

Bericht

Horw, 12. November 2018

Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie

**Untersuchung an 10 Objekten bezüglich Hygiene und
Luftmengen vor und nach Filterwartung und Reinigung**



Impressum

Auftraggeber

EnFK Regionalkonferenz Ostschweiz
c/o Andrea Lötscher
Leiter Abteilung Energieeffizienz
Amt für Energie und Verkehr Graubünden
Rohanstrasse 5
7000 Chur

Auftragnehmer

Hochschule Luzern
Technik & Architektur
Institut Gebäudetechnik und Energie
Technikumstrasse 21
CH-6048 Horw

Verfasser

Alex Primas	HSLU – T&A
Heinrich Huber	HSLU – T&A
Claudia Hauri	HSLU – T&A
Michael Näf	HSLU – T&A

Verteiler

Andrea Lötscher	EnFK RK Ostschweiz
-----------------	-----------------------

SAP-Nr.

121782

Dateiname

b_20181112_Abl_Einzelraumlü_im_Vollzug.docx

Änderungsverzeichnis

Vers.	Datum	Status	Änderungen und Bemerkungen	Bearbeitet von
Nr. 1	5.6.2018	Entwurf		Pra
Nr. 2	13.07.2018	Entwurf	Ergänzung Folgerungen, Empfehlungen	Huh
Nr. 3	15.07.2018	Entwurf	Änderung bei der Kombination von Einzelraum- lüftungsgeräten mit Abluftanlagen: Berücksichti- gung der Infiltration	Huh
Nr. 4	29.10.2018	prefinal	Inhaltlich abgeschlossen	Huh
Nr. 5	12.11.2018	final	Redaktionelle Bereinigung	Rrf, Huh

Zusammenfassung

Vorgehen und Methode

In 10 Siedlungen wurden in insgesamt 22 Wohnungen die installierten Einzelraumlüftungsgeräte und Abluftanlagen mit Aussenluft-Durchlässen (ALD) untersucht. 13 Wohnungen waren mit Abluftanlagen mit ALD ausgerüstet, der Rest mit Einzelraumlüftungsgeräten. Im Rahmen des Projekts wurden die Filter gewechselt sowie die Geräte und die ALD gereinigt. Davor und danach wurden die Luftvolumenströme gemessen. Ebenfalls wurde der allgemeine Zustand und die Häufigkeit des Filterwechsels erfasst.

Einzelraumlüftungsgeräte

Bei den untersuchten Einzelraumlüftungsgeräten hatten Verschmutzungen die Luftvolumenströme um bis zu 80 % reduziert. Die Zuluft wurde in den meisten Fällen stärker beeinflusst als die Abluft. Um den Anfangswert wieder zu erreichen, genügt es nicht nur die Filter zu wechseln, sondern das gesamte Gerätes, inkl. u.U. schlecht zugänglicher Elemente wie das Fliegengitter, muss gereinigt werden.

Eine Disbalance (ungleicher Zuluft- und Abluftvolumenstrom) reduziert den Nutzen der Wärmerückgewinnung (WRG). Eine unbeabsichtigte Disbalance kann durch Verschmutzungen, Windeinflüsse und Auftriebskräfte entstehen. Je empfindlicher die Ventilatoren auf Störeinflüsse reagieren, desto grösser wird die Disbalance. Diese Kenngrösse wird in Normen und Vorschriften als «Empfindlichkeit des Luftstroms» oder «Druckschwankungsempfindlichkeit» bezeichnet und kann bei einer Geräteprüfung einfach ermittelt werden. Leider wird sie bisher nur von wenigen Lieferanten deklariert.

Eine beabsichtigte Disbalance entsteht, wenn in Wohnungen mit Einzelraumlüftungsgeräten zusätzlich Abluftventilatoren in Bad/Dusche/WC vorhanden sind. Bei zu grossen Abluftventilatoren kann im Extremfall Aussenluft durch den Abluftteil des Einzelraumlüftungsgerätes nachströmen. Bei einem System betreibt der Lieferant die Geräte bewusst mit einer Disbalance, um den Schallpegel zu reduzieren. Dies erhöht die Komplexität und Störanfälligkeit des Systems.

Der Nutzen der WRG wird auch durch den Vereisungsschutz beeinträchtigt. Typischerweise wird bei Aussentemperaturen von unter -5 °C der Zuluftvolumenstrom reduziert oder das Gerät wird ganz ausgeschaltet. Diese Lösungen für den Vereisungsschutz führen dazu, dass der Nutzen der WRG bei der Ermittlung der Normheizlast nicht angerechnet werden kann.

Gegenüber dem Temperatur-Verhältnis (vereinfacht: Wirkungsgrad der WRG), das auf dem Prüfstand ermittelt wird, können die Disbalance, der Vereisungsschutz und geräteinterne Einflüsse den Nutzen der WRG markant reduzieren (rund 20 bis 40 Prozentpunkte). Dazu wird ein einfaches Rechenmodell für Energienachweise vorgeschlagen.

Einzelraumlüftungsgeräte verursachen teilweise Schallpegel, die deutlich über den zulässigen Werten der Schweizer Normen liegen. In einigen untersuchten Wohnungen hatten die Bewohner zu laute Geräte nachts und teilweise auch tagsüber ausgeschaltet. Dabei geht der Nutzen der WRG verloren. Daher wird vorgeschlagen, die Anrechnung der WRG in Energienachweisen vom Schallpegel abhängig zu machen.

Abluftanlagen mit Aussenluft-Durchlässen (ALD)

Bei den Abluftanlagen mit ALD hat sich ebenfalls gezeigt, dass die Reinigung und der Filterwechsel einen deutlich grösseren Einfluss auf die Zuluft als auf die Abluft haben. Hier haben Verschmutzungen den Luftvolumenstrom um bis zu ca. 60 % reduziert. Auffallend ist, dass die

Sollluftmengen auf der Zuluftseite deutlich weniger gut erreicht werden als bei den Einzelraumgeräten. Ein Grund dürfte bei dem grossen Einfluss der Gebäudedichtheit (Infiltration) liegen. Dabei kann neben Aussenluft auch belastete Luft über Installationszonen oder Luft aus anderen Wohnungen nachströmen. Ein zweiter Grund ist, dass die ALD häufig zu knapp dimensioniert sind. Bei den meisten marktgängigen Produkten müssten pro Zimmer zwei ALD eingesetzt werden, um den Schweizer Normen zu genügen.

In Einzelfällen wurden zu hohe Geräusche beanstandet. Dabei wurde reklamiert, dass die Abluftventilatoren für den Dauerbetrieb zu laut sind.

Komfort

Sowohl bei Abluftanlagen mit ALD wie auch bei Einzelraumlüftungsgeräten lag der Zuluftvolumenstrom im angetroffenen Zustand bei rund 60 % der Räume mindestens 30 % unter dem Sollwert der SIA 2023. Bei etwa einem Viertel der Räume wurde gar ein Zuluftvolumenstrom gemessen, der bei höchstens 30 % des Sollwerts lag. Durch Reinigung und Filterwechsel wurde die Situation aber deutlich verbessert. In der Untersuchung wurde die Raumluftqualität weder gemessen noch durch eine systematische Befragung erfasst. Es sind keine Reklamationen von Bewohnern wegen einer unzureichenden Raumluftqualität bekannt.

Die thermische Behaglichkeit (Zugerscheinungen) wurde bei Abluftanlagen mit ALD häufiger beanstandet als bei Einzelraumlüftungsgeräten. Dies entspricht auch Resultaten aus anderen Arbeiten¹.

Hygiene und Wartung

Teilweise war die Filterwartung regelmässig organisiert (nicht nur bei grossen Bauträgern oder Genossenschaften). Auf der anderen Seite gab es Liegenschaften, in denen noch nie ein Filterwechsel durchgeführt wurde.

Der hygienische Zustand der angetroffenen Anlagen kann im Allgemeinen als unkritisch bezeichnet werden. Bei 7 Wohnungen wurden verdächtige Ablagerungen festgestellt, die ev. Schimmel enthalten könnten, bzw. es wurden Konditionen angetroffen, die zu einem erhöhten Risiko eines Schimmelbefalls führen können (Kondensat an den Bauteilen). Ein allfälliger Schimmelbefall war in den Verdachtsfällen nicht klar feststellbar, da keine Schimmeltests durchgeführt wurden.

Die Instandhaltung (Filterwechsel, Reinigung, Reparatur) von Einzelraumlüftungsgeräten und ALD erfordert den Zugang zu jedem Wohn- und Schlafzimmer. Insbesondere in Mietwohnungen können diese Arbeiten nicht an die Bewohner delegiert werden. Auch bei Wohneigentum lässt sich nur ein Teil der Arbeiten an die Eigentümer übertragen. So ist es z.B. nicht realistisch, dass ein Grossteil der Eigentümer ein Insektenschutzgitter für die Reinigung wiederholt fachgerecht aus- und einbaut. Für eine einwandfreie Funktion der Lüftungsgeräte, resp. Elemente sind je nach Aussenluftqualität jährlich ein bis drei Instandhaltungs-Gänge erforderlich. Es ist unklar, wie stark Bewohner sich durch das häufige betreten von Schlafzimmern durch Dritte gestört fühlen. Diese Räume dürften von vielen Leuten als Intimsphäre betrachtet werden.

Berücksichtigung bei Energienachweisen

Vorschläge für eine differenzierte Berücksichtigung von Einzelraumlüftungsgeräten und Abluftanlagen in den Vollzugshilfen der MuKE finden sich am Schluss des Berichts.

¹ In [11] wird eine Befragung in einer Überbauung erwähnt, bei der 40 % der Personen, die in Wohnungen mit Abluftsystemen leben, immer oder häufig Luftzug wahrnehmen. In [6] hat etwa die Hälfte der Befragten angegeben manchmal Zugerscheinungen wahrzunehmen.

Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangslage	7
1.1. Objekte mit Aussenluftdurchlässen	7
1.2. Objekte mit Einzelraumlüftungsgeräten	7
2. Vorgehen / Methode.....	9
2.1. Messobjekte	9
2.2. Messungen	9
2.3. Dokumentation Hygiene.....	9
3. Ergebnisse / Erkenntnisse.....	10
3.1. Charakterisierung der untersuchten Objekte.....	10
3.2. Einfluss von Reinigung und Filterwechsel auf den Luftvolumenstrom.....	12
3.2.1. Auswertung der Messobjekte.....	12
3.2.2. Druckverlustmessung an verschmutzten Filter (Labormessung)	13
3.3. Vergleich mit Solluftmengen	14
3.3.1. Objekte mit Einzelraumlüftungsgeräten.....	14
3.3.2. Objekte mit Aussenluftdurchlässen.....	15
3.4. Disbalance der Luftmengen der Einzelraumgeräte	16
3.5. Luftmengenbilanz über die gesamte Wohnung	16
3.6. Hygiene.....	17
3.7. Komfort (Schall, Zugluft)	18
3.7.1. Schallemissionen	18
3.7.2. Zugluft.....	19
4. State of Art in Kürze	20
4.1. Einzelraumlüftungsgeräte.....	20
4.1.1. Grundlagen	20
4.1.2. Energieeffizienz.....	20
4.1.3. Enthalpietauscher	20
4.1.4. Kondensat.....	20
4.1.5. Vereisungsschutz und Beitrag an die Leistungsreduktion des Heizleistungsbedarfs	22
4.1.6. Betrieb mit Disbalance	23
4.1.7. Schall.....	27
4.1.8. Zuluftfilter	28
4.1.9. Empfindlichkeit des Luftstroms.....	28
4.2. Abluftanlagen.....	29
4.2.1. Grundlagen	29
4.2.2. Dimensionierung der ALD.....	29
4.2.3. Thermische Behaglichkeit	30
4.2.4. Filter von ALD	30
4.2.5. Unterdruck und Infiltration.....	31
4.2.6. Feuchtegeregelte ALD.....	31
5. Fazit	32
5.1. Anlagen mit Einzelraumlüftungsgeräten	32
5.2. Abluftanlagen mit Aussenluftdurchlässen	33
6. Empfehlungen	34
6.1. Anlagen mit Einzelraumlüftungsgeräten	34
6.1.1. Temperatur-Verhältnis (Nutzen der WRG) im Energienachweis	34
6.1.2. Nachweis mittels Standardlösungskombination (für Neubauten) in der MuKE 2014	36
6.1.3. Standardlösungen (bei Wärmeerzeugersersatz) in der MuKE 2014	36
6.1.4. Anforderung an das Temperatur-Verhältnis.....	36

6.1.5. Schall.....	37
6.1.6. Zuluftfilter.....	37
6.1.7. Anforderung an die spezifische Heizleistung.....	38
6.2. Anlagen mit Abluftanlagen mit ALD	38
6.2.1. Dimensionierung der Luftvolumenströme.....	38
6.2.2. Filter von ALD	38
7. Literaturverzeichnis	40
8. Anhang 1: Objektdokumentation.....	41
8.1. Übersicht der Messobjekte	41
8.2. Durchgeführte Messungen.....	42
8.3. Objekt 1, Chur.....	43
8.3.1. Wohnung ID-Nr.: 110.....	43
8.3.2. Wohnung ID-Nr.: 120.....	46
8.4. Objekt 2, Summiswald	49
8.4.1. Wohnung ID-Nr.: 210.....	49
8.4.2. Wohnung ID-Nr.: 220.....	52
8.5. Objekt 3, Zürich	55
8.5.1. Wohnung ID-Nr.: 310.....	55
8.5.2. Wohnung ID-Nr.: 320.....	58
8.6. Objekt 4, Chur.....	61
8.6.1. Wohnung ID-Nr.: 410.....	61
8.6.2. Wohnung ID-Nr.: 420.....	64
8.7. Objekt 5, Horw.....	67
8.7.1. Wohnung ID-Nr.: 510.....	67
8.7.2. Wohnung ID-Nr.: 520.....	70
8.8. Objekt 6, Naters	73
8.8.1. Wohnung ID-Nr.: 610.....	73
8.8.2. Wohnung ID-Nr.: 620.....	76
8.9. Objekt 7, Zürich	79
8.9.1. Wohnung ID-Nr.: 710.....	79
8.9.2. Wohnung ID-Nr.: 720.....	82
8.9.3. Wohnung ID-Nr.: 730.....	85
8.9.4. Wohnung ID-Nr.: 740.....	87
8.10. Objekt 8, Biberstein	90
8.10.1. Wohnung ID-Nr.: 810.....	90
8.10.2. Wohnung ID-Nr.: 820.....	93
8.10.3. Wohnung ID-Nr.: 830.....	95
8.11. Objekt 9, Spiez.....	97
8.11.1. Wohnung ID-Nr.: 910.....	97
8.11.2. Wohnung ID-Nr.: 920.....	99
8.12. Objekt 10, Winterthur, ID-Nr.: 1010	102
9. Anhang 2: Lüftungsgeräte mit WRG, Betrieb mit Disbalance	105
9.1. Grundgleichung.....	105
9.2. Gleichdruck mit zwei gleichen Geräten mit WRG.....	105
9.3. Einzelraum-Lüftungsgerät kombiniert mit Abluft-Anlage	107
9.4. Vereisung der WRG	108
10. Anhang 3: Antworten Gerätelieferant A.....	110
11. Anhang 4: Abkürzungen.....	111

1. Ausgangslage

In Wohnbauten werden zunehmend Abluftanlagen und Einzelraumlüftungsgeräte eingesetzt. Bei diversen Produkten und Systemlösungen bestehen Fragen zu Funktion, Komfort und Energie. Bei kantonalen Energiefachstellen und Minergie-Zertifizierungsstellen besteht Bedarf für eine Beurteilung dieser Lüftungslösungen.

1.1. Objekte mit Aussenluftdurchlässen

Marktübliche Aussenluft-Durchlässe (ALD) sind meistens nicht auf den Luftvolumenstrom ausgelegt, der gemäss den schweizerischen Lüftungsregeln (SIA 2023 [1] und Minergie) als Standardwert für Schlafzimmer gefordert wird. Es stellt sich die Frage, ob und wann vom Standardwert abgewichen werden kann und wann zwei ALD pro Zimmer gefordert werden.

ALDs schwächen den Schallschutz der Gebäudehülle. In Normen werden zwar Anforderungen gestellt, aber das Nachweisverfahren bei Gebäuden mit ALDs ist nicht explizit definiert.

Analog zu anderen raumluftechnischen Komponenten, die stetig von Aussenluft durchströmt werden, muss auch ein ALD grundsätzlich ein- bis zweimal jährlich kontrolliert und gereinigt werden. Bei ALD mit Filtern ist zudem ein Filterersatz gefordert. Es ist unklar, ob und wie ALDs in der heutigen Praxis gewartet werden. Es besteht die Vermutung, dass bei Anlagen, bei denen diese Arbeit den Bewohnern überlassen wird, die Wartung oft nicht fachgerecht durchgeführt wird. Es ist unklar, in welchem hygienischen Zustand sich nicht oder unzureichend gewartete ALD nach ein paar Betriebsjahren befinden.

Bei einem ALD gelangt die Luft mit Aussentemperatur in den Raum. Zudem ist neben dem Luftstrom durch den ALD auch die Infiltration zu berücksichtigen. Bei einer fachgerechten Auslegung und Installation der ALD führt dies im Mittelland kaum zu Komfortproblemen [10]. Im alpinen Klima gibt es aber Fragen. In einzelnen Fällen wurden zudem Probleme mit der Auslegung der statischen Heizung resp. der Raumtemperatur im Auslegefall genannt. Hier sind insbesondere kleine Schlafzimmer mit Fussbodenheizung zu beachten.

Insbesondere in der Westschweiz, aber zunehmend auch in der Deutschschweiz, werden ALD mit Feuchteregelung eingesetzt. Bei tiefer Raumluftfeuchte und konstantem Unterdruck im Raum reduziert sich der Aussenluftvolumenstrom, der durch den ALD strömt. Es ist unklar, wie diese Elemente im Energienachweis zu berücksichtigen sind. Eine zentrale Frage dabei ist, wie die Abluft geregelt wird. Es ist nicht anzunehmen, dass eine Druckregelung so sensitiv eingestellt werden kann, dass der variable Strömungswiderstand der ALD den Abluftvolumenstrom beeinflusst. Allenfalls ist eine Kombination mit feuchtegeregelter Abluft angemessen. In einem Fachartikel [2] wurden einzelne der aufgeführten Themen behandelt.

1.2. Objekte mit Einzelraumlüftungsgeräten

Gemäss Lieferantenangaben erreichen diverse Einzelraumlüftungsgeräte gute Werte bei der Wärmerückgewinnung (WRG). Der Temperaturänderungsgrad (auch Rückwärmzahl genannt) liegt bei neuen Geräten teilweise im Bereich von 80 %. Bei Werten von über 60 % stellt sich die Frage, wie die Kondensatableitung und der Vereisungsschutz der WRG gelöst werden. Im Zusammenhang mit diesem Projekt interessiert insbesondere der energetische Aspekt. Bei einigen Geräten sind dazu nur wenige Informationen verfügbar. Im alpinen Raum verschärft sich die Problematik. Dazu kommt noch, dass allenfalls die thermische Behaglichkeit beeinträchtigt werden kann.

Ventilatoren von Einzelraumlüftungsgeräten weisen wegen Schallemissionen und Energieverbrauch oft tiefe Förderdrücke auf. Das bedeutet, dass der Luftvolumenstrom von Druckschwankungen (insbesondere Wind, aber auch Stackeffekt) stark beeinflusst wird. In Normen (z.B. prEN 13142:2018 [3]) wird dies als «Empfindlichkeit des Luftstroms» bezeichnet. Bei einzelnen Messungen in Forschungs- und Diplomarbeiten der Hochschule Luzern wurde beobachtet, dass sich der Luftvolumenstrom von Einzelraumlüftungsgeräten bereits bei Druckdifferenzen von ca. 5 Pa um rund 20 % und mehr verändern kann. Bei der Produktedeklaration, die im Rahmen der Energieetikette für Wohnraumlüftungsgeräte gefordert wird, muss die Druckschwankungsempfindlichkeit ausgewiesen werden. Heute ist aber noch unklar, wie sich die Druckschwankungsempfindlichkeit energetisch auswirkt und wie sie in Energienachweisen zu berücksichtigen ist.

