebnisse kann auf jeden Fall geschlossen werden, dass die Luftqualität im Klassenraum mit der Lüftungsanlage wesentlich besser ist als im Klassenraum ohne Lüftungsanlage. Auch die Konzentrationsfähigkeit der SchülerInnen ist in diesem Raum wesentlich höher als im anderen Raum und sie selbst meinen auch, dass sie bei besserer Luft wesentlich bessere schulische Leistungen erreichen würden. Kleinere Probleme wie die manchmal genannte Geräuschentwicklung der Anlage müssten noch behoben werden, ebenso das Problem der Überhitzung der Räume im Sommer bzw. der Unterkühlung der Räume im Winter – dies hängt allerdings nicht unbedingt mit der Lüftungsanlage zusammen, sondern wahrscheinlich wohl eher mit der schlechten Isolierung und den offensichtlich undichten Fenstern des Gebäudes.

In diesem Sinne kann der Einbau von Lüftungsanlagen in allen Klassenräumen auf jeden Fall empfohlen werden.

4. Anhang

4.1. Fragebogen - Raum ohne Lüftungsanlage

BEFRAGUNG ZUR LUFTQUALITÄT IN DIESEM UNTERRICHTSRAUM Referenzraum

Energie Tirol führt zusammen mit dem Interdisziplinären Forschungszentrum (IFZ) eine Befragung im Rahmen dieses Lehrganges durch. Thema ist die Luftqualität in diesem Unterrichtsraum. Wir bitten Sie, die folgenden Fragen zu beantworten – es geht dabei um Ihre persönliche Einschätzung und Ihr Empfinden. Alle Antworten und Daten werden anonym erfasst und streng vertraulich behandelt. Wir danken herzlich für Ihre Unterstützung!

I. Zur Luftqualität

1. Stimmen Sie folgenden Aussagen zum Raumklima zu?
(1= ja; 2 = eher ja; 3 = eher nein; 4 = nein)

- | | | | | |
|---|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| a) Die Luftqualität im Raum ist gut. | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |
| b) Die Raumtemperatur ist angenehm. | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |
| c) Die Luft ist weder zu trocken, noch zu feucht. | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |
| d) Im Raum riecht es gut. | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |

Mir sind folgende Probleme beim Raumklima aufgefallen:

- 1.1. Falls es Probleme gab: Konnten diese behoben werden?

ja teilweise nein

2. Haben Sie das Gefühl, in diesem Raum relativ oft lüften zu müssen?

sehr oft oft selten nie

3. Wie oft werden die Fenster zum Lüften geöffnet?

dauernd häufig manchmal nie

- 3.1. Wenn gelüftet wird: Werden die Fenster ganz geöffnet oder gekippt?

ganz geöffnet gekippt teils – teils

4. Haben Sie das Gefühl, sich in diesem Raum gut konzentrieren zu können?

Notieren Sie bitte Ihre Wahrnehmung über den Tag verteilt innerhalb der folgenden Zeiträume:

07:55 bis 09:35 Uhr	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> weniger gut	<input type="checkbox"/> gar nicht gut
09:45 bis 12:15 Uhr	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> weniger gut	<input type="checkbox"/> gar nicht gut
13:15 bis 14:55 Uhr	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> weniger gut	<input type="checkbox"/> gar nicht gut
15:05 bis 17:35 Uhr	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> weniger gut	<input type="checkbox"/> gar nicht gut

5. Haben Sie das Gefühl, dass in diesem Raum „dicke Luft“ herrscht?

- Ja, die Luft wird schon nach einigen Minuten „dick“.
- Die Luft wird erst gegen Ende der Stunde schlecht.
- Nein, die Luft bleibt bis zur nächsten Pause oder bis zum nächsten Raumwechsel angenehm.

5.1. Wenn die Luft im Raum „dick“ ist: Glauben Sie, dass Ihre schulischen Leistungen bei besserer Luft auch besser wären?