Ein grosser Anteil von Wohnungen verfügt über Bäder, Duschen und WCs mit mechanischer Abluft. Wenn in solchen Wohnungen Einzelraumlüftungsgeräte eingesetzt werden, entstehen Mischsysteme, die grundsätzlich mit verschiedenen Druckverhältnissen arbeiten. Im heutigen Regelwerk ist nicht definiert was das für die Dimensionierung und den Betrieb (z.B. Lüftungswärmeverluste) bedeutet.

Bei einer Systemlösung eines Lieferanten werden die Einzelraumlüftungsgeräte in einer Wohnung aus akustischen Gründen asymmetrisch betrieben. Das heisst, dass einige Geräte mit Zuluftüberschuss und andere mit Abluftüberschuss arbeiten. Der gesamte Zuluft- und Abluft-Volumenstrom der Wohnung ist dabei ausgeglichen. Es bestehen Fragen, wie sich dieser Betrieb auf die Wärmehückgewinnung auswirkt. Bei Geräten mit Zuluftüberschuss sind zudem die thermische Behaglichkeit und der Vereisungsschutz der WRG kritisch. Gemäss aktuellem Wissenstand funktioniert der asymmetrische Betrieb bei heutigen Lösungen aufgrund von Festeinstellungen an den Geräten. Übergeordnete Steuerungen/Regelungen scheinen bisher noch nicht eingesetzt worden zu sein.

Wie auch bei Abluftanlagen muss bei Einzelraumlüftungsgeräten für die Wartung jedes Zimmer ein- bis zweimal jährlich betreten werden. Da die Geräte mit WRG und Ventilatoren ausgerüstet sind, müssen auch bei einer guten Aussenluftqualität Filter vorhanden sein. Analog zu Abluftanlagen stellen sich Fragen zum hygienischen Zustand nach ein paar Betriebsjahren.

In der SIA 2023 wird verlangt, dass Lüftungsanlagen in Wohn- und Schlafzimmern einen Schalldruckpegel von max. 25 dBA verursachen. Beim gleichzeitig geforderten Aussenluftvolumenstrom von typischerweise 30 m³/h pro Zimmer verursachen die meisten heutigen Einzelraumlüftungsgeräte aber einen höheren Schalldruckpegel. Es ist unklar, wie damit in Energienachweisen umgegangen werden soll.

2. Vorgehen / Methode

2.1. Messobjekte

In insgesamt 22 Wohnungen in 10 Siedlungen wurde eine Beurteilung von Einzelraumlüftungsgeräten und Abluftanlagen mit Aussenluftdurchlässen (ALD) durchgeführt. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der untersuchten Objekte.

Objekt Nr.	Wohnung ID-Nr	Ort	Anlagentyp	Neu- / Altbau	Baujahr	Koch- stelle	letzte Filterwartung [Jahre]	Wohnungs- Grösse [Zi]
1	110	Chur	Einzelraumgerät	Neubau	2016	Umluft	1.0	3.5
1	120	Chur	Einzelraumgerät	Neubau	2016	Umluft	1.0	2.5
2	210	Summiswald	Einzelraumgerät	Altbau	1975	Umluft	0.5	n.A.
2	220	Summiswald	Einzelraumgerät	Altbau	1975	Umluft	0.5	n.A.
3	310	Zürich	Einzelraumgerät	Altbau	ca. 1960	Umluft	0.5	n.A.
3	320	Zürich	Einzelraumgerät	Altbau	ca. 1960	Umluft	1.5	n.A.
4	410	Chur	ALD + Abluftanl.	Neubau	2009	Umluft	4.0	3.5
4	420	Chur	ALD + Abluftanl.	Neubau	2009	Umluft	4.0	4.5
5	510	Horw	ALD + Abluftanl.	Neubau	2016	Umluft	2.0	2.5
5	520	Horw	ALD + Abluftanl.	Neubau	2016	Umluft	2.0	4.5
6	610	Naters	Einzelraumgerät	Neubau	2016	Umluft	1.0	3.5
6	620	Naters	Einzelraumgerät	Neubau	2016	Umluft	1.0	2.5
7a	710	Zürich	ALD + Abluftanl.	Neubau	2015	Umluft	3.0	3.5
7a	720	Zürich	ALD + Abluftanl.	Neubau	2015	Umluft	3.0	3.5
7b	730	Zürich	ALD + Abluftanl.	Neubau	2015	Umluft	1.5	3.5
7b	740	Zürich	ALD + Abluftanl.	Neubau	2015	Umluft	1.5	3.5
8	810	Biberstein	ALD + Abluftanl.	Neubau	2016	Abluft	0.8	5.5
8	820	Biberstein	ALD + Abluftanl.	Neubau	2016	Abluft	0.8	4.5
8	830	Biberstein	ALD + Abluftanl.	Neubau	2016	Abluft	0.8	3.5
9	910	Spiez	ALD + Abluftanl.	Altbau	1941	Abluft	3.0	5.5
9	920	Spiez	ALD + Abluftanl.	Altbau	1941	Abluft	3.0	3.5
10	1010	Winterthur	Einzelraumgerät	Altbau	k.A.	-	1.0	n.A.

Tabelle 1: Übersicht der untersuchten Objekte

2.2. Messungen

Die Luftmengen wurden im angetroffenen, ungereinigten Zustand gemessen. Dabei wurden allfällig geschlossene oder abgeklebte ALD geöffnet («Normalstellung»). Bei Einzelraumgeräten erfolgte die Messung mit der Standardeinstellung.

Die Luftmengenmessung erfolgte, wenn möglich, mit dem Messgerät Acin: Flowfinder 153. In diversen Fällen war dies jedoch aufgrund der lokalen Verhältnisse nicht möglich. Hier wurden die Luftmengen mit einem Flügelrad- oder Hitzdrahtanemometer bestimmt. Dabei ist eine grosse Messunsicherheit vorhanden. Aus dem Vergleich zwischen der Messung vor und nach der Reinigung und dem Filterwechsel kann, aufgrund der identischen Messsituation, aber trotzdem eine Aussage zur Wirkung der Reinigung und des Filterwechsels gemacht werden.

Wenn möglich wurden sowohl die Zuluft- wie auch die Abluftmengen in der gesamten Wohnung gemessen um daraus eine Luftmengenbilanz über die gesamte Wohnung zu erstellen.

2.3. Dokumentation Hygiene

Neben den Messungen wurden die angetroffenen Situationen und der Zustand (Hygiene) der Geräte und Elemente vor der Reinigung fotografisch festgehalten und anschliessend grob klassiert.

3. Ergebnisse / Erkenntnisse

3.1. Charakterisierung der untersuchten Objekte

Von den insgesamt 22 untersuchten Wohnungen, war der grössere Teil (13 Wohnungen) mit Abluftanlagen mit Aussenluftdurchlässen (ALD) ausgerüstet.

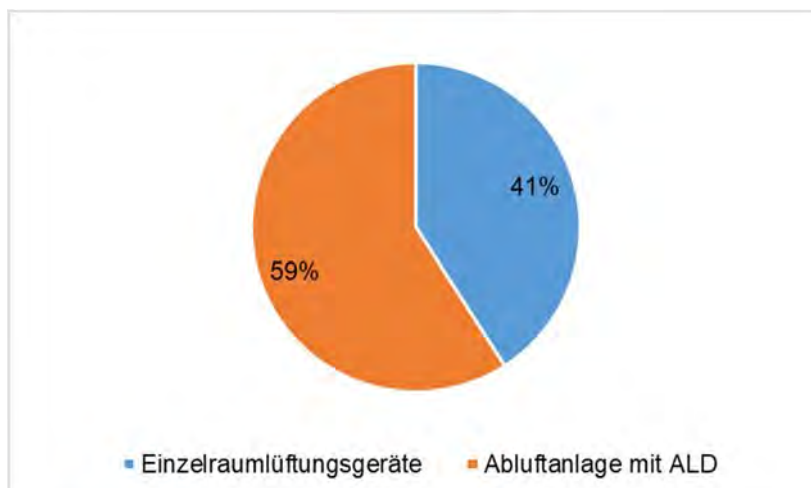


Abbildung 1: Anteil der Lüftungssysteme in den untersuchten Objekten (Total 22 Wohnungen)

Ebenfalls überwiegte der Anteil der Neubauten (15 Wohnungen). Als «Neubau» werden Gebäude bezeichnet, welche jünger als 10 Jahre sind (Baujahr 2008 und jünger).

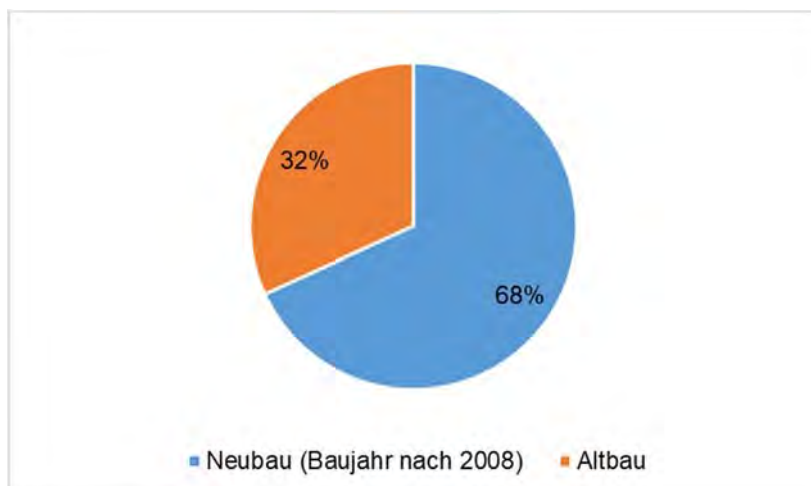


Abbildung 2: Gebäudecharakterisierung zu den untersuchten Objekten (Total 22 Wohnungen)

Im Zusammenhang mit der Beurteilung der Abluftanlagen, aber auch der Einzelraumlüftungsgeräte, ist die Art der Dunstabzugshaube von Bedeutung. So stellt ein Dunstabzug mit Abluft eine zusätzliche Herausforderung für Planung der entsprechenden Ersatzluft dar. Dies zeigt sich symptomatisch auch im grossen Anteil der Objekte (16 Wohnungen), welche eine Umlufthaube besitzen.

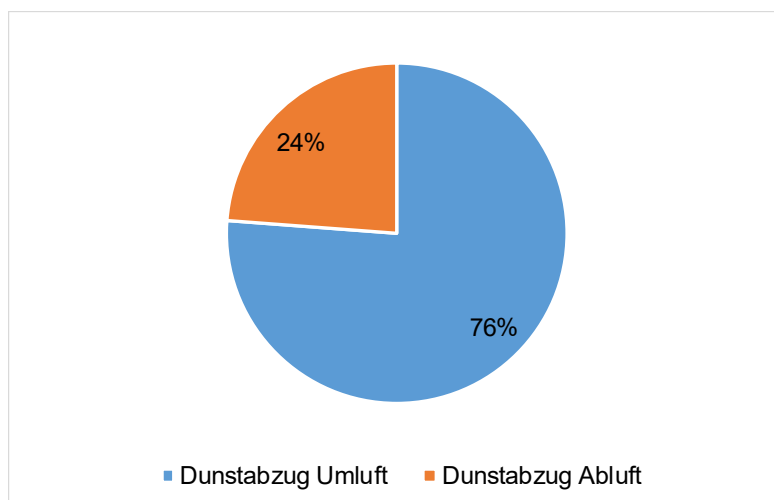


Abbildung 3: Art der Küchenlüftung in den untersuchten Objekten (Total 21 Wohnungen)

Für die Anlagenfunktion ist es von Bedeutung, welche Interventionen durch die Benutzer vorgenommen wurden. Dies kann bei Einzelraumlüftungsgeräten eine manuelle Abschaltung (oder über eine Zeitschaltuhr) bedeuten, aber auch (wo technisch möglich) eine Verstellung der Luftdurchlässe (z.B. über Schieber). Dabei wurde unterschieden, ob die Mieter angegeben haben, ob die Interventionen zeitlich begrenzt (z.B. nachts) oder dauernd erfolgten. Im Extremfall kann dies bis zum Abkleben der Auslässe (1 Fall) gehen.

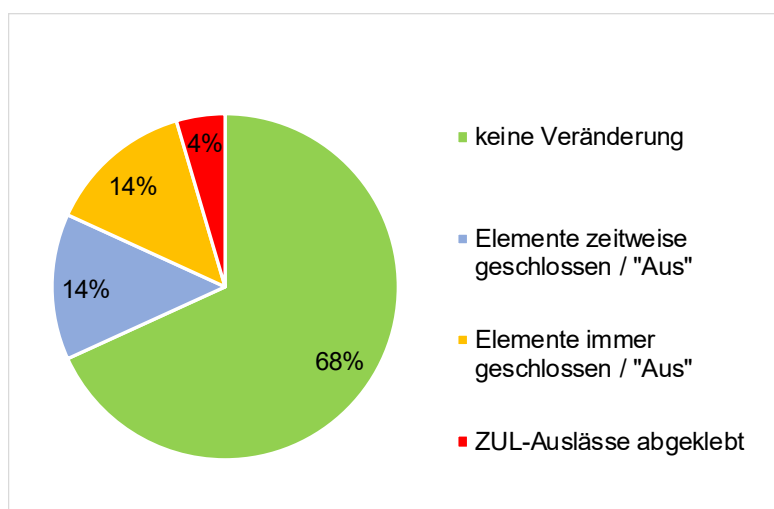


Abbildung 4: Nutzerinterventionen an den Lüftungen in den untersuchten Objekten (Total 22 Wohnungen)

Ein zentraler Punkt der Untersuchung war die Erhebung, wie häufig die Filter gewechselt werden, bzw. wann der letzte Filterwechsel stattgefunden hat. Teilweise war die Filterwartung regelmässig organisiert (nicht nur bei grossen Bauträgern oder Genossenschaften), was sich darin zeigt, dass bei 50 % der Objekte die Filter im letzten Jahr (oder kürzer) gewechselt wurden.

Auf der anderen Seite gab es auch Objekte, in denen noch nie ein Filterwechsel durchgeführt wurde (soweit sich die Mieter erinnern). In wie weit in diesen Fällen die Notwendigkeit des Filterwechsels der zuständigen Verwaltung nicht bekannt war oder aus anderen Gründen (Kosten, Annahme das dies Mietersache ist) nicht durchgeführt wird, wurde nicht erörtert.

Oft ist den Nutzern nicht bewusst, dass sich in den ALDs oder Lüftungsgeräten Filter befinden, die regelmässig ersetzt werden müssen. Bei den durchgeführten Messungen hat sich gezeigt, dass der alleinige Filterwechsel für die ordentliche Funktion der Anlage nicht ausreicht. Bei einer korrekten Wartung müssen alle Teile, die mit der Aussen- oder Abluft in Kontakt kommen (vor allem die Fliegengitter), regelmässig gereinigt werden.

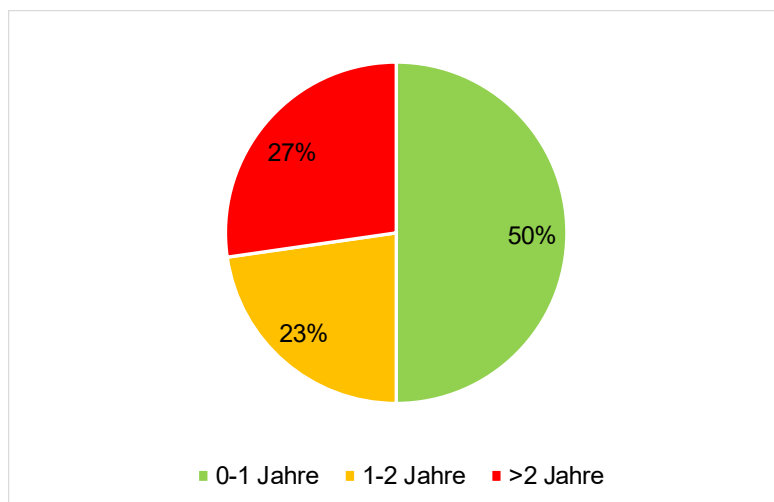


Abbildung 5: Zeitpunkt der letzten Filterwartung in den untersuchten Objekten (Total 22 Wohnungen)

Bei den Aussenluftfiltern zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den Einzelraumgeräten und den Abluftanlagen mit ALD. Während die Einzelraumgeräte Zuluftfilter der Klasse F7 aufwiesen, waren bei den ALDs Filter der Klasse G3 oder sogar schwächer vorhanden. Bei Anlagen ohne Filter an den Abluftelementen (z.B. normale Tellerventile) wurden deutliche Ablagerungen (Staub etc.) in den Abluftleitungen beobachtet.

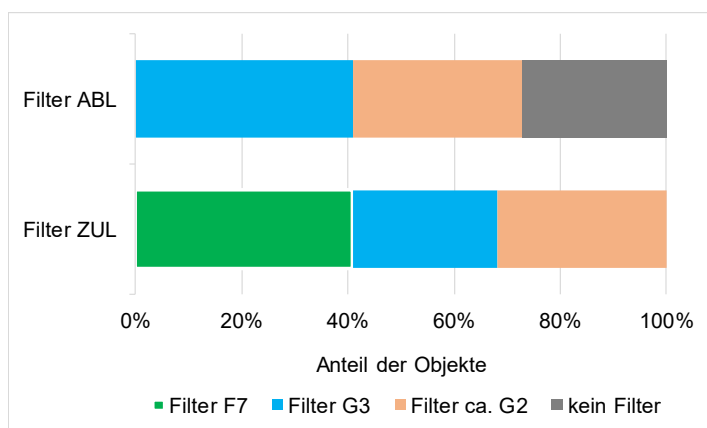


Abbildung 6: Filterklasse der Zu- und Abluftfilter in den untersuchten Objekten (Total 22 Wohnungen)

3.2. Einfluss von Reinigung und Filterwechsel auf den Luftvolumenstrom

3.2.1. Auswertung der Messobjekte

In den untersuchten Objekten wurden die Luftmengen vor dem Wechsel der Filter und/oder der Reinigung der Bauteile gemessen und mit der Messung nach der Reinigung verglichen. Die beiden Messungen erfolgten mit denselben Einstellungen und den gleichen Bedingungen (z.B. mit offenen

Zimmertüren). Für den Vergleich der Luftmengen vor und nach der Reinigung und dem Filterersatz wurde die Höhe der relativen Veränderung der Luftmenge nach der folgenden Formel bestimmt.

$$1 - \frac{V_{Ist}}{V_{Gereinigt}} \text{ [in \%]}$$

Ein Wert von 0 % bedeutet dabei keine Veränderung der Luftmenge und 100 % eine maximale Veränderung der Luftmenge durch die Reinigung. Für den Vergleich werden Veränderungen bis 10 % (unbedeutend), 10-33 % (klein), 33-66 % (mittel) und >66 % (gross) unterschieden. In Abbildung 7 ist die Auswertung aller Objektdaten dargestellt. Diese beinhaltet insgesamt 75 Auslässe auf der Zuluftseite und 50 Elemente auf der Abluftseite. Die Resultate beinhalten sowohl die Daten der Abluftanlagen mit ALD wie auch der Anlagen mit Einzelraumlüftungsgeräten.