- ja, mit Sicherheit
- eher schon
- eher nicht
- nein, das glaube ich nicht

6. Glauben Sie, dass die Luftqualität in diesem Raum mit einer Lüftungsanlage besser wäre?

- ja, sicher
- eher schon
- eher nicht
- nein, sicher nicht

7. Welche Schulnote würden Sie insgesamt der Luftqualität in diesem Raum geben?

- sehr gut
- gut
- befriedigend
- genügend
- nicht genügend

8. Was möchten Sie uns sonst noch bzgl. der Luftqualität in diesem Raum mitteilen?

II. Sozialstatistik

9. Ihr Geschlecht

- männlich
- weiblich

10. Ihr Alter

- 15 bis 17 Jahre
- 18 bis 20 Jahre
- 20 bis 30 Jahre
- älter als 30 Jahre

11. Wie schätzen Sie Ihre schulischen Leistungen in diesem Lehrgang insgesamt ein?

- Sehr gut, ich strebe eine „Auszeichnung“ an.
- Gut, es müsste sich ein „Guter Erfolg“ ausgehen.
- Mäßig, aber ausreichend.
- Schlecht, ich muss ein oder mehrere „Nicht genügend“ befürchten.

Heutiges Datum: _____

Herzlichen Dank für Ihre Mithilfe!

6. Haben Sie das Gefühl, sich in diesem Raum gut konzentrieren zu können?
Notieren Sie bitte Ihre Wahrnehmung über den Tag verteilt innerhalb der folgenden Zeiträume:

07:55 bis 09:35 Uhr sehr gut gut weniger gut gar nicht gut
09:45 bis 12:15 Uhr sehr gut gut weniger gut gar nicht gut
13:15 bis 14:55 Uhr sehr gut gut weniger gut gar nicht gut
15:05 bis 17:35 Uhr sehr gut gut weniger gut gar nicht gut

7. Haben Sie das Gefühl, dass in diesem Raum „dicke Luft“ herrscht?

Ja, die Luft wird schon nach einigen Minuten „dick“.
 Die Luft wird erst gegen Ende der Stunde schlecht.
 Nein, die Luft bleibt bis zur nächsten Pause oder bis zum nächsten Raumwechsel angenehm.

- 7.1. Wenn die Luft im Raum „dick“ ist: Glauben Sie, dass Ihre schulischen Leistungen bei besserer Luft auch besser wären?

ja, mit Sicherheit eher schon eher nicht nein, das glaube ich nicht

8. Welche Schulnote würden Sie insgesamt der Luftqualität in diesem Raum geben?

sehr gut gut befriedigend genügend nicht genügend

9. Was möchten Sie uns sonst noch bzgl. der Luftqualität bzw. der Lüftungsanlage in diesem Raum mitteilen?

II. Sozialstatistik

10. Ihr Geschlecht

männlich weiblich

11. Ihr Alter

15 bis 17 Jahre
 18 bis 20 Jahre
 20 bis 30 Jahre
 älter als 30 Jahre

12. Wie schätzen Sie Ihre schulischen Leistungen in diesem Lehrgang insgesamt ein?

Sehr gut, ich strebe eine „Auszeichnung“ an.
 Gut, es müsste sich ein „Guter Erfolg“ ausgehen.
 Mäßig, aber ausreichend.
 Schlecht, ich muss ein oder mehrere „Nicht genügend“ befürchten.