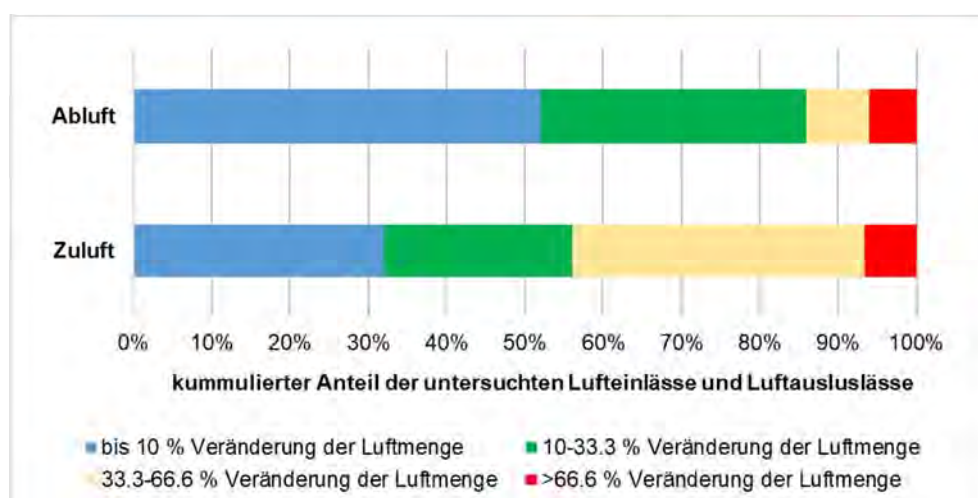


Abbildung 7: Veränderung der Luftmengen vor / nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Wie aus der Auswertung ersichtlich, ist die Veränderung der Luftmenge durch die Reinigung und den Filterwechsel auf der Zuluftseite deutlich höher (44 % der Messungen mit >33 % Veränderung im Vergleich zu 14 % auf der Abluftseite). Auf der Abluftseite werden die vorhandenen Filter eher durch die Bewohner gereinigt. Bei Abluftanlagen sorgt zudem die Charakteristik der Ventilatoren (Steilheit) dafür, dass übliche Verschmutzungen den Volumenstrom moderater beeinflussen.

3.2.2. Druckverlustmessung an verschmutzten Filter (Labormessung)

Bei verschiedenen Objekten wurde festgestellt, dass neben der Verschmutzung des Aussenluftfilters vor allem auch der Zustand eines vorhandenen Fliegengitters beim Aussenlufteintritt einen grossen Einfluss auf den Druckverlust und damit auf die Luftmenge hat. Vor allem wurde dies beim Gebäude 4 (Wohnung 410, 420) festgestellt. Hier wurde in einem ersten Schritt nach dem Filterwechsel fast derselbe (tiefe) Luftvolumenstrom gemessen wie vor dem Filterwechsel. Erst die (nur von der Gebäudeaussenseite mögliche) Reinigung der feinen Lufteintrittsgitter an der Fassade brachte eine deutlich höhere Zuluftmenge.

Bei diesem Objekt interessierte daher auch, welche Druckverluste die verschmutzten Filter alleine verursachen. Daher wurden von jeder Wohnung zwei Filter (einer stark und einer eher gering verschmutzt) auf dem Laborprüfstand der HSLU mit einem neuen Filter (G3) verglichen. Die Messungen (siehe Abbildung 8) zeigten, dass die verschmutzten Filter einen um 9-35 % höheren Druckverlust aufweisen als der saubere Filter. Diese Messung illustriert den grossen Streubereich

bei der Verschmutzung und dem Druckverlust, welche die Filter aus demselben Gebäude haben können.

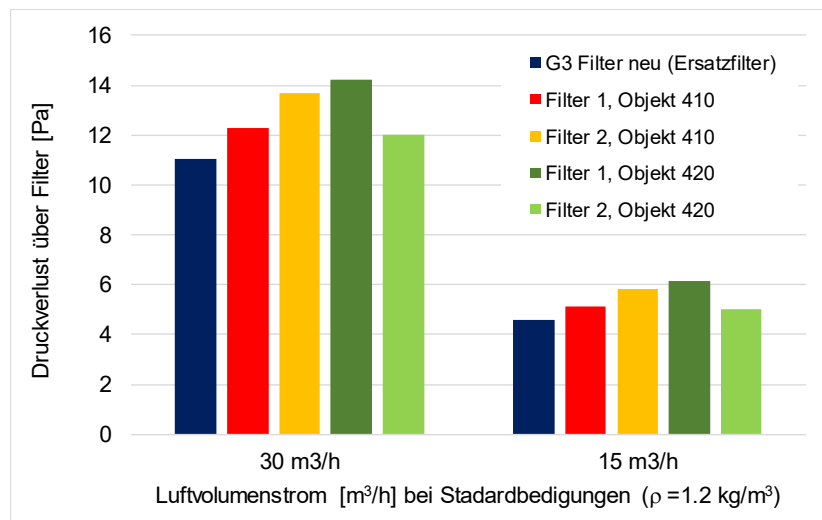


Abbildung 8: Druckverlustmessung an verschmutzten Filter (Labormessung) der Wohnungen ID 410 und 420 sowie eines neuen Filters

3.3. Vergleich mit Sollluftmengen

Für den Vergleich der Messresultate mit den Sollluftmengen in Anlehnung an SIA 2023 wurde wie folgt vorgegangen. Da in einem Objekt oft nicht alle Auslässe gemessen werden konnten, basiert die Auswertung auf einem Vergleich für jeden Auslass separat. Als Basis wurden dabei folgende Sollluftmengen verwendet:

Bezeichnung	Sollluftmenge ZUL [m³/h]	Sollluftmenge ABL [m³/h]
Wohnraum / Schlafzimmer	30 *)	30
Küche	40 **)	40
Bad	-	40
WC	-	20

*) Wenn 2 Durchlässe pro Zimmer: 15 m³/h pro Durchlass

**) Bei Einzelraumgeräten in der Küche wurde dieser Wert angesetzt

Tabelle 2: Für den Vergleich verwendete Sollluftmengen

Allfällige geplante Disbalancen bei Einzelraumlüftungsgeräten wurden im Vergleich nicht einbezogen (keine Sonderfälle).

3.3.1. Objekte mit Einzelraumlüftungsgeräten

Die Auswertung der Objekte mit Einzelraumlüftungsgeräten zeigt insbesondere bei der Zuluft einen grossen Einfluss der Reinigung und des Filterwechsels.

Dass die Auswertung auf der Abluftseite eine deutlich tiefere Einhaltung der Sollluftmengen zeigt, dürfte mit den zusätzlichen Abluftanlagen in Bad/Dusche/WC zusammenhängen. Dies führte unter anderem bei einem Objekt zu einer deutlich reduzierten Abluftmenge am Einzelraumgerät (Badabluft zu stark).

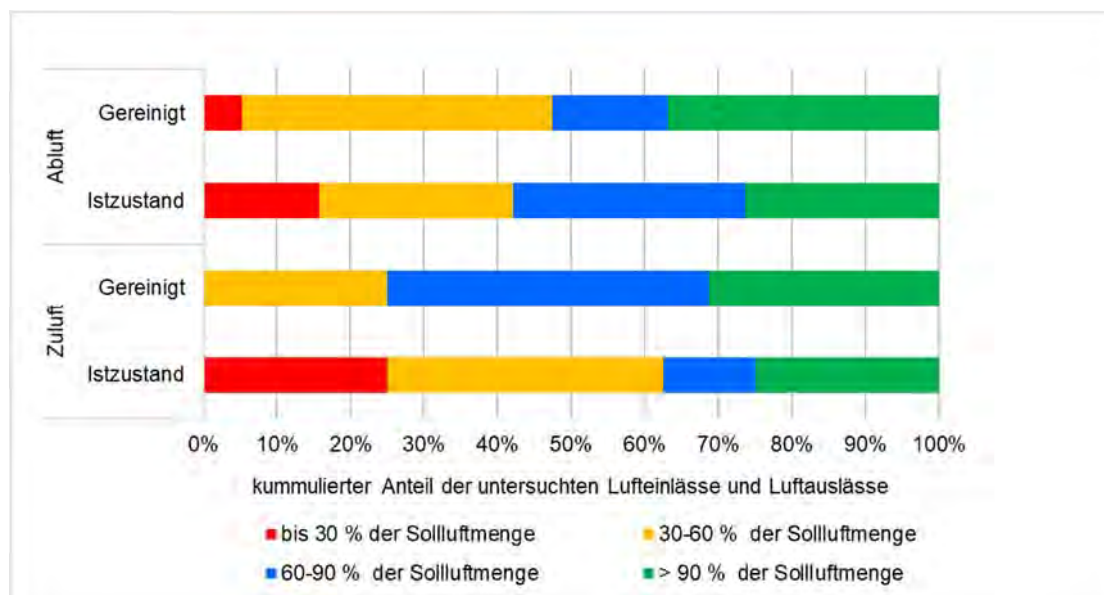


Abbildung 9: Einzelraumlüftungsgeräte: Vergleich mit Sollluftmengen gem. SIA 2023 vor / nach der Reinigung

3.3.2. Objekte mit Aussenluftdurchlässen

Auch die Auswertung der Objekte mit ALD zeigt bei der Zuluft einen deutlich grösseren Einfluss der Reinigung und des Filterwechsels. Auffallend ist hier, dass die Sollluftmengen auf der Zuluftseite deutlich weniger gut erreicht werden als bei den Einzelraumgeräten. Der Grund dürfte hier bei dem grossen Einfluss der Gebäudedichtheit (Infiltration) liegen. Oft waren Elemente eingesetzt, welche zum Erreichen der Sollluftmenge höhere Unterdrücke in der Wohnung erfordern, als die 4 bis 5 Pa, die gemäss SIA 2023 gefordert werden. Bei undichten Gebäuden wird dies nicht erreicht, was zu reduzierten Zuluftvolumenströmen führt. Ein Extrembeispiel stellt dabei das Objekt Nr. 9 (ID 910 und 911) dar.

Die Auswertung zeigt, dass die Sollluftmengen auf der Abluftseite beim gereinigten System deutlich weniger Abweichungen aufweisen als auf der Zuluftseite.

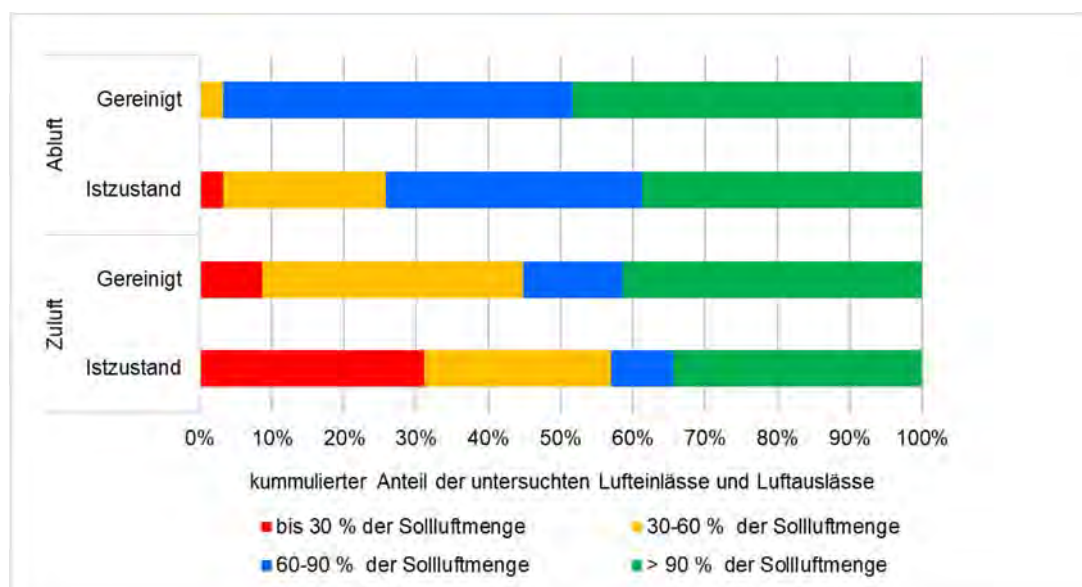


Abbildung 10: Aussenluftdurchlässe: Vergleich mit Sollluftmengen gem. SIA 2023 vor / nach der Reinigung

3.4. Disbalance der Luftmengen der Einzelraumgeräte

Bei den untersuchten Einzelraumlüftungsgeräten wurde die Disbalance der Luftmengen am Gerät vor und nach der Reinigung ausgewertet. In der Darstellung in Abbildung 11 bedeutet ein positiver Wert ein Zuluftüberschuss und ein negativer Wert ein Abluftüberschuss. Es zeigt sich, dass durch die Reinigung in den meisten Fällen die Disbalance deutlich reduziert wurde. In einigen Fällen (z.B. ID 123, 613 und 622) war ein Zuluftüberschuss von 50 % von der Anlagenplanung gewollt. Bei einigen Anlagen zeigte sich zudem, dass eine starke Beeinflussung der Einzelraumlüftungsgeräte durch die zusätzlichen Abluftventilatoren besteht.

Bei Einzelraumlüftungsgeräten wirkt sich eine Disbalance ungünstig auf die Wärmerückgewinnung aus (vgl. Kap. 4.1.6).

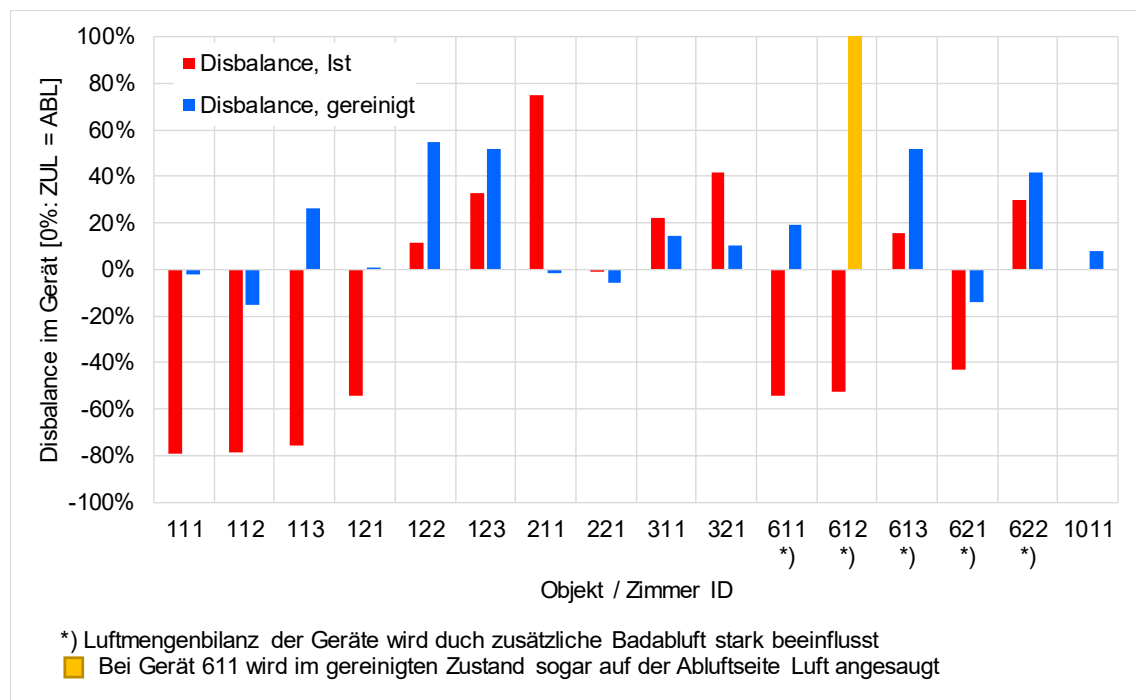


Abbildung 11: Disbalance der Luftmengen der Einzelraumgeräte vor / nach der Reinigung bzw. Filterersatz

3.5. Luftmengenbilanz über die gesamte Wohnung

In denjenigen Objekten, wo alle Lufteinlässe und Auslässe gemessen werden konnten, wurde eine Luftmengenbilanz erstellt und daraus die Disbalance über die gesamte Wohnung berechnet. In Abbildung 12 sind diese Resultate dargestellt. Auch in dieser Darstellung bedeutet ein positiver Wert ein Zuluftüberschuss und ein negativer Wert ein Abluftüberschuss. Die Resultate zeigen bei der Mehrheit der ausgewerteten Objekte einen deutlichen bis sehr starken Abluftüberschuss. Dies deutet darauf hin, dass in vielen Fällen ein wesentlicher Teil der Luft über Infiltration nachströmt. In der Disbalance ist neben der Infiltration auch die Messunsicherheit enthalten. Die Disbalance wurde durch den Filterersatz und die Reinigung in einigen Fällen deutlich reduziert.

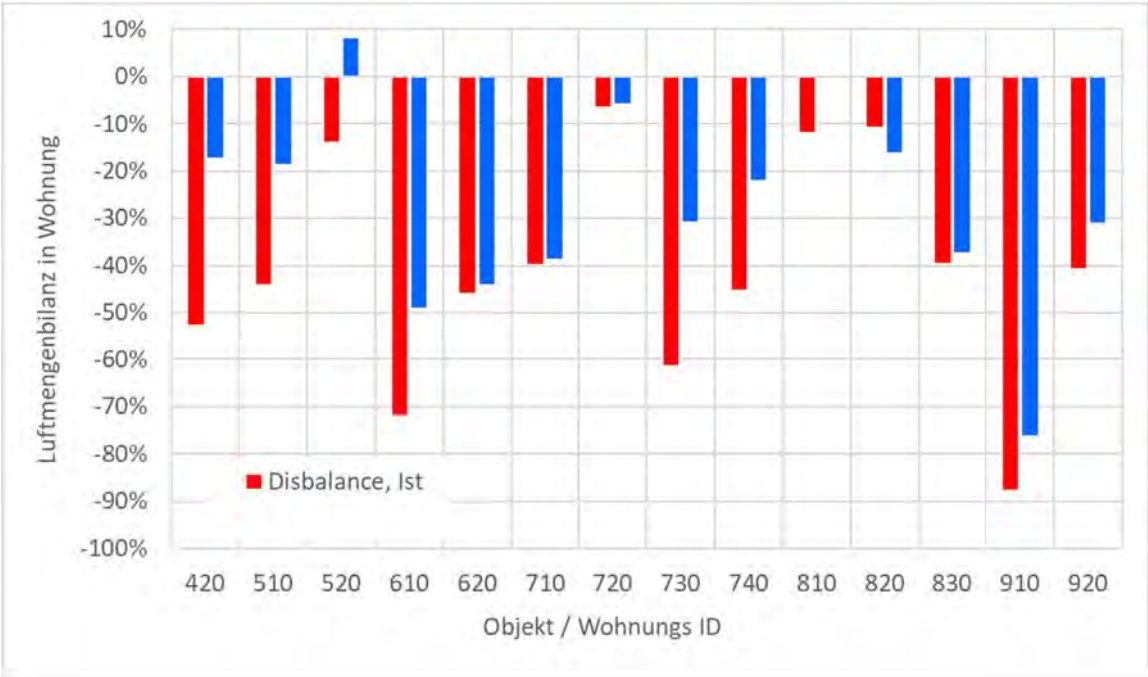


Abbildung 12: Luftmengenbilanz vor / nach der Reinigung bzw. Filterersatz (in Wohnungen in denen alle Luftdurchlässe gemessen werden konnten). Negative Werte bedeuten ein Abluftüberschuss.

3.6. Hygiene

Der angetroffene hygienische Zustand wurde grob eingeschätzt und nach dem Bewertungsraster gemäss Tabelle 3 eingeteilt.

Hygiene	Ist-Zustand	Bewertete Punkte AUL/ZUL	Bewertete Punkte ABL
1	Starke Verschmutzung	AUL Gitter	ABL Gitter
2	Mittlere Verschmutzung	AUL Filter	ABL Filter
3	Leichte bis keine Verschmutzung	AUL Kanal	ABL Kanal
		ZUL Gitter	

Tabelle 3: Bewertungsraster für die qualitative Bewertung des hygienischen Zustandes

Die Auswertung aller gemessenen Lufteinlässe und Luftauslässe ist in Abbildung 13 dargestellt. Die Resultate zeigen, dass neben dem Aussenluftfilter unter anderem auch das Aussenluft-Gitter (bzw. auch Fliegengitter) oft eine stärkere Verschmutzung aufweist.

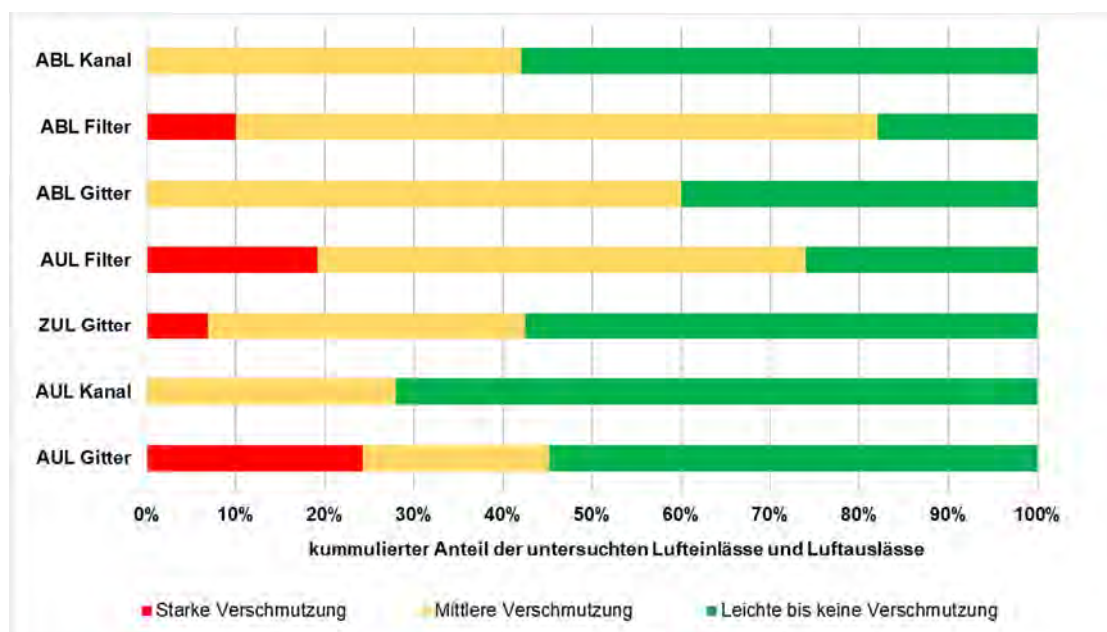


Abbildung 13: Auswertung der qualitativen Bewertung der Grobbeurteilung zur Hygiene

Bei 20 % der Auslässe wurde Kondensat festgestellt. In den meisten Fällen waren dies Auslässe, die bei tiefen Aussentemperaturen (unter -1°C) gemessen wurden (Objekt 7). Bei einem Produkt scheinen auch konstruktive Schwächen vorzuliegen.

Ein allfälliger Schimmelbefall war in den Verdachtsfällen nicht klar feststellbar, da keine Schimmelttests durchgeführt wurden. Bei 7 Objekten wurden verdächtige Ablagerungen festgestellt, die ev. Schimmel enthalten könnten, bzw. es wurden Konditionen in der Anlage angetroffen, die zu einer erhöhten Gefahr eines Schimmelbefalls führen können (Kondensat an den Bauteilen).

3.7. Komfort (Schall, Zugluft)

In der Untersuchung wurden keine Messungen zum Schall oder zum Raumkomfort durchgeführt. In den Objekten, in denen die Bewohner bei den Messungen anwesend waren, wurde diese Themenpunkte jedoch qualitativ abgefragt.

3.7.1. Schallemissionen

Einige Bewohner haben ihre Einzelraumlüftungsgeräte nachts oder auch dauernd ausgeschaltet, da sie diese als zu laut empfinden. In anderen Objekten wurde dazu keine Bemerkungen von Seiten der Bewohner gemacht. Es zeigte sich, dass grosse Unterschiede bei den Geräten bezüglich den Schallemissionen bestehen.

Auch bei den Abluftanlagen mit ALD ist der Schall für die Mieter teilweise störend. Dabei wurden insbesondere laute Badventilatoren bemängelt, welche dauernd in Betrieb sind. Diesem Betriebsfall ist genügend Rechnung zu tragen, da in der Planung nicht davon ausgegangen werden kann, dass nachts alle Türen (Bad, Zimmer) geschlossen sind. Auch wurde in einem Objekt ein Steuerungssystem bemängelt, welches nachts in regelmässigen Zeitabständen die Badlüftung kurz einschaltet. Solche ungleichmässigen Schallquellen können als sehr störend empfunden werden, auch wenn der Schallpegel nicht übermässig hoch ist.

3.7.2. Zugluft

Es zeigte sich, dass das Thema Zugluft bei den Anlagen mit Aussenluftdurchlässen öfter ein Thema ist als bei Einzelraumlüftungsgeräten. In mehreren Objekten wurden die Aussenluft-Durchlässe in gewissen (oder sogar allen) Zimmern zeitweise oder sogar dauernd geschlossen. In einem Objekt wurden die Lufteinlässe gar abgeklebt. Es zeigte sich jedoch, dass auch in einem Objekt mit Einzelraumlüftungsgeräten (mit WRG) bei einem Mieter die Anlage quasi «abgestellt» wurde indem die Schieber bei der Zuluft und Abluft geschlossen wurden.

4. State of Art in Kürze

4.1. Einzelraumlüftungsgeräte

4.1.1. Grundlagen

In SIA 2023 und prSIA 382/5 findet sich der Grundsatz, dass Anlagen mit Einzelraumlüftungsgeräten gleich zu dimensionieren sind wie einfache Lüftungsanlagen. Spezielle Anforderung an die Geräte finden sich nicht. In prSIA 382/5 werden Anforderungen an die Empfindlichkeit des Luftstroms gestellt. Zudem wurde das Thema der reversierenden Lüftungsgeräte (auch «Pendellüfter» genannt) aufgenommen.

4.1.2. Energieeffizienz

Ein grosser Anteil der auf dem Markt verfügbaren Einzelraumlüftungsgeräte zeichnet sich durch eine tiefe spezifische Ventilatorleistung (SPI) aus. Da kein Kanalnetz vorhanden ist, sind die Werte oft markant tiefer als bei einfachen Lüftungsanlagen. Teilweise lassen sich die tiefen SPI aber auch durch tiefe Filterstufen erklären. Dies trifft insbesondere bei den sog. Pendellüftern zu.

Die thermische Effizienz wird üblicherweise durch das zuluftseitige Temperatur-Verhältnis quantifiziert (vgl. Kap. 9). An einem mittleren Wintertag im schweizerischen Mittelland überträgt bei typischen Einzelraumlüftungsgeräten die WRG ca. 50 bis 70 % der sensiblen Wärme von der Abluft an die Zuluft. Zusätzlich kommt ca. 10 % der Zulufterwärmung durch Ventilatorabwärme, Wärmefluss durch das Gerätegehäuse sowie Leckagen zustande. Für Energienachweise wäre es daher eher angemessen, das abluftseitige Temperatur-Verhältnis zu verwenden (das 10 bis 20 Prozentpunkte tiefer ist als der zuluftseitige Wert). In der Praxis hat sich der abluftseitige Wert aber nicht durchgesetzt. So verwendet auch die europäische Energieetikette das zuluftseitige Temperatur-Verhältnis.

Bei Geräteprüfungen sind der Zuluft- und Abluftmassenstrom gleich gross. Dies wird auch als balancierter Betrieb bezeichnet. Bei ungleichen Massenströmen (auch Disbalance genannt) verschlechtert sich die Energiebilanz. Darauf wird in 4.1.6 eingegangen.

4.1.3. Enthalpietauscher

Bei Wohnungslüftungsgeräten für einzelne Wohnungen (Komfortlüftungen) werden teilweise sog. Enthalpietauscher eingesetzt. Diese übertragen sowohl sensible Wärme als auch Feuchte. Neben dem, dass im Winter die relative Feuchte der Raumluft angehoben werden kann, hat diese Technik den Vorteil, dass bei üblichen Bedingungen kein Kondensat anfällt und dass die Vereisungsgrenze der WRG deutlich tiefer ist als bei klassischen Platten-Wärmeübertragern.

Bei Einzelraumlüftungsgeräten mit Platten-Wärmeübertragern werden zurzeit nur selten Enthalpietauscher eingesetzt. Pendellüfter können je nach Oberflächenbeschichtung des Wärmespeicherblocks Feuchte übertragen.

4.1.4. Kondensat

Wenn die Taupunkttemperatur in der Abluft tiefer ist als die Aussenlufttemperatur, kann sich in der Abluft allenfalls Kondensat bilden. Der Kondensatanfall steigt mit zunehmender Abluftfeuchte und

zunehmendem Temperatur-Verhältnis. Bei typischen Abluftkonditionen aus Wohn- und Schlafzimmern fällt in der Praxis kaum Kondensat an, wenn der Temperatur-Änderungsgrad² der WRG unter ca. 60 % liegt.

Klassische Luftaufbereitungsgeräte sind mit einem Kondensatablauf versehen. Einzelraumlüftungsgeräte werden kaum mit Kondensatabläufen ausgerüstet. Um die Kondensatproblematik zu vermeiden, wird teilweise der Temperatur-Änderungsgrad bewusst auf ca. 60 % begrenzt.

Bei den Anlagebesichtigungen im Rahmen dieses Projekts wurde nur eine Anlage angetroffen, die Probleme mit Kondensat aufgewiesen hat. Bei dieser Anlage wurde aber ein überdurchschnittlicher Feuchteanfall in der Wohnung vermutet.

Im Rahmen des Projekts wurden einige Lieferanten von Einzelraumlüftungsgeräten zum Thema Kondensat befragt. Die Fragen wurden nur vom Lieferanten A vollständig beantwortet. Die Fragen und Antworten finden sich im Anhang 3. Andere Anbieter haben teilweise lediglich auf ihre Produktdokumentationen verwiesen. Im Folgenden finden sich eine Zusammenfassung der eingegangenen Antworten sowie exemplarische Beschreibungen von Strategien zur Vermeidung resp. zum Umgang mit Kondensat aus Produktebeschreibungen.

Lieferant A

(vgl. ausführliche Antwort im Anhang 3)

Beim Referenzvolumenstrom beträgt der Temperatur-Änderungsgrad der WRG 52 %. Damit tritt bei üblichen Abluftzuständen auch bei sehr tiefen Aussentemperaturen kein Kondensat auf. Bei hohen Abluftfeuchten könnte allerdings Kondensat auftreten. Gemäss Erfahrungen des Lieferanten fällt in der Praxis aber kein Kondensat an.

Das Gerät ist gegenüber wenig anfallendem Kondensat sehr robust. Allfälliges Kondensat trocknet bei ansteigenden Temperaturen aus. Bei einem massiven Kondensatanfall würde dieses Richtung Innenraum fliessen. Ein Kondensatablauf ist optional erhältlich.

Der Lieferant erwähnt, dass es bisher nur wenigen Reklamationen wegen Kondensatanfall kam. Meist konnte dies auf eine mangelhafte Einbausituation zurückgeführt werden.

Lieferant B

Gemäss dem Lieferanten muss allfälliges Kondensat über eine Kondensattrinne im Gerät nach aussen hin abgeführt werden. Ein Sensor zur Überwachung des Kondensats ist nicht vorhanden. Einem Gerätetyp des Lieferanten wird in einem Rohr, das durch die Fassade geführt wird, installiert. Gemäss der Montage- und Betriebsvorschrift muss das Rohr mit Gefälle gegen aussen installiert werden. Bei einem weiteren Gerätetyp wird ein Ablaufrohr nach aussen geführt.

Lieferant C

Es ist kein Kondensatablauf vorhanden.

Zitat aus der Produktebeschreibung des Geräts 1: *«Die ausgeprägte Wärmerückgewinnung ohne Kondensatentstehung und die besonders hohe Luftleistung – bei zugleich niedrigem Eigengeräusch und effektiver Schalldämmung sind weitere Attribute»* (Ende Zitat). Wie dies gelöst wird, ist nicht ersichtlich.

Zitat aus der Produktebeschreibung des Geräts 2: *«umweltfreundliche Wärmerückgewinnung bis zu 68 % ohne Kondensatentstehung»* (Ende Zitat). Eine weitere Erklärung des Lieferanten fehlt. Es ist aber zu vermuten, dass beim angegebenen Temperatur-Verhältnis in der Praxis kaum Kondensat

² Der Temperatur-Änderungsgrad bezieht sich nur auf die WRG. Beim Temperatur-Verhältnis ist das gesamte Gerät (als Blackbox) gemeint

auftritt. Zudem wird, analog zum Lieferanten B, die Fortluft durch ein Rohr in der Fassade geführt, das gegen aussen mit Gefälle verlegt ist.

Lieferant C produziert schon seit über 25 Jahren Einzelraumlüftungsgeräte mit WRG.

Lieferant D

Das Gerät ist mit einem Enthalpietauscher ausgerüstet. Gemäss der Produktebeschreibung fällt kein Kondensat an. Beim genannten Wert für die Feuchterückgewinnung von 78 % ist dies plausibel.

4.1.5. Vereisungsschutz und Beitrag an die Leistungsreduktion des Heizleistungsbedarfs

Bei Minustemperaturen kann allfälliges Kondensat in der Abluft gefrieren. Bei grösseren Lüftungsgeräten werden verschiedene Strategien wie Vorwärmung, Bypass oder Enthalpietauscher eingesetzt, um eine Vereisung zu vermeiden resp. um allfälliges Eis frühzeitig abzutauen.

Im Rahmen des Projekts wurden einige Lieferanten von Einzelraumlüftungsgeräten zum Thema Vereisungsschutz befragt. Im Folgenden finden sich eine Zusammenfassung der eingegangenen Antworten sowie exemplarische Beschreibungen des Vereisungsschutzes.

Lieferant A

(Ausführliche Antwort s. Anhang 3)

Als Geräteoption kann das Gerät regelungstechnisch vor Vereisung geschützt werden. Bei Aussen-temperaturen kleiner -5 °C wird die Zuluft automatisch auf Stufe 1 reduziert. Bei Aussen-temperaturen kleiner -10 °C wird die Zuluft komplett abgeschaltet.

Lieferant B

Gemäss der Antwort, die der Lieferant per Email gesendet hat, wird Gerät nicht gegen Vereisung geschützt und läuft weiter. Ein Frostschutzfühler ist nicht verbaut. In den Montage- und Betriebsvorschriften finden sich keine Hinweise.

Lieferant C

Nur bei einer Produktdokumentation (von insgesamt 4 Geräten) finden sich Hinweise.

In der Betriebsanleitung wird beschrieben, dass bei einer Aussen-temperatur von -5 °C und einer Luftfeuchte (vermutlich ist Abluft gemeint) von über 60 % das Display blinkt. Es wird empfohlen, dann das Gerät auszuschalten.

Lieferant D

Das Gerät ist mit einem Enthalpietauscher ausgerüstet.

Zitat aus der Produktebeschreibung: «Durch die Feuchterückgewinnung im Enthalpietauscher arbeitet das Gerät bis ca. -5 °C ohne Vorerwärmer. Sollte die Außentemperatur weiter sinken, so wird eine Frostschutzregelung aktiviert, welche die Zufuhr der kalten Außenluft reguliert. Sinkt die Außenlufttemperatur weiter, schaltet das Gerät bei -15 °C in den Stand-by-Modus. Diese Regelung erfolgt durch einen Temperatursensor.» (Ende Zitat).

Es ist davon auszugehen, dass der Zuluftvolumenstrom stetig reduziert wird.

Gemäss den genannten Lieferanteninformationen muss davon ausgegangen werden, dass Einzelraumlüftungsgeräte typischerweise bis zu einer Aussen-temperatur von -5 °C voll einsatzfähig sind. Bei tieferen Aussen-temperaturen wird der Zuluftvolumenstrom reduziert oder das Gerät wird ganz ausgeschaltet. Wie die Nachströmung der Differenzluftmenge zu erfolgen hat, geht aus den Lieferantenangaben nicht hervor.

Die erwähnten $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ stimmen gut mit der theoretischen Vereisungsgrenze überein, die gemäss Anhang 2 (Kap. 9.4) für ein Gerät mit einem Temperatur-Verhältnis von 70 % berechnet wurde.

Diese Praxis widerspricht den Anforderungen der SIA 382/1, SIA 2023 und prSIA 382/5. Gemäss den Schweizer Normen. Zitat aus prSIA 382/5:

3.2.1.2 *Liegen die Aussenbedingungen innerhalb des Auslegungsbereichs, müssen die Behaglichkeitsanforderungen und alle Funktionen der Anlage eingehalten werden.*

3.2.1.3 *Liegen die Aussenbedingungen ausserhalb des Auslegungsbereichs, dürfen auch die Raumkonditionen ausserhalb der Auslegungswerte liegen. Der Luftaustausch über die Anlage muss aber weiterhin gewährleistet sein.*

(Ende Zitat)

Der Auslegungsbereich ist in der SIA 2028 definiert. Die Auslegtemperatur für den Winterfall liegt bei Klimastationen im schweizerischen Mittelland bei -10 bis $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ und sinkt in Alpinen Stationen bis $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Die Formulierungen in SIA 382/1 und SIA 2023 sind zwar anders gehalten, aber vom Sinn her gleichbedeutend.

Mit den aufgeführten Vereisungsschutzstrategien leisten Einzelraumlüftungsgeräte keinen Beitrag zur Reduktion des Heizleistungsbedarfs, da die WRG, und teilweise das ganze Gerät, bei Auslegtemperaturen nicht aktiv ist. Falls die WRG eines Einzelraumlüftungsgeräts beim Heizleistungsbedarf angerechnet werden soll, muss aus den Lieferantenangaben explizit ersichtlich sein, dass die WRG bei der Auslegtemperatur nach SIA 2028 aktiv ist.

Grundsätzlich gelten die Anforderungen an den Vereisungsschutz und die Folgerungen (Anrechenbarkeit der WRG) für alle Lüftungsgeräte mit WRG. So finden sich die aufgeführten Vereisungsschutzstrategien teilweise auch bei Komfortlüftungsgeräten für einzelne Wohnungen oder gar bei Monoblocs für Mehrfamilienhäuser.

4.1.6. Betrieb mit Disbalance

Die Ausführungen zur Energieeffizienz, Kondensat und Vereisungsschutz beziehen sich auf ein Massenstrom-Verhältnis von 1. Das heisst, dass der Zuluft-Massenstrom gleich gross ist wie der Abluft-Massenstrom. Da sich die angegebenen Volumenströme in der Regel auf die Raumlufttemperatur beziehen, kann das Massenstrom-Verhältnis vereinfacht auch als 1 bezeichnet werden, wenn der Zuluft- und Abluft-Volumenstrom gleich gross sind.

Ein Betrieb mit einem Massenstrom-Verhältnis von ungleich 1 wird hier als Disbalance bezeichnet. Bei Disbalance verschlechtert sich die Energiebilanz des Lüftungssystems.

Gründe für eine Disbalance können sein:

- Druckdifferenzen zwischen innen und aussen, infolge Wind oder Stackeffekt
- Vereisung der WRG, resp. Vereisungsschutzstrategie
- Filterverschmutzung
- Verschmutzungen im Gerät oder von Luftdurchlässen (z.B. Insektenschutzgitter)
- Absichtliche Betriebsstrategie, z.B. zur Reduktion des Schallleistungspegels
- Kombination mit Abluftanlagen, z.B. Abluftventilatoren in Bad, Dusche und WC

Bei der energetischen Betrachtung sind zwei Hauptfälle zu unterscheiden:

- **Gleichdruck mit zwei gleichen Geräten mit WRG**

Zwei Geräte, resp. eine gerade Anzahl von Geräten, sind miteinander kombiniert. Die eine Hälfte der Geräte arbeitet mit Zuluftüberschuss und die andere Hälfte mit Abluftüberschuss. Die Luftvolumenströme sind dabei so, dass im Raum (resp. in der Wohnung) kein Unter- oder Überdruck entsteht. Diese Strategie wird von einem Lieferanten angewandt um den Schallpegel zu reduzieren.