Heutiges Datum: _____

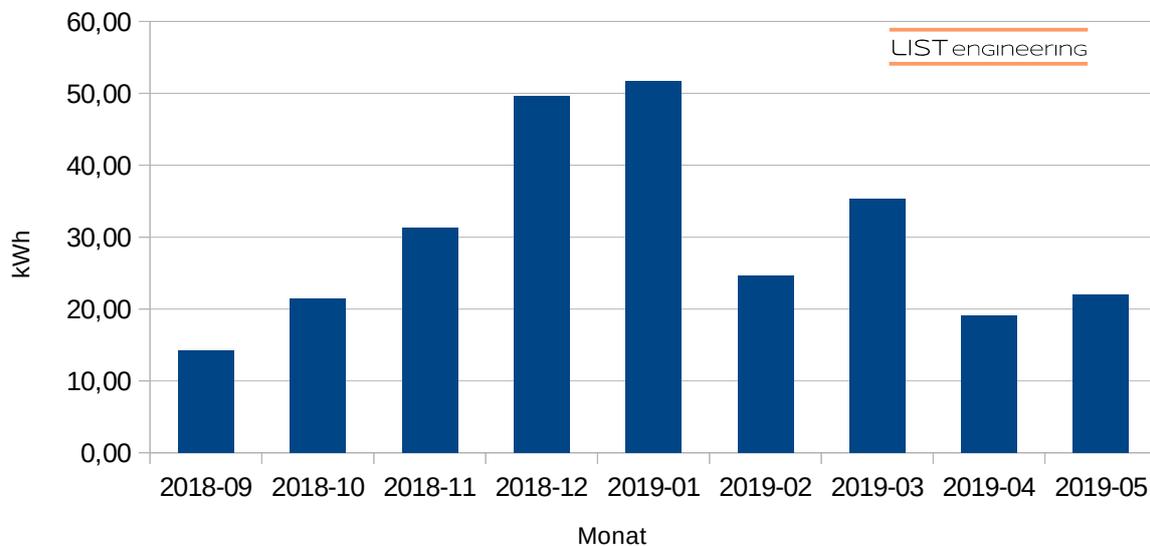
Herzlichen Dank für Ihre Mithilfe!

Erste Auswertung der Energiewerte des Forschungsprojektes:

Tiroler Fachberufsschule für Installations- und Blechtechnik:

Der Raum R16 ist mit einer Komfortlüftungsanlage ausgestattet.

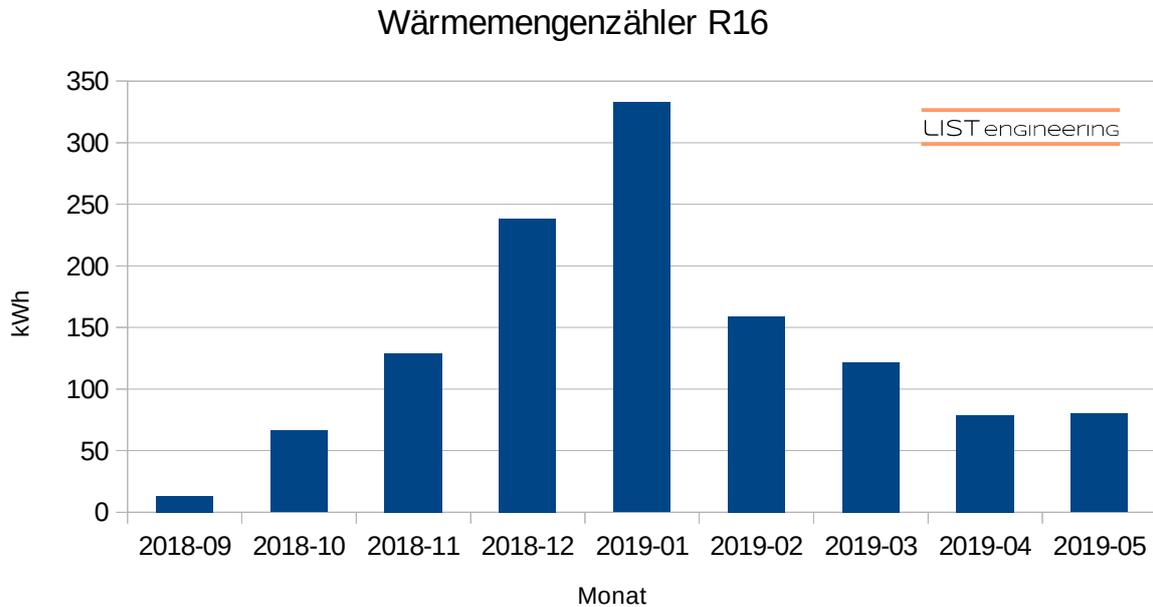
Stromverbrauch Lüftungsanlage



Monat	kWh/Monat
18-09	14,19
18-10	21,50
18-11	31,35
18-12	49,68
19-01	51,62
19-02	24,63
19-03	35,26
19-04	19,12
19-05	21,94