- **Gerät mit WRG, kombiniert mit Abluftanlage**

Das Gerät mit WRG wird mit Disbalance betrieben. Die Abluft, die durch die Abluftanlage gefördert wird, wird nicht über die WRG geführt. Das heisst, sie strömt mit Raumtemperatur ins Freie.

Externe Druckdifferenzen und Verschmutzungen können einen Zuluft- oder Abluftüberschuss im Gerät verursachen. Dies ist energetisch gleichwertig mit der Variante «Gerät mit WRG, kombiniert mit Abluft-Anlage».

Im Anhang 2 (Kap. 9) finden sich die Grundlagen für die folgenden Betrachtungen.

4.1.6.1. Gleichdruck mit zwei gleichen Geräten mit WRG

Abbildung 14 zeigt den Temperatur-Verhältnis des Systems in Funktion der Disbalance (eines Geräts). Das Temperatur-Verhältnis des Systems ist gleichbedeutend mit der sensiblen Wärme, die der Zuluft zugeführt wird. Die Abszisse gibt das Verhältnis des Zuluftmassenstroms des einen Geräts im Verhältnis zum Referenz-Massenstrom (= Mittelwert beider Geräte) an.

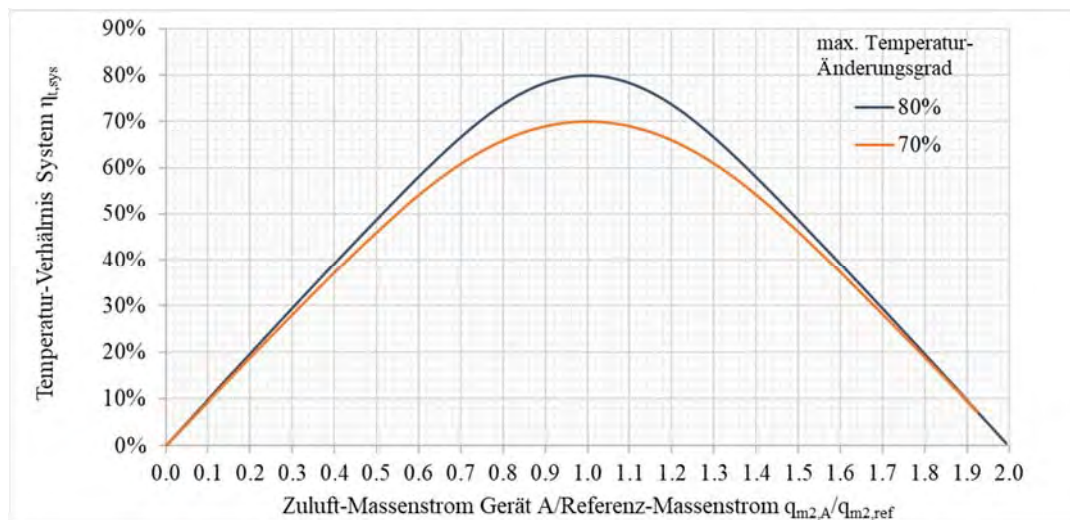


Abbildung 14: System-Temperatur-Änderungsgrad von zwei gleichen Lüftungsgeräten, die mit unterschiedlichen Massenstromverhältnissen betrieben werden, aber in der Summe im Gleichdruck arbeiten.

Beispiel: Wenn der Zuluft-Massenstrom des Geräts A 1.33-mal so hoch ist wie der Referenzmassenstrom, dann ist gleichzeitig der Abluft-Massenstrom 0.67-mal den Referenz-Massenstrom. Das Massenstrom-Verhältnis des Geräts A (bezogen auf die Zuluft) beträgt damit 2. Beim Gerät B sind die Verhältnisse umgekehrt und das Massenstrom-Verhältnis (bezogen auf die Zuluft) beträgt dort 0.5. Wenn die Geräte gemäss Lieferantenangaben (bei einem Massenstromverhältnis von 1^3) einen

³ Bei einem Massenstrom-Verhältnis von 1 ist der Zuluft-Massenstrom gleich gross wie der Abluft-Massenstrom

Temperatur-Änderungsgrad von 70 % aufweisen, sinkt der Temperatur-Änderungsgrad des Systems (beide Geräte zusammen) bei Disbalance im Beispiel auf 59 %.

Ein Lieferant bietet die Option an, dass die Geräte paarweise mit einem Massenstromverhältnis von 2 und 0.5 betrieben werden. Das heisst, dass dabei der energetische Nutzen der WRG rund 10 Prozentpunkte tiefer ist, als wenn die Geräte balanciert mit dem Mittelwert des Volumenstroms betrieben würden.

4.1.6.2. Gerät mit WRG kombiniert mit Abluft-Anlage

In Wohnungen werden Einzelraumlüftungsgeräte oft mit Abluft-Ventilatoren in Bad, Dusche und WC kombiniert. Dabei arbeiten die Einzelraumlüftungsgeräte mit Disbalance, d.h. der Zuluft-Massenstrom ist höher als der Abluft-Massenstrom. Durch den Unterdruck strömt zusätzlich ein Infiltrationsmassenstrom in die Wohnung.

Definitionen:

- Der Zuluft-Massenstrom bei ausgeschalteter Abluftanlage wird als Referenz-Massenstrom $q_{m,ref}$ bezeichnet.
- Der Referenz-Temperatur-Änderungsgrad beschreibt den Nutzen der WRG bezogen auf den Referenz-Massenstrom.

Abbildung 15 zeigt den Referenz-Temperatur-Änderungsgrad in Funktion des Verhältnisses des Massenstroms der Abluftanlage zum Referenz-Massenstrom und bei verschiedenen Luftdurchlässigkeiten der Gebäudehülle.

Die verschiedenen Luftdurchlässigkeiten entsprechen folgenden Fällen:

- $q_{a50} = 0.0 \text{ (m}^3/\text{h)/m}^2$: Absolute dichte Gebäudehülle, d.h. keine Infiltration
- $q_{a50} = 0.6 \text{ (m}^3/\text{h)/m}^2$: Zielwert für Neubauten gemäss SIA 180
- $q_{a50} = 1.6 \text{ (m}^3/\text{h)/m}^2$: Grenzwert für Neubauten mit mech. Lüftung gemäss SIA 180
- $q_{a50} = 100 \text{ (m}^3/\text{h)/m}^2$: Offenes Fenster für die Nachströmung der Abluft der Abluftanlage

Der Abbildung liegen folgende Annahmen zugrunde:

- Die Hüllfläche A_{inf} ist doppelt so gross wie die Energiebezugsfläche.
- Der Luftvolumenstrom der Einzelraumlüftungsgeräte beträgt $0.55 \text{ m}^3/\text{h}$ pro m^2 Energiebezugsfläche (Standardwert SIA 380/1). Dies ist auch der Referenz-Massenstrom.
- Das Temperatur-Verhältnis des Einzelraumlüftungsgeräts beträgt 70 % bei einem Massenstromverhältnis von 1.
- Das Einzelraumlüftungsgerät hat eine Druckschwankungsempfindlichkeit der Klasse S3 (vgl. 4.1.9).
- Die Disbalance steigt proportional mit dem Unterdruck in der Wohnung an.

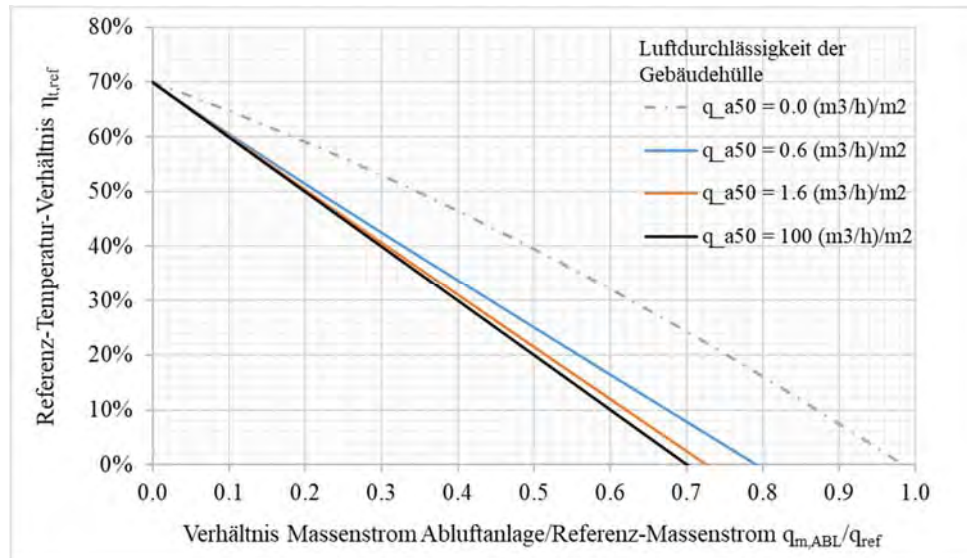


Abbildung 15: Referenz-Temperatur-Verhältnis bei der Kombination eines Gerätes mit WRG mit einer Abluftanlage (ohne WRG), in Funktion des Massenstroms der Abluftanlage, bei verschiedenen Luftdurchlässigkeiten der Gebäudehülle

Bei einem Verhältnis des Massenstrom der Abluftanlage zum Referenzmassenstrom von $q_{m,ABL}/q_{m,ref} = 0.5$ und einer Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle, die dem Grenzwert der SIA 180 entspricht, strömen gut 90 % der Ersatzluft (der Abluftanlage) durch Infiltration nach und die restlichen 10 % durch die Disbalance der Einzelraumlüftungsgeräte. Der Unterdruck in der Wohnung liegt dabei bei ca. 1 Pa. Wenn die Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle dem Zielwert entspricht, strömen knapp 80 % der Ersatzluft durch Infiltration nach und der Unterdruck erreicht rund 4 Pa. Bei Neubauwohnungen mit 4 und mehr Zimmern entspricht das einem Bad-Abluftventilator mit 40 bis 50 m³/h. Bei Kleinwohnungen mit weniger als 3 Zimmern könnten sich rel. hohe Unterdrücke einstellen. Dort sollte mindestens für Abluftanlagen mit Dauerbetrieb für die Nachströmung der Abluft separate Aussenluft-Durchlässe vorgesehen werden.

Beispiel: In einer Neubau-Wohnung werden drei gleiche Einzelraumlüftungsgeräte mit einem Luftvolumenstrom von jeweils 30 m³/h betrieben. Der Temperatur-Änderungsgrad liegt dabei bei 70 %. Solange kein Abluftventilator in Betrieb ist, beträgt das Massenstromverhältnis bei jedem dieser Geräte 1. Nun wird im Bad ein Abluftventilator (nur Abluft ohne WRG) mit einem Luftvolumenstrom von 45 m³/h eingeschaltet. Da nach dem Minergie-Standard gebaut wurde, kann davon ausgegangen werden, dass die Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle dem Zielwert entspricht. Der Referenz-Volumenstrom beträgt 90 m³/h. Das Verhältnis des Abluft-Massenstroms der Abluftanlage zum Referenz-Massenstrom liegt bei 0.50. Aus Abbildung 15 kann abgelesen werden, dass der Referenz-Temperatur-Änderungsgrad auf 25 % sinkt. Der thermisch wirksame Aussenluftvolumenstrom des Systems (gem. SIA 380/1) in den beiden Betriebsfällen ist:

- Nur Betrieb der Einzelraumlüftungsgeräte:
 $q_{v,th} = (1 - 0.70) \cdot 90 \text{ m}^3/\text{h} = 27.0 \text{ m}^3/\text{h}$
- Gleichzeitiger Betrieb der Einzelraumlüftungsgeräte und der Abluftanlage
 $q_{v,th} = (1 - 0.25) \cdot 90 \text{ m}^3/\text{h} = 67.5 \text{ m}^3/\text{h}$

Wenn die Einzelraumlüftungsgeräte dauernd in Betrieb sind und die Abluftanlage täglich 2 h eingeschaltet ist, ergibt sich für den thermisch wirksame Aussenluftvolumenstrom ein Tagesmittelwert von 30.4 m³/h. Im Tagesmittel wird der Nutzen der WRG der Einzelraumlüftungsgeräte um ca. 4 Prozentpunkte reduziert.

Bemerkungen:

- In neuen Wohnungen sind oft zwei Abluftanlagen (für Bad, Dusche und WC) vorhanden. In typischen Neubauwohnungen wird damit der Nutzen der WRG bei bedarfsgesteuerten Abluftanlagen um rund 8 bis 10 Prozentpunkte reduziert.
- Bei Dauerbetrieb der Abluftanlagen wird der Nutzen der WRG in der Grössenordnung von 45 bis 50 Prozentpunkte reduziert.

4.1.6.3. Vereisung bei Disbalance

Abbildung 16 zeigt die Vereisungsgrenze in Funktion der Disbalance. Die Abszisse gibt das Verhältnis des Zuluft-Massenstroms im Verhältnis zum Referenz-Massenstrom (= Mittelwert von Zuluft- und Abluft) an. Die Grundlagen finden sich im Anhang 2.

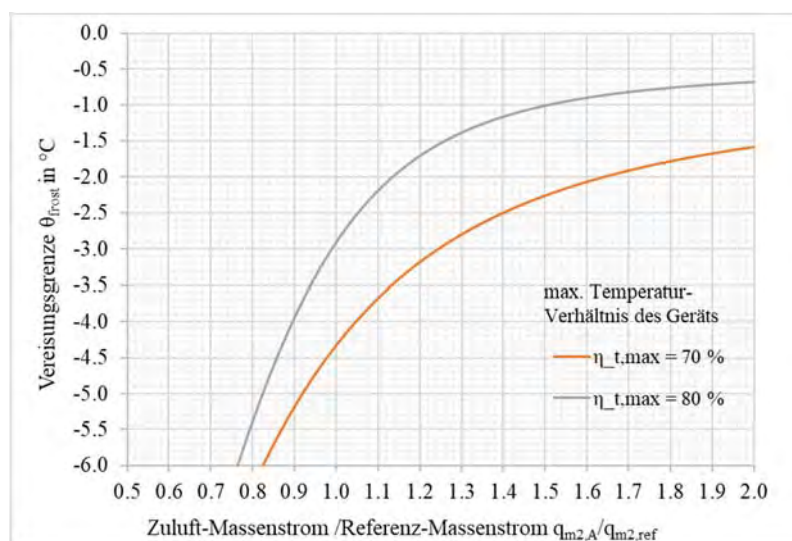


Abbildung 16: Vereisungsgrenze von Einzelraumlüftungsgeräten bei verschiedenen Temperatur-Verhältnissen, in Funktion der Disbalance

Beispiel: Bei einem Einzelraumlüftungsgerät mit einem Temperatur-Verhältnis von 70 % ist der Zuluft-Massenstrom 1.33-mal so hoch ist wie der Referenzmassenstrom. Das bedeutet, dass der Abluft-Massenstrom das 0.67-fache des Referenz-Massenstrom ist oder das Massenstromverhältnis von Zuluft zu Abluft ist 2. Gegenüber einem Massenstromverhältnis von 1 steigt die Vereisungsgrenze von -4.3 °C auf -2.7 °C. Bei der Klimastation Zürich MeteoSchweiz verlängert sich dadurch die Zeit mit Forstschutzbetrieb von 250 auf 410 Stunden.

4.1.7. Schall

Die akustische Beurteilung von Einzelraumlüftungsgeräten in realen Wohnungen war nicht Gegenstand der experimentellen Arbeiten in diesem Projekt. Es ist aber zu erwähnen, dass die Lieferantangaben zum Schall teilweise unklar und mangelhaft sind. Dadurch werden teilweise Einzelraumlüftungsgeräte installiert, die die Anforderungen der Schweizer Normen nicht einhalten. Gemäss SIA 2023 darf der Schalldruckpegel, den eine Lüftungstechnische Einrichtung in einem Wohn- oder Schlafzimmer verursacht, max. 25 dB(A) betragen. Bei üblichen Raumdämpfungen im Wohnbereich von 1 bis 2 dB darf der Schallleistungspegel typischerweise nicht über 26 bis 27 dB(A) liegen. Eine Lüftungsanlage kann aus Sicht der Nutzer nur dann als funktionsfähig

bezeichnet werden, wenn die akustischen Anforderungen eingehalten sind. Daher sollte der energetische Nutzen auch nur dann angerechnet werden dürfen, wenn diese Anforderung eingehalten ist. Eine akustisch korrekte Angabe für ein Gerät erfolgt immer als Schallleistungspegel.

Beispiel:

Im Datenblatt eines realen Einzelraumlüftungsgerätes finden sich folgende Angaben (Zitat):

Förderleistung auf Stufe	2
Zu-/Abluft $\dot{V}$ m ³ /h	30
Geräusch dB(A)	
Abstrahlung L_{pA} in 3 m	22

(Ende Zitat)

Die Angabe ist so zu verstehen, dass der Schalldruckpegel im Freifeld gemessen in 3 m Abstand 22 dB(A) beträgt. Wenn die Angabe auf den Schallleistungspegel umgerechnet wird, ergeben sich $L_{WA} = \text{ca. } 40 \text{ dB(A)}$. In einem typischen Schlafzimmer würde sich ein Schalldruckpegel von ca. 38 bis 39 dB(A) einstellen. Dieser Wert wäre inakzeptabel. Das heisst, dass das Gerät für den Einsatz in Wohn- und Schlafzimmern akustisch ungeeignet ist.

4.1.8. Zuluftfilter

Die prSIA 382/5 fordert auf der Zuluftseite Filter der Klasse ISO ePM_{2,5} 65 % oder ISO ePM₁ 50 % (bzw. F7). Nicht alle auf dem Markt verfügbaren Geräte sind mit dieser Filterklasse ausgerüstet. Teilweise ist diese Filterklasse optional erhältlich, aber die Leistungsangaben beziehen sich dann meist auf eine tiefere Filterstufe.

Analog wie beim Schall ist eine Lüftungsanlage für die Nutzer nur dann gebrauchstauglich, wenn sie hygienisch einwandfrei ist. Dazu gehört eine normgerechte Filtrierung. In Energienachweisen sollten daher die Leistungsdaten mit Filterklasse ISO ePM_{2,5} 65 % oder ISO ePM₁ 50 % (bzw. F7) eingesetzt werden.

4.1.9. Empfindlichkeit des Luftstroms

Die Empfindlichkeit des Luftstroms gemäss prEN13141-8:2018 besagt, um wie viel Prozent sich der Luftvolumenstrom verändert, wenn die statische Druckdifferenz zwischen innen und aussen +20 Pa oder -20 Pa beträgt. Der Wert wird beim maximalen Luftvolumenstrom eines Geräts bestimmt. In der EU-Verordnung zur Energieetikette von Wohnraumlüftungsgeräten DV EU 1254/2014 [12] wird dieser Wert als «Druckschwankungsempfindlichkeit» bezeichnet. Bei Geräten, die mit einer Energieetikette versehen werden müssen, muss der Lieferant die Druckschwankungsempfindlichkeit in der öffentlich zugänglichen Produktedeklaration aufführen.

In der prEN 13142:2018 ist die Empfindlichkeit des Luftstroms gemäss Tabelle 4 klassiert.

Klasse	Maximale Abweichung des Luftvolumenstroms im Verhältnis zum maximalen Luftvolumenstrom in %, bei einer Aussendruckdifferenz von	
	+ 20 Pa	- 20 Pa
S1	≤ 10	≤ 10
S2	≤ 20	≤ 20
S3	≤ 30	≤ 30
nicht klassifiziert	> 30	> 30

Tabelle 4: Klassierung der Empfindlichkeit des Luftstroms gemäss prEN 13142:2018

Mit zunehmender Empfindlichkeit des Luftstroms nimmt die Disbalance zu. Bei Wind oder durch den Stackeffekt sind diese Einflüsse kurzfristig und von den lokalen Bedingungen abhängig. Die Empfindlichkeit des Luftstroms hat aber auch einen Zusammenhang mit dem Filterzustand und der Verschmutzung: Je höher die Empfindlichkeit des Luftstroms, desto grösser wird die Disbalance bei zunehmender Verschmutzung. Im Allgemeinen ist eine hohe Empfindlichkeit des Luftstroms energetisch ein Nachteil, da die Ventilatoren bei einer gegebenen Betriebsstufe den Luftvolumenstrom möglichst konstant halten sollen. Bei einer Kombination von Einzelraumlüftungsgeräten mit Abluftanlagen ist aber eine mittlere Empfindlichkeit des Luftstroms von Vorteil, damit in der Wohnung kein zu grosser Unterdruck entsteht. Falls bei einem System die Einzelraumlüftungsgeräte mit der Abluftanlage steuerungstechnisch gekoppelt wären, wäre auch für diesen Fall eine tiefe Empfindlichkeit des Luftstroms anzustreben.

Da viele Einzelraumlüftungsgeräte wegen der geringen elektrischen Aufnahmeleistung nicht mit einer Energieetikette ausgerüstet werden müssen, finden sich kaum Geräte, bei denen die Empfindlichkeit des Luftstroms (resp. gemäss DV EU 1353/2014: Druckschwankungsempfindlichkeit) deklariert ist. Es ist aber anzunehmen, dass ein erheblicher Teil der marktgängigen Geräte in die Klassen S3 und «nicht klassifiziert» fallen würde.

4.2. Abluftanlagen

4.2.1. Grundlagen

Im Merkblatt SIA 2023 sind die Dimensionierung sowie die Anforderungen an Abluftanlagen festgelegt. Bezüglich Schallschutz gegen Aussenlärm gilt grundsätzlich die SIA 181, wobei dort nicht explizit auf die Schwächung des Schalldämm-Mass durch ALD eingegangen wird. Eine Zusammenstellung der Anforderungen und der Dimensionierung, inkl. Beispielen findet sich in [2].

SIA 2023 wird voraussichtlich im Jahr 2020 durch die SIA 382/5 abgelöst. Im Vernehmlassungsentwurf dieser neuen Norm [9] werden die Abluftanlagen ähnlich behandelt wie in der SIA 2023. Abweichungen, die in Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit relevant sind, werden in den folgenden Abschnitten erwähnt.

4.2.2. Dimensionierung der ALD

Gemäss SIA 2023, wie auch prSIA 382/5, wird einem Zimmer, das als Schlafzimmer für zwei Personen genutzt werden kann, bei Standardanforderungen ein Zuluftvolumenstrom von mind. 30 m³/h zugeführt. In der prSIA 382/5 ist zudem für erhöhte Anforderungen an die Raumluftqualität ein Zuluftvolumenstrom von mind. 50 m³/h aufgeführt. Bei Abluftanlagen muss dieser Luftvolumenstrom durch die ALD nachströmen. Dabei darf gemäss SIA 2023 im Raum ein Unterdruck von 4 bis 5 Pa resultieren. In der prSIA 382/5 wird ein Wert 4 Pa bei sauberen Filtern genannt.

Auf dem Markt finden sich kaum ALD, bei denen sich die Anforderungen der SIA 2023 resp. prSIA 382/5 mit einem Element pro Raum erfüllen lassen. Bei den gängigen Produkten strömt bei einem Unterdruck von 4 Pa gemäss Lieferantenangaben typischerweise ein Luftvolumenstrom von 10 bis 20 m³/h nach. Das bedeutet, dass pro Raum typischerweise zwei ALD eingesetzt werden müssen, um den Anforderungen der Schweizer Normen zu genügen. Die im Rahmen dieses Projekts durchgeführten Messungen bestätigen diese Aussage.

Aussenluft strömt nicht nur durch die ALD von aussen nach, sondern auch durch Leckagen in der Gebäudehülle (vgl. 4.1.5). Es kann daher argumentiert werden, dass die ALD nicht auf die erwähnten Zuluftvolumenströme dimensioniert werden müssen, sondern etwas tiefer.

Bei den Messungen in 8 Wohnungen im Projekt ABLEG [6] waren die ALD nur in einzelnen Fällen auf die Luftvolumenströme gemäss SIA 2023 ausgelegt, d.h. bei den meisten Räumen waren die Werte deutlich tiefer. Generell war die Zufriedenheit der Nutzer mit der Raumluftqualität gut. Allerdings wiesen einige Wohnungen eine tiefe Belegung auf. Aufgrund dieser und weiteren Beobachtungen kann nicht eindeutig geschlossen werden, ob und wie weit die ALD wegen der Infiltration kleiner dimensioniert werden können. Die Situation dürfte stark objektspezifisch sein. Es könnte allenfalls zugestanden werden, dass die ALD gegenüber prSIA 382/5 10 % tiefer dimensioniert werden können. Es scheint plausibel, dass die übrigen 10 % typischerweise durch die Infiltration direkt in den Raum strömen. Damit würde sich in vielen Fällen auch der Abluftvolumenstrom um ca. 10 % reduzieren. Der Abluftvolumenstrom wäre damit bei einer 4 ½-Zimmer-Wohnung mit zwei Bädern und einer Auslegung nach prSIA 382/5 ca. 20 % höher als bei einer einfachen Lüftungsanlage (Komfortlüftung).

4.2.3. Thermische Behaglichkeit

Im Projekt ENABL [10] wurde die thermische Behaglichkeit bei verschiedenen ALD experimentell und mittels Berechnungen (Simulationen) untersucht. Die allgemeine Aussage ist, dass bei einer fachgerechten Positionierung gemäss Lieferantenangaben bei den untersuchten Produkten kein unzulässiges Zugluftisiko auftritt.

Im Projekt ABLEG wurde in der Bewohnerbefragung nach der subjektiven Beurteilung der thermischen Behaglichkeit gefragt. Zitat aus [6]: *«9 der 25 befragten Personen nahmen nie und etwa die Hälfte nur manchmal Zugluft in den Räumen wahr, wobei nur 1 Person aus 25 über permanente Zugluft klagt. Einige Personen haben angegeben, dass sie nur bei starkem Wind Zugluft wahrnehmen.»* (Ende Zitat)

In [11] wird auf eine Befragung in der Überbauung Hunziker-Areal, Zürich hingewiesen. 40 % der Personen, die in Wohnungen mit Abluftanlagen leben, nehmen immer oder regelmässig Luftzug wahr.

Die verfügbaren Quellen geben kein einheitliches Bild über die thermische Behaglichkeit bei Abluftanlagen mit ALD. Der Anteil an negativen Rückmeldung über Zugerscheinungen ist aber höher als bei einfachen Lüftungsanlagen (Komfortlüftungen).

4.2.4. Filter von ALD

Nach SIA 2023 sind bei ALDs keine Filter gefordert, wenn die Aussenluft sauber ist oder nur gasförmige Verunreinigungen aufweist (AUL 1 gemäss SIA 382/1:2018), und die ALDs gut zugänglich sind und von Laien ohne Werkzeuge gereinigt werden können. prSIA 382/5 fordert hingegen auch für diese Fälle einen Filter der Klasse ISO ePM₁₀ 50 % (bzw. M5). In den übrigen Fällen wird ein Filter der Klasse ISO ePM_{2,5} 65 % oder ISO ePM₁ 50 % (bzw. F7) gefordert. Auf dem Markt finden sich nur vereinzelte Produkte, die höhere Anforderung erfüllen. Auch die Filterklasse ISO ePM₁₀ 50 % findet sich längst nicht bei allen Anbietern. Typisch sind eher ALDs mit Grobstaubfiltern. Viele Produkte lassen sich optional mit verschiedenen Filterstufen ausrüsten. Wobei bei zunehmender Filterqualität der Druckverlust zunimmt, resp. bei gegebenem Druckabfall der Luftvolumenstrom abnimmt.

4.2.5. Unterdruck und Infiltration

Der Unterdruck, der bei Abluftanlagen durch den Abluftventilator verursacht wird, führt nicht nur zum Nachströmen der Aussenluft durch die ALD, sondern auch zu Infiltration. Die Wege der Infiltrationsluft sind kaum planbar und/oder vorhersehbar. Wege, die direkt von aussen nach innen führen, wie z.B. Fensterfugen, sind hygienisch kaum problematisch. Es kann aber auch hygienisch problematische, oder mind. undefinierbare Wege durch Installationszonen geben. Weiter sind Luftübertragungen zwischen Wohnungen sowie das Nachströmen von Luft aus dem Treppenhaus möglich. Das heisst, dass verschmutzte ALD ein doppeltes hygienisches Risiko darstellen: erstens können sie selbst zur Quelle der Raumlufbelastung werden und zweitens erhöhen sie die Infiltrationsrate.

In einer Untersuchung zu Küchenabluft [13] wurden Infiltrationswege anhand einer exemplarischen Messung an einem realen Objekt dokumentiert. Bei Abluftanlagen sind vergleichbare Infiltrationswege möglich.

4.2.6. Feuchtegeregelte ALD

In Frankreich und der Westschweiz ist ein System mit feuchtegeregelten ALD verbreitet. Der Strömungswiderstand der ALD nimmt mit sinkender relativer Raumluftheuchte zu. Es wird argumentiert, dass dadurch bei tiefer Belegung und/oder tiefen Aussentemperaturen der Aussenluftvolumenstrom reduziert wird. Der Effekt kommt aber nur dann zum Tragen, wenn auch der Abluftvolumenstrom bedarfsgeregt ist.

In [6] wurden zwei Mehrfamilienhäuser (MFH) mit diesem System messtechnisch untersucht. Bei einem MFH wurde der Abluftvolumenstrom über ein Jahr gemessen. Es wurde beobachtet, dass der Abluftvolumenstrom im Januar und Februar ca. 10 % unter dem Sommerwert lag. Ob und wie weit der Aussenluftvolumenstrom generell (d.h. auch im Sommer) durch die feuchtegeregelten ALD beeinflusst wurde, kann anhand der Messungen nicht gesagt werden.

Neben den feuchtegeregelten ALD kommen grundsätzlich auch gleichwertige andere Verfahren zur Bedarfsregelung von Abluftanlagen infrage.

5. Fazit

5.1. Anlagen mit Einzelraumlüftungsgeräten

Aus den durchgeführten Messungen und Analysen ergeben sich folgende Erkenntnisse:

- Bei der Gerätewartung und beim Filterwechsel ist die Reinigung des gesamten Gerätes inkl. u.U. schlecht zugänglicher Elemente wie z.B. Fliegengitter wichtig, da gerade diese Elemente, wenn verstopft, zu einer starken Reduktion von der Luftmenge führen können. Dies bedeutet jedoch (je nach System und Gerät) einen erheblichen Aufwand.
Im Sinn einer Planungsempfehlung kann gesagt werden, dass sensible Komponenten, wie Fliegenschutzgitter, gut zugänglich sein müssen.⁴
- Die Gerätewartung scheint im Vergleich zu den Aussenluftdurchlässen eher organisiert zu sein. Dies dürfte daran liegen, dass das ein Einzelraumlüftungsgerät einfacher als «technisches Gerät» erkennbar ist und klarer ist, dass dieses einer Wartung bedarf.
- Bei Anlagen mit zusätzlichen Abluftventilatoren in Bad/Dusche/WC können grosse Disbalancen auftreten. Dies zeigt sich insbesondere, wenn die Leistung der Badabluft nicht auf die Einzelraumgeräte abgestimmt ist (zu starke Ventilatoren). Die Kombination mit Abluftanlagen reduziert den Nutzen der WRG bei Dauerbetrieb der Abluftanlage typischerweise um 30 bis 40 Prozentpunkte und bei bedarfsgesteuertem Betrieb der Abluftanlage um rund 5 bis 10 Prozentpunkte.
- Einzelraumgeräte mit gewollter Disbalance können in der Ausführung zu zusätzlichen Fehlern führen, da die Anlagen komplexer werden.
Innerhalb einer Wohnung kann die Kombination einer geraden Anzahl von Geräten mit Disbalance eine kaskadenartige Luftverteilung bewirken (Überströmung der Differenzluftmengen vom Zimmer in den Korridor), aber der Nutzen der WRG wird gegenüber einem balancierten Betrieb mit gleichem Gesamtluftvolumenstrom um ca. 10 Prozentpunkte geschwächt.
- Viele Einzelraumgeräte erfüllen die Schweizer Anforderungen an den Schallschutz nicht. Zu laute Geräte führten bei einigen Objekten zum Abschalten der Geräte. Wenn die Geräte ausgeschaltet werden, verpufft der energetische Nutzen der WRG.
- Demgegenüber wurden nur in Einzelfällen Behaglichkeitsprobleme geäußert. Dies dürfte mit der dank WRG höheren Einblastemperatur zusammenhängen.
- Probleme mit Kondensat wurden bei einem Gerät angetroffen. Eine wirksame Kondensatableitung scheint bei diesem Gerät nicht vorhanden zu sein. Generell wird das Kondensat von den Geräteherstellern nebensächlich behandelt. Bei einem typischen Temperatur-Verhältnis der Geräte von ca. 70 % (Nutzen der WRG ca. 60 %) fällt aus üblicher Abluft aus Wohn- und Schlafzimmern kaum Kondensat an.
- Der Vereisungsproblematik wird von den Geräteherstellern ebenfalls wenig Beachtung geschenkt. Aufgrund der Produktdokumentation von vier namhaften Lieferanten ist davon auszugehen, dass bei typischen Einzelraumlüftungsgeräten die WRG nur bis zu einer Aussentemperatur von ca. -5 °C vollständig aktiv ist. Bei tieferen Aussentemperaturen wird die WRG durch Betrieb mit Abluft-Überschuss oder das komplette Ausschalten des Geräts teilweise oder vollständig deaktiviert. Wie die Differenzluftmenge nachströmen soll, wird von den Gerätelieferanten nicht definiert.
Bei Betrieb mit Zuluft-Überschuss (z.B. geregelte Disbalance oder Kombination mit Abluftanlagen) verschiebt sich die Vereisungsgrenze in den Bereich von -3 °C. In diesen Fällen ergibt sich ein konzeptioneller Konflikt mit Vereisungsschutzstrategien mit Abluftüberschuss. Diese Problematik wird von den Gerätelieferanten nicht erwähnt.

⁴ Komponenten (z.B. Fliegenschutzgitter) in Lüftungsgeräten oder Apparaten dürfen nicht demontiert werden, wenn sie zur Standardausrüstung gehören, oder vom Lieferanten für spezifische Anwendungsfälle vorgegeben sind. Im Falle des Fliegenschutzgitters könnten allfällige weitere in Strömungsrichtung folgende Komponenten unzulässig beansprucht werden.

5.2. Abluftanlagen mit Aussenluftdurchlässen

Aus den durchgeführten Messungen und Analysen ergeben sich folgende Erkenntnisse:

- Wie bei den Einzelraumgeräten ist bei der Wartung und dem Filterwechsel die Reinigung des gesamten ALD inkl. u.U. schlecht zugänglicher Elemente wie z.B. Fliegengitter wichtig. Es zeigte sich, dass der Zuluftfilter gegenüber anderen Bauteilen u.U. nur den geringeren Teil des Druckverlustes ausmacht und damit der Filterersatz alleine keine ausreichende Zuluftmenge garantiert. Dies bedeutet jedoch (je nach System und Gerät) einen erheblichen Aufwand, da in einer Wohnung mehrere ALD vorhanden sind. Im Sinne einer Planungsempfehlung kann gesagt werden, dass sensible Element wie Fliegenschutzgitter und Schalldämmkulissen gut zugänglich sein müssen.
- Die Wartung der ALD war nur bei einem Drittel der untersuchten Gebäude organisiert. Dies dürfte typisch für solche Anlagen sein, da den zuständigen Personen (bzw. den Mietern) oft nicht bekannt ist, dass das Element einer Wartung bedarf und dass darin ein Filter enthalten ist.
- Da sich aus den Resultaten der Untersuchung zeigt, dass die Wartung das gesamte Element beinhalten muss, kann diese Wartungsaufgabe nicht an die Mieter delegiert wird. Um langfristig die Funktion der ALD zu erhalten, ist eine professionelle Wartung unumgänglich.
- Wegen des Unterdrucks ist eine Infiltration unvermeidbar. Bei Messungen in dieser Untersuchung, wie auch schon in anderen Projekten [6], hat sich gezeigt, dass das System nur funktioniert, wenn eine genügende Luftdichtheit der Gebäudehülle vorhanden ist. Bei Abluftanlagen wird empfohlen, dass die Luftdurchlässigkeit der Hüllfläche dem Zielwert der SIA 181:2014 entspricht.
- In der überwiegenden Zahl der Objekte werden die Soll-Zuluftvolumenströme nach SIA 2023 in den einzelnen Räumen deutlich unterschritten. Ein wesentlicher Faktor dafür dürfte zum einen in der Auslegung der ALD liegen und zum andern (insbesondere bei Sanierungen) in der Luftdichtheit des Gebäudes. Die meisten marktüblichen ALD sind zu klein bemessen um die Anforderungen der Schweizer Normen zu erfüllen. D.h. dass in einem Schlafzimmer typischerweise zwei ALD vorzusehen sind, um den Anforderungen zu genügen.
- Bei Anlagen, welche über eine Abluft Dunstabzugshaube verfügen, zeigte sich, dass (bei dichter Gebäudehülle) hohe Unterdrücke in der Wohnung beim Betrieb des Dunstabzuges auftreten können. Die ALD der Grundlüftung können die hohen Luftmengen der Abzugshaube nicht mit vertretbaren Druckverlusten liefern. Dieser Aspekt ist bei der Planung zu berücksichtigen.
- Bei den Abluftanlagen sind die Schallemissionen der Badventilatoren deutlich kritischer als bei einer normalen bedarfsgesteuerten Badabluft, da die Anlage dauernd in Betrieb ist. Dies ist bei der Planung und Auswahl der Ventilatoren zu berücksichtigen. Auch ist in diesem Zusammenhang die Funktionalität einer Zeitsteuerung zu prüfen (keine Schaltungen wie z.B. «jede Stunde 10 min, Stufe 2»). Probleme mit dem Schallschutz gegen aussen wurden bei den untersuchten Objekten nicht geäußert.
- Aus anderen Projekten ([6] und [11]) ist bekannt, dass bei Abluftanlagen mit ALD immer wieder Behaglichkeitsprobleme (spez. Zugluft) erwähnt werden. In der durchgeführten Arbeit wurde dies auch von einigen Bewohnern geäußert. Bei einer fachgerechten Planung lassen sich die normativ geforderten Behaglichkeitsanforderungen aber einhalten [10]. Trotzdem kann gesagt werden, dass bei Abluftanlagen mit ALD prozentual mehr Meldungen über Zugerscheinungen bekannt sind als bei Lüftungssystemen mit WRG.

6. Empfehlungen

Die folgenden Empfehlungen betreffen Energienachweise mit Einzelraumlüftungsgeräten und Abluftanlagen mit ALD.

6.1. Anlagen mit Einzelraumlüftungsgeräten

6.1.1. Temperatur-Verhältnis (Nutzen der WRG) im Energienachweis

Die unbedachte Übernahme von Werten aus Produktdokumentationen würde zu einer deutlichen Überschätzung des thermischen Nutzens von Einzelraumlüftungsgeräten führen. Dies kann z.B. mit Wärmepumpen verglichen werden: Der COP entspricht nicht der Jahresarbeitszahl resp. dem SCOP.