(bis 28.5.2019)

Energieverbrauch Heizung – Wärmemengenzähler Raum R16:



Monat	Wärmemenge [kWh]
2018-09	13
2018-10	66,161
2018-11	128,899
2018-12	238,709
2019-01	332,846
2019-02	159,228
2019-03	122,015
2019-04	79,077
2019-05	80,085

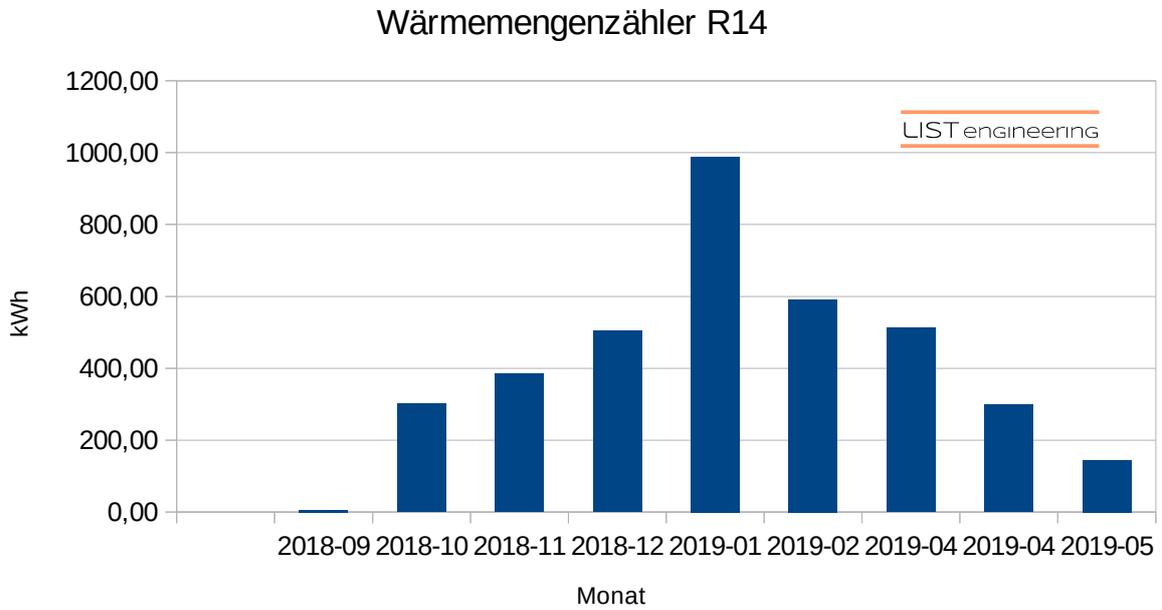
Summe der Heizungsenergie Dezember 2018 bis Mai 2019 = 1011 kWh

Summe der elektrischen Energie der Komfortlüftungsanlage Dezember 2018 bis Mai 2019 = 201,25 kWh

SUMME R16 1212,25 kWh

Der Raum R14 ist konventionell geheizt und wird mit Fensterlüftung betrieben.

Energieverbrauch Heizung – Wärmemengenzähler R14



Monat	Monatsverbrauch [kWh]
2018-09	5,71
2018-10	300,55
2018-11	385,57
2018-12	504,00
2019-01	988,33
2019-02	591,16
2019-04	512,93
2019-04	298,47
2019-05	144,00

Summe des Energieverbrauches für den Raum R14 – Zeitraum Dezember 2018 bis Mai 2019:

SUMME R14

3038,89 kWh