Gegenüber dem Temperatur-Verhältnis, das bei Prüfstandmessungen ermittelt wird, reduzieren folgende Einflüsse den Nutzen der WRG:

- Disbalance durch Druckdifferenzen, die durch Wind und Stackeffekt verursacht werden,
- Disbalance durch Filterverschmutzung und weitere Verschmutzungen im Gerät,
- Disbalance durch die Kombination mit Abluftanlagen (Abluftventilator Bad/WC),
- Disbalance durch die Gerätesteuerung (z.B. aus Schallgründen) und
- Wärmefluss durch das Gerätegehäuse und interne Leckagen

Das Mass der Disbalance, die durch die ersten beiden Punkte verursacht wird, ist massgebend von der Empfindlichkeit des Luftstroms abhängig.

Es wird vorgeschlagen, dass der Nettonutzen der WRG, der für den Energienachweis (z.B. Berechnung SIA 380/1) verwendet wird, gemäss der folgenden Gleichung bestimmt wird:

$$\eta_{t,net} = \eta_{t,norm} - \Delta\eta_{t,stab} - \Delta\eta_{t,disb} - \Delta\eta_{t,defr}$$

wobei

$\eta_{t,net}$ Nettonutzen der WRG, d.h. Wirkung für die Reduktion der Lüftungswärmeverluste der mechanischen Lüftung im Energienachweis

$\eta_{t,norm}$ Temperatur-Verhältnis bezogen auf die Zuluft, nach EN 13141-8 bei einem Massenstromverhältnis von 1

$\Delta\eta_{t,stab}$ Reduktion des Nutzens der WRG infolge Disbalance durch Wind, Stackeffekt und Verschmutzungen sowie von Leckagen, gemäss Tabelle 5

$\Delta\eta_{t,disb}$ Reduktion des Nutzens der WRG bei einer systembedingten Disbalance (Kombination mit Abluftanlage oder Steuerung), gemäss Tabelle 6

$\Delta\eta_{t,defr}$ Reduktion des Nutzens der WRG infolge Vereisungsschutzsteuerung

Empfindlichkeit des Luftstroms resp. Druckschwankungsempfindlichkeit	Reduktion $\Delta\eta_{t,stab}$
Klasse S1	5 %
Klasse S2	10 %
Klasse S3	15 %
nicht klassifiziert	20 %

Tabelle 5: Reduktion des Nutzens der WRG infolge Disbalance durch Wind, Stackeffekt und Verschmutzungen

Die Reduktion des Nutzens der WRG infolge Empfindlichkeit des Luftstroms lehnt sich an Tabelle 2 der prEN 13142:2018 an. Wobei im Vergleich zur Quelle eher tiefe Werte vorgeschlagen werden. Nach dem Vorliegen der definitiven Norm sollen die Werte überprüft werden.

Die Empfindlichkeit des Luftstroms resp. die Druckschwankungsempfindlichkeit ist bei vielen Geräten nicht deklariert resp. nicht bekannt. In diesen Fällen kann die Klasse wie folgt bestimmt werden:

- Geräte mit Radialventilatoren: Klasse S3
- Geräte mit Axialventilatoren: nicht klassifiziert

In Tabelle 6 werden Werte für die Reduktion des Nutzens der WRG bei einer systembedingten Disbalance vorgeschlagen.

Fall	Reduktion $\Delta\eta_{t,disb}$
Bedarfsgesteuerte Abluftventilatoren in den Nasszellen im Ein/Aus-Betrieb, - Neubau mit sehr dichter Gebäudehülle (Minergie) - Übrige Wohngebäude	8 % 10 %
Abluftventilatoren in den Nasszellen mit Dauerbetrieb	50 %
Paarweiser Betrieb von Geräten mit WRG. Die Summe der Zu- und Abluftvolumenströme aller Geräte ist gleich gross. - Massenstromverhältnisse der Geräte 0.67 und 1.5 - Massenstromverhältnisse der Geräte 0.5 und 2.0	5 % 10 %

Tabelle 6: Reduktion des Nutzens der WRG bei einer systembedingten Disbalance

Wenn eine Abluftanlage und gleichzeitig ein paarweiser Betrieb von Geräten mit geregelter Disbalance vorhanden ist, sind die Werte von Tabelle 6 zu addieren.

Die Reduktion des Nutzens der WRG durch die Vereisungsschutzsteuerung wird bestimmt, in dem angenommen wird, dass bei Einzelraumlüftungsgeräte mit balanciertem Betrieb bei einer Aussentemperatur von -5 °C der Zuluftvolumenstrom reduziert wird. Bei systembedingter dauernder Disbalance wird eine Vereisungsgrenze von -3 °C angenommen. Dies kann durch eine eigene Berechnung (vgl. [14]) oder überschlagsmässig mit Tabelle 7 bestimmt werden.

Wenn in der Produktdokumentation des Lieferanten keine explizite Beschreibung der Vereisungsschutzstrategie vorhanden ist, wird standardmässig damit gerechnet, dass das Gerät bei der Vereisungsgrenze abgeschaltet wird.

Klima	Vereisungsgrenze, resp. Aktivierung Vereisungsschutz Abschalten des Geräts bei		stetige Reduktion des Zuluftvolumenstroms ab	
	-5 °C	- 3°C	-5 °C	- 3 °C
Alpennordseite bis 800 m ü. M. (Zürich MeteoSchweiz)	6 %	11 %	1 %	2 %
Alpensüdseite bis 800 m ü. M. (Lugano)	0 %	3 %	0 %	1 %
Lagen über 800 m ü. M. (Davos)	25 %	35 %	7 %	11 %

Tabelle 7: Reduktion des Nutzens der WRG durch Vereisungsschutz der WRG

Beispiel: In einer bestehenden Wohnung im schweizerischen Mittelland werden Einzelraumlüftungsgeräte mit Radialventilatoren eingesetzt. Das Temperatur-Verhältnis beträgt 0.70 (bei einem Massenstromverhältnis von 1). Zudem sind in Bad und Dusche bedarfsgesteuerte Abluftventilatoren installiert. Weitere Angaben sind nicht vorhanden.

- Gemäss Tabelle 5 bei S3 (da Gerät mit Radialventilatoren) ist $\Delta\eta_{t,stab} = 15 \%$
- Gemäss Tabelle 6 bei bedarfsgesteuerte Abluftventilatoren ist $\Delta\eta_{t,disb} = 10 \%$
- Gemäss Tabelle 7 bei Abschalten des Geräts bei $-5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ist $\Delta\eta_{t,defr} = 6 \%$

Der Nettonutzen der WRG wird damit: $\eta_{t,net} = 70 \% - 15 \% - 10 \% - 6 \% = 39 \%$

6.1.2. Nachweis mittels Standardlösungskombination (für Neubauten) in der MuKE 2014

Der geforderte «Wirkungsgrad der WRG» (vermutlich ist das Temperatur-Verhältnis gemeint) von 80 % lässt sich mit Einzelraumlüftungsgeräten kaum erreichen. Dies sollte mindestens in der Vollzugshilfe geklärt werden.

Es wird vorgeschlagen, dass Lösungen mit Einzelraumlüftungsgeräten bei den Standardlösungskombinationen für Neubauten ausgeschlossen werden.

6.1.3. Standardlösungen (bei Wärmeerzeugersersatz) in der MuKE 2014

Der bei SL 11 geforderte «WRG-Wirkungsgrad» (vermutlich ist das Temperatur-Verhältnis gemeint) von 70 % lässt sich nur mit sehr effizienten Einzelraumlüftungsgeräten erreichen.

Die Anforderung sollte überdacht werden, da interessante Sanierungsvarianten bei korrekter Berücksichtigung des effektiven Nutzens der WRG kaum mehr möglich wären.

Bei Einzelraumlüftungsgeräten ist ein möglicher Ansatz, dass gefordert wird, dass alle folgenden Punkte gleichzeitig erfüllt sein müssen:

- Temperatur-Verhältnis mind. 75 %
- Druckschwankungsempfindlichkeit⁵ Klasse S3 oder besser
- Bei Kombination mit Abluftanlagen in Bad/Dusche/WC: bedarfsgesteuerte Abluftventilatoren
- Planmässiger Betrieb der Einzelraumlüftungsgeräte mit einem Massenstromverhältnis von 1 (keine geregelte Disbalance)
- Im Lüftungsgerät muss mindestens ein Zuluftfilter der Klasse ISO ePM₁₀ 50 % (bzw. M5) oder besser eingesetzt werden können.
- Der Schallpegel muss den Anforderungen von Tabelle 8 entsprechen.

Es stellt sich die Frage, ob bei SL 11 Einzelraumlüftungsgeräte nur bis zu einer Höhenlage von 800 m ü.M. zugelassen werden sollen. Bei höheren Lagen, resp. tieferen Aussentemperaturen sollten sonst zusätzlich Anforderungen an den Vereisungsschutz gestellt werden. Beim typischen Einschaltpunkt des Vereisungsschutzes von $-5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ wäre die WRG z.B. in Davos rund 600 h pro Jahr inaktiv. Allenfalls kämen in alpinen Lagen Geräte mit Enthalpietauscher in Frage, sofern das Feuchte-Verhältnis mind. 80 % beträgt.

6.1.4. Anforderung an das Temperatur-Verhältnis

Gemäss der Vollzugshilfe EN-105 muss der Temperatur-Änderungsgrad in der Regel mindestens 70 % erreichen. Der Begriff «Temperatur-Änderungsgrad» bezieht sich gemäss Normen rein auf die WRG-Komponente (z.B. den Platten-Wärmeübertrager). Bei Geräten wird gemäss Normen der Begriff «Temperatur-Verhältnis» verwendet. Um einen Temperatur-Änderungsgrad von 70 % zu erreichen, müsste das Temperatur-Verhältnis eines Einzelraumlüftungsgerätes ca. 80 % betragen. Es sollte geklärt werden, ob die erwähnten 70 % auch für das Temperatur-Verhältnis gelten. Falls ja, muss es den Vollzugsstellen bewusst sein, dass bei Einzelraumlüftungsgeräten die Reduktion der

⁵ Gemäss prEN 13142:2018 auch als «Empfindlichkeit des Luftstroms» bezeichnet.

Lüftungswärmeverluste bei dieser pauschalen Anforderung typischerweise lediglich im Bereich von 40 bis 55 % liegt.

Allenfalls wäre eine Kombination mit der Druckschwankungsempfindlichkeit und der Vereisungsschutzstrategie angemessen.

6.1.5. Schall

Ein Lüftungsgerät, das zu laut ist, wird von den Nutzern ausgeschaltet. Damit geht auch der energetische Nutzen der WRG verloren. Daher wird vorgeschlagen, dass der Schallleistungspegel von Einzelraumlüftungsgeräten für den Energienachweis relevant sein soll.

Konkret könnte gefordert werden, dass die Geräte im Auslegefall nur einen maximal zulässigen Schallleistungspegel aufweisen dürfen. Ansonsten kann der Nutzen der WRG im Energienachweis nicht angerechnet werden. In der Anwendungshilfe wäre auch zu klären, dass der Schalldruckpegel nicht dem Schallleistungspegel entspricht. In Tabelle 8 findet sich ein Vorschlag.

Bodenfläche des Zimmers	Schallleistungspegel $L_{WA}^{2)}$	Schalldruckpegel L_{pA} in einem Abstand ^{1) 2)} von	
		1 m	3 m
bis zu 10 m ²	25 dB(A)	17 dB(A)	7 dB(A)
von >10 m ² bis 20 m ²	26 dB(A)	18 dB(A)	8 dB(A)
> 20 m ²	28 dB(A)	20 dB(A)	10 dB(A)

1) Bei einer Freifeldmessung resp. Messung im halbreflektierenden Raum

2) Bei zwei Geräten in einem Raum muss der Pegel jedes Geräts 3 dB tiefer sein

Tabelle 8: Vorschlag für maximale Schallpegel von Einzelraumlüftungsgeräten, damit der Nutzen der WRG im Energienachweis angerechnet werden kann

6.1.6. Zuluftfilter

Eine Lüftungsanlage hat für die Nutzer nur dann einen Wert, wenn sie hygienisch einwandfrei ist. Es wird deshalb vorgeschlagen, dass die normativen Anforderungen an die Filtrierung mindestens teilweise umgesetzt werden. In Energienachweisen sollen die Leistungsdaten von Lüftungsgeräten bei der geforderten minimalen Filterklasse verwendet werden. Dies betrifft in erster Linie die elektrische Aufnahmeleistung.

Vorschlag:

- In Energienachweis muss mit den Leistungsdaten (spez. elektrische Aufnahmeleistung) mit eingesetztem Zuluftfilter der Klasse ISO ePM_{2,5} 65 % oder ISO ePM₁ 50 % (bzw. F7) oder besser gerechnet werden.
- Wenn in einem Gerät die geforderte Zuluftfilterklasse nicht eingesetzt werden kann, darf der Nutzen der WRG im Energienachweis nicht angerechnet werden.

Diese Anforderung dürfte von einigen Anbietern als hart beurteilt werden. Sie entspricht aber den Schweizer Normen. Wie die durchgeführten Untersuchungen gezeigt haben, werden Zuluftfilter der Klasse F7 in der Praxis auch eingesetzt. Eine allfällige Abschwächung der Anforderung könnte lauten:

- An Lagen mit guter Aussenluftqualität (AUL 1 gemäss SIA 382/1:2014) muss mit Leistungsdaten mit eingesetztem Zuluftfilter der Klasse ISO ePM₁₀ 50 % (bzw. M5) oder besser gerechnet werden

- Bei Lagen mit einer anderen Aussenluftqualität (AUL 2 und AUL 3) muss mit Leistungsdaten mit eingesetztem Zuluftfilter der Klasse ISO ePM_{2,5} 65 % oder ISO ePM₁ 50 % (bzw. F7) oder besser gerechnet werden.
- Wenn in einem Gerät die geforderte Zuluftfilterklasse nicht eingesetzt werden kann, darf der Nutzen der WRG im Energienachweis nicht angerechnet werden.

6.1.7. Anforderung an die spezifische Heizleistung

Bei Anlagen mit Einzelraumlüftungsgeräten kann die Leistungsreduktion der WRG bei der Berechnung der Norm-Heizlast aufgrund der typischen Vereisungsschutzstrategie in der Regel nicht angerechnet werden. Ausnahmen sollen nur dann möglich sein, wenn aus der Produktdokumentation explizit hervorgeht, dass die WRG bis zur tiefsten Tagesmitteltemperatur am Anlagenstandort vollumfänglich einsatzfähig ist. Bei einer Reduktion des Aussenluftvolumenstroms ist dies nicht der Fall. Infrage kommen am ehesten Geräte mit Enthalpietauschern. Im schweizerischen Mittelland ist für einen ausreichenden Vereisungsschutz (durch den Enthalpietauscher) ein Feuchte-Verhältnis von mind. 80 % typisch.

6.2. Anlagen mit Abluftanlagen mit ALD

6.2.1. Dimensionierung der Luftvolumenströme

Aus Sicht der Autoren ist es diskutabel, ob die ALD gegenüber den Schweizer Normen auf ca. 10 % tiefere Aussenluftvolumenströme dimensioniert werden könnten (vgl. 4.3.2). Bei den Messungen, die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt wurden, wie auch in [6] wurden teilweise noch tiefere Werte ermittelt. Die Zufriedenheit der Nutzer mit der Raumluftqualität war dabei in der Regel zufriedenstellend bis gut.

Die Kommunikation und Umsetzung dieser Abweichung von den Schweizer Normen wäre aber anspruchsvoll. Insbesondere müsste durchgesetzt werden, dass dann in der Praxis auf nicht noch tiefere Werte dimensioniert wird.

6.2.2. Filter von ALD

Der Druckverlust eines ALD und damit der Luftvolumenstrom ist wesentlich vom Filter abhängig. Als Basis für Energienachweise sollte daher mit Dimensionierungswerten gerechnet werden, die auf angemessenen Filterstufen beruhen.

Die Meinung zu Filtern in ALD ist in der Branche nicht einheitlich. So gibt es namhafte europäische Hersteller die ALD ohne Filter produzieren. Die Autoren vertreten aber die Meinung, dass an Lagen mit staubhaltiger Aussenluft die Anforderungen an Filter gemäss Schweizer Normen angemessen sind. An Lagen mit sauberer Aussenluft wird die Regelung der SIA 2023:2008 als sinnvoll erachtet. Die prSIA 382/5 stellt an Lagen mit sauberer Aussenluft mit der Klasse ISO ePM₁₀ 50 % (bzw. M5) eine hohe Anforderung. Es ist absehbar, dass diese Anforderung von der Branche ignoriert wird. Die Umsetzung der Anforderung würde zu einem Ausschluss einer grossen Anzahl von Produkten führen. Es sind keine Grundlagen bekannt, mit denen die Umsetzung der Anforderung begründet werden könnte.

Da die SIA 2023 voraussichtlich im Jahr 2020 durch die SIA 382/5 abgelöst wird, kann nicht mehr auf die pragmatischen alten Anforderungen verwiesen werden.

Vorschlag:

In Energienachweisen ist der Luftvolumenstrom durch die ALD bei einem Unterdruck in der Wohnung von 4 Pa und den folgenden Anforderungen an die Filter einzusetzen:

- An Lagen mit staubhaltiger Aussenluft (AUL 2 oder AUL 3 gemäss SIA 382/1:2014) ist für die Dimensionierung des ALD der Strömungswiderstand mit einem eingesetzten Filter der Klasse ISO ePM_{2,5} 65 % oder ISO ePM₁ 50 % (bzw. F7) zu verwenden. ALDs, bei denen diese Filterklasse nicht eingesetzt werden kann, können bei AUL 2 und AUL 3 im Energienachweis nicht berücksichtigt werden.
- Bei ALDs, die gemäss der Produktdokumentation mit einem Filter ausgerüstet werden können, ist an Lagen mit sauberer Aussenluft (AUL 1) für die Dimensionierung mit dem Strömungswiderstand bei eingesetztem Filter zu rechnen. Wenn gemäss der Produktdokumentation verschiedene Filterklassen verfügbar sind, ist mindestens mit der Klasse ISO Coarse 30 % (bzw. G2) zu rechnen.
- ALD, die gemäss der Produktdokumentation nicht mit einem Filter ausgerüstet werden können, dürfen nur an Lagen mit sauberer Aussenluft (AUL 1) im Energienachweis berücksichtigt werden.

7. Literaturverzeichnis

- [1] Merkblatt SIA 2023:2008 Lüftung im Wohnbau. SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverband, Zürich
- [2] Huber, Heinrich: Einfache Abluftanlagen. HK-Gebäudetechnik, AT-Verlag. Ausgabe 6/12 S. 54 – 56 und Ausgabe 8/12 S. 53 – 55. Fachlektorat Gregor Notter und Antje Heinrich
- [3] prEN 13142:2018 Lüftung von Gebäuden – Bauteile/Produkte für die Lüftung von Wohnungen – Geforderte und frei wählbare Leistungskenngrößen
- [4] prEN 13141-8:2018 Lüftung von Gebäuden - Leistungsprüfung von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen - Teil 8: Leistungsprüfung von mechanischen Zuluft- und Ablufteinheiten ohne Luftführung (einschließlich Wärmerückgewinnung)
- [5] VDI Wärmeatlas 5, Teil C., 2te Edition, VDI Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwissenschaften
- [6] Huber, Heinrich; Stünzi, Christian; Sibold, Christoph: ABLEG - Abluftanlagen in der energetischen Gebäudeerneuerung, Im Auftrag des Bundesamts für Energie BFE, Bern, 2018
- [7] Ammann, Josef; Keller, Patrick: Effizienter Vereisungsschutz (VS) bei Lüftungsanlagen, insbesondere Komfortlüftungssystemen. Schlussbericht des BFE-Projekts Nr. 810001346. Bern, 2015
- [8] Huber, Heinrich: Komfortlüftung in Wohngebäuden. Rudolf Müller Verlag, Köln, 2016
- [9] prSIA 382/5:2018 Lüftung in Wohnbauten (Vernehmlassungsentwurf). SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverband, Zürich
- [10] Dorer, Viktor; Pfeiffer, Andreas: ENABL - Energieeffiziente und bedarfsgerechte Abluftsysteme mit Abwärmenutzung. EMPA, Dübendorf, 2002
- [11] Aussage Franz Sprecher, AHB Stadt Zürich im Interview «Lüftungskonzepte als Architekturaufgabe», TEC21 34/2018, S. 32-36
- [12] DV EU 1254/2014: Delegierte Verordnung (EU) Nr. 1254/2014 der Kommission vom 11. Juli 2014 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Kennzeichnung von Wohnraumlüftungsgeräten in Bezug auf den Energieverbrauch
- [13] Huber, Heinrich; Plüss, Iwan: Küchenabluft in Wohnungen. Horw: HTA Luzern, 2004 (durchgeführt im Auftrag des AWEL, Kanton Zürich)
- [14] Huber, Heinrich; Liniger, Michael: Berechnungs- und Nachweisverfahren für Standardlüftungssysteme in Wohnbauten, Berechnungsmodell (Stand 06.07.2018). Hochschule Luzern, Horw, 2018

8. Anhang 1: Objektdokumentation

Nachfolgend werden die Detailresultate der Messungen in den einzelnen Objekten sowie die Bild-dokumentation der angetroffenen Situation dokumentiert.

8.1. Übersicht der Messobjekte

Es wurde in 10 Siedlungen in insgesamt 22 Wohnungen eine Beurteilung der Geräte und Luftdurchlässe durchgeführt sowie Messungen der Luftmengen von und nach der Reinigung vorgenommen. Tabelle 9 zeigt eine Übersicht der Messobjekte.

WNG ID-Nr	Ort	Anlagentyp	Neu- / Altbau	Baujahr	Kü-ABL	I. Filterwartung [Jahre]	WNG-Grösse [Zi]
110	Chur	Einzelraumgerät	Neubau	2016	Umluft	1.0	3.5
120	Chur	Einzelraumgerät	Neubau	2016	Umluft	1.0	2.5
210	Summiswald	Einzelraumgerät	Altbau	1975	Umluft	0.5	n.A.
220	Summiswald	Einzelraumgerät	Altbau	1975	Umluft	0.5	n.A.
310	Zürich	Einzelraumgerät	Altbau	ca. 1960	Umluft	0.5	n.A.
320	Zürich	Einzelraumgerät	Altbau	ca. 1960	Umluft	1.5	n.A.
410	Chur	ALD + Abluftanl.	Neubau	2009	Umluft	4.0	3.5
420	Chur	ALD + Abluftanl.	Neubau	2009	Umluft	4.0	4.5
510	Horw	ALD + Abluftanl.	Neubau	2016	Umluft	2.0	2.5
520	Horw	ALD + Abluftanl.	Neubau	2016	Umluft	2.0	4.5
610	Naters	Einzelraumgerät	Neubau	2016	Umluft	1.0	3.5
620	Naters	Einzelraumgerät	Neubau	2016	Umluft	1.0	2.5
710	Zürich	ALD + Abluftanl.	Neubau	2015	Umluft	3.0	3.5
720	Zürich	ALD + Abluftanl.	Neubau	2015	Umluft	3.0	3.5
730	Zürich	ALD + Abluftanl.	Neubau	2015	Umluft	1.5	3.5
740	Zürich	ALD + Abluftanl.	Neubau	2015	Umluft	1.5	3.5
810	Biberstein	ALD + Abluftanl.	Neubau	2016	Abluft	0.8	5.5
820	Biberstein	ALD + Abluftanl.	Neubau	2016	Abluft	0.8	4.5
830	Biberstein	ALD + Abluftanl.	Neubau	2016	Abluft	0.8	3.5
910	Spiez	ALD + Abluftanl.	Altbau	1941	Abluft	3.0	5.5
920	Spiez	ALD + Abluftanl.	Altbau	1941	Abluft	3.0	3.5
1010	Winterthur	Einzelraumgerät	Altbau	k.A.	-	1.0	n.A.

Tabelle 9: Übersicht der Untersuchten Objekte

8.2. Durchgeführte Messungen

Bei den Messungen wurden die Luftmengen im angetroffenen / ungereinigten Zustand gemessen. Dabei wurden allfällig geschlossene oder abgeklebte Aussenluftdurchlässe geöffnet («Normalstellung»). Bei Einzelraumgeräten erfolgte die Messung mit der Standardeinstellung.

Die Luftmengenmessung erfolgte, wenn möglich, mit dem Messgerät Acin: Flowfinder 153. In diversen Fällen war dies jedoch aufgrund der Messsituation nicht möglich. In diesen Fällen wurden die Luftmengen mit Flügelrad- oder Hitzdrahtanemometer vorgenommen. In diesen Fällen ist eine grosse Unsicherheit der absoluten Messresultate [in m³/h] vorhanden. Aus dem Vergleich zwischen der Messung vor / nach der Reinigung / Filterwechsel kann, aufgrund der identischen Messsituation, aber trotzdem eine Aussage zur Wirkung des Filterwechsels gemacht werden.

Für den Vergleich der Luftmengen vor / nach der Reinigung / Filterersatz wurden die Resultate der einzelnen Messungen wie in Abbildung 17 dargestellt dokumentiert. Das Resultat zeigt dabei die Höhe der relativen Veränderung der Luftmenge vor und nach der Reinigung.

$$1 - \frac{V_{Ist}}{V_{Gereinigt}} \text{ [in \%]}$$

Ein Wert von 0 % bedeutet dabei keine Veränderung der Luftmenge und 100 % eine maximale Veränderung der Luftmenge durch die Reinigung. In der Graphik werden Veränderungen bis 33 % dabei als «klein» (Klasse A), 33-66 % als «mittel» (Klasse B) und Veränderungen >66 % als «gross» (Klasse C) bewertet.

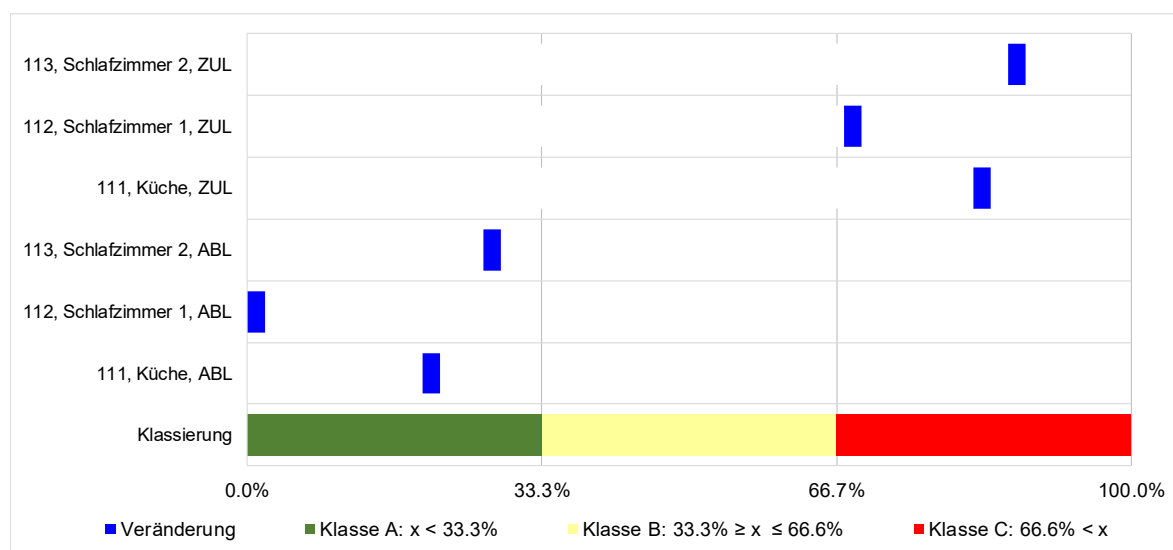


Abbildung 17: Beispiel: Veränderung der Luftmengen vor / nach der Reinigung bzw. Filterersatz

In weiteren Darstellungen werden die Luftmengenbilanzen (über die Wohnung bzw. die gemessenen Einzelraumgeräte) vor und nach der Reinigung / Filterwechsel dargestellt. Bei diesen Darstellungen ist zu beachten, dass aufgrund der kleinen Luftmengen wesentliche Messunsicherheiten bestehen (insbesondere bei Objekten in denen die Messung nicht mit dem Flowfinder durchgeführt werden konnten).

8.3. Objekt 1, Chur

In dieser Neubausiedlung wurden Einzelraumlüftungsgeräte eingesetzt. Ein Teil der Geräte weist eine absichtliche Disbalance der Zu- / Abluftmengen auf. Gemäss der Planung wird über alle in der Wohnung eingebauten Einzelraumgeräte eine ausgeglichene Luftmengenbilanz erreicht. In der Siedlung wurden 2 Wohnungen untersucht. Die Abluftmengen im Bad wurden in dieser Siedlung nicht gemessen. Daher gibt die Luftmengenbilanz nur über die gemessenen Geräte Auskunft. Aufgrund der Einbausituation konnten die Messungen nicht mit dem Flow-Finder durchgeführt werden. Die Luftmengen wurden daher aus div. Einzelmessungen der Luftgeschwindigkeiten an den Ein- / Auslässen mit einem Hitzdrahtanemometer vorgenommen. Aus diesem Grund besteht eine hohe Unsicherheit bezüglich der absoluten Messwerte [in m³/h]. Aus dem Vergleich zwischen der Messung vor / nach der Reinigung / Filterwechsel kann, aufgrund der identischen Messsituation, aber trotzdem eine Aussage zur Wirkung des Filterwechsels gemacht werden.

8.3.1. Wohnung ID-Nr.: 110

In dieser 3.5 Zimmer Wohnung wurden 3 der 4 vorhandenen Einzelraumgeräte untersucht. Ein weiteres Gerät ist im Wohnzimmer vorhanden (nicht gemessen).

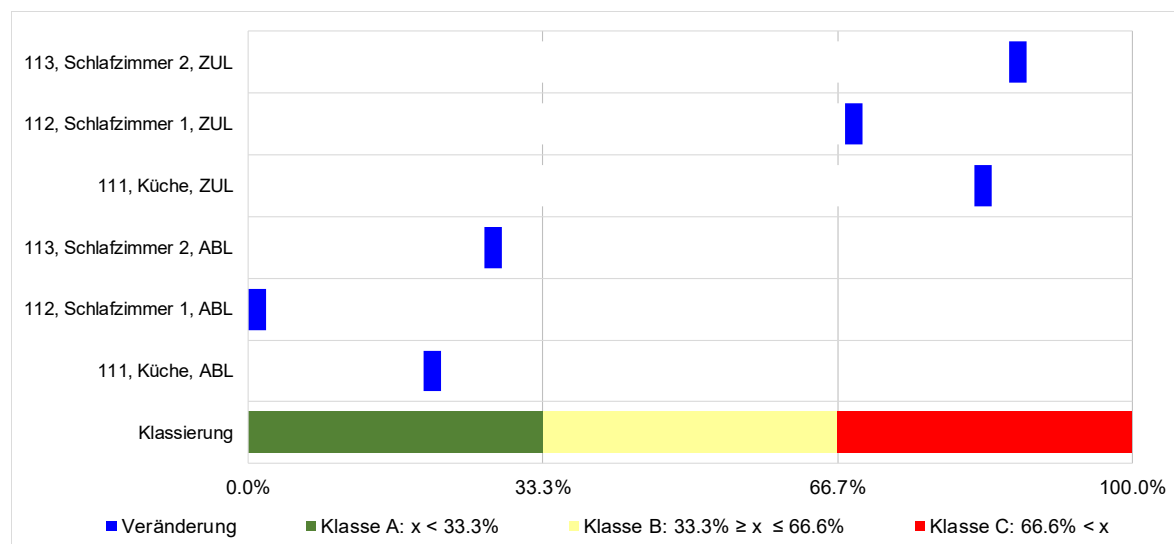


Abbildung 18: Wohnung ID 110: Veränderung der Luftmengen vor / nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Vor allem auf der Zuluftseite zeigen sich sehr hohe Veränderungen der Luftmengen (bzw. minimal kleine Luftmengen vor der Reinigung). Dies ist zum grössten Teil auf die sehr stark verschmutzten Fliegengitter an den AUL-Einlässen zurückzuführen. Diese Ablagerungen sind vermutlich noch vom Baubetrieb auf dem Gelände nach Bezug der Wohnungen zurückzuführen.

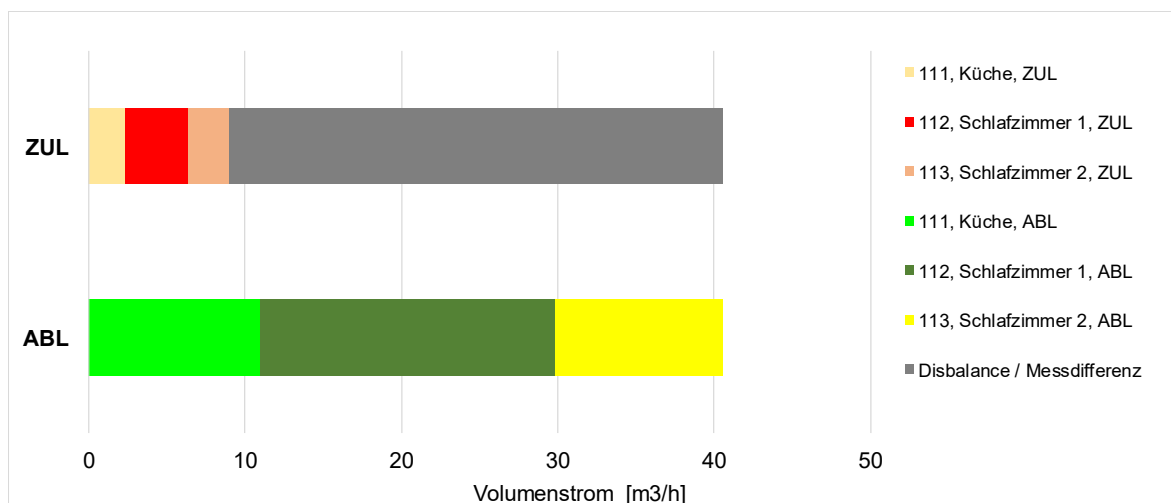


Abbildung 19: Wohnung ID 110: Luftmengenbilanz nach der Reinigung bzw. Filterersatz

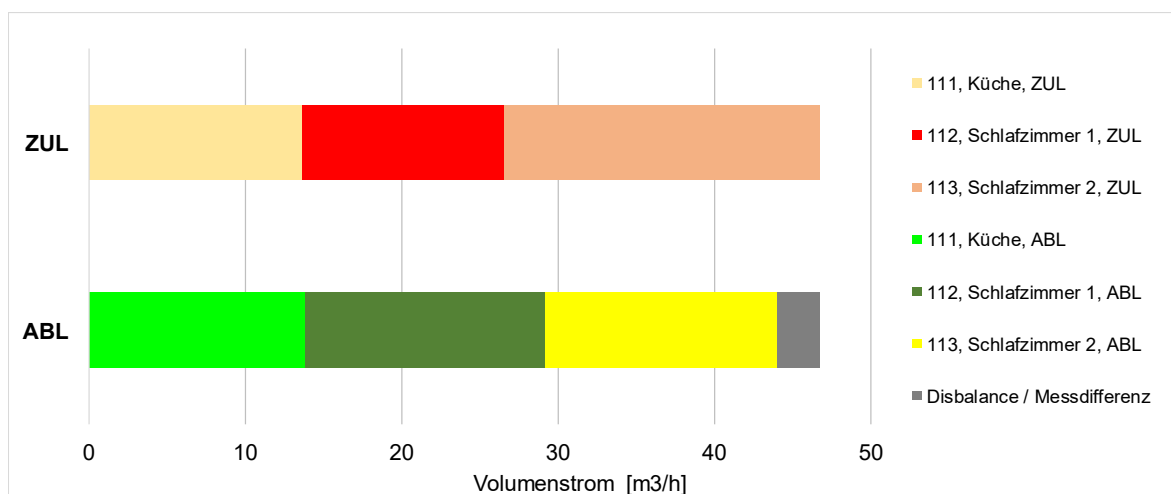


Abbildung 20: Wohnung ID 110: Luftmengenbilanz nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Horw, 12. November 2018
Seite 45/111
Bericht – Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie

Bilddokumentation zu Wohnung ID-Nr.: 110:



Abbildung 21: WNG ID 110: Zuluftfilter



Abbildung 22: WNG ID 110: Fliegengitter AUL



Abbildung 23: WNG ID 110: AUL-Eintritt



Abbildung 24: WNG ID 110: ABL-Filter



Abbildung 25: WNG ID 110: Wärmetauscher



Abbildung 26: WNG ID 110: AUL-Eintrittsgitter

8.3.2. Wohnung ID-Nr.: 120

In dieser 2.5 Zimmer Wohnung wurden alle 3 vorhandenen Einzelraumgeräte untersucht. Die Abluft im Bad wurde nicht untersucht (nicht gemessen).

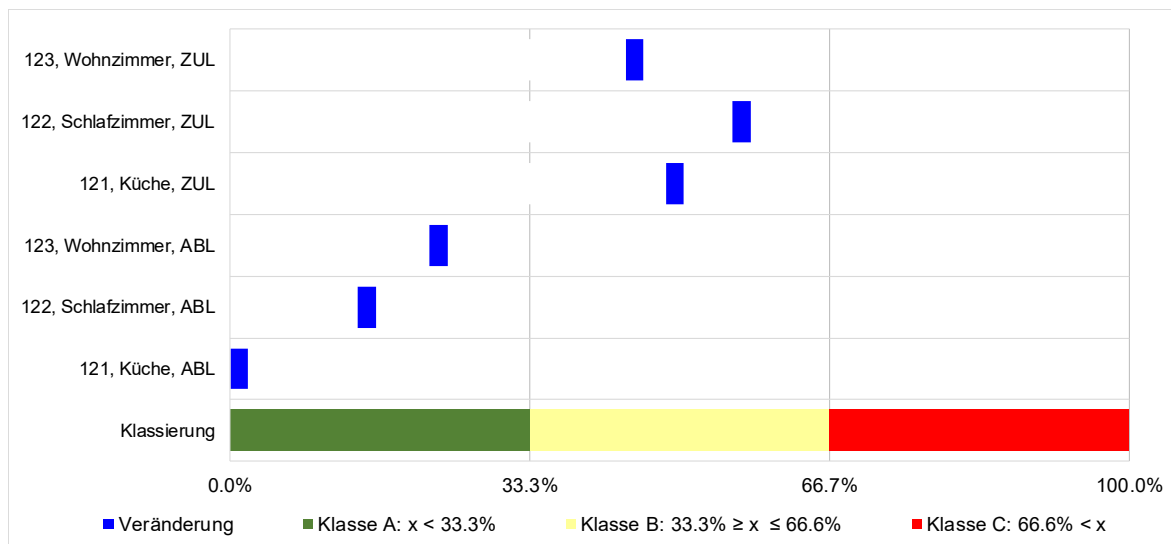


Abbildung 27: Wohnung ID 120: Veränderung der Luftmengen vor / nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Auch in diesem Objekt sind auf der Zuluftseite wesentliche Veränderungen der Luftmengen (bzw. geringe Luftmengen vor der Reinigung). Dies ist auch hier primär Teil auf die sehr stark verschmutzten Fliegengitter an den AUL-Einlässen zurückzuführen. Diese Ablagerungen sind vermutlich noch vom Baubetrieb auf dem Gelände nach Bezug der Wohnungen zurückzuführen.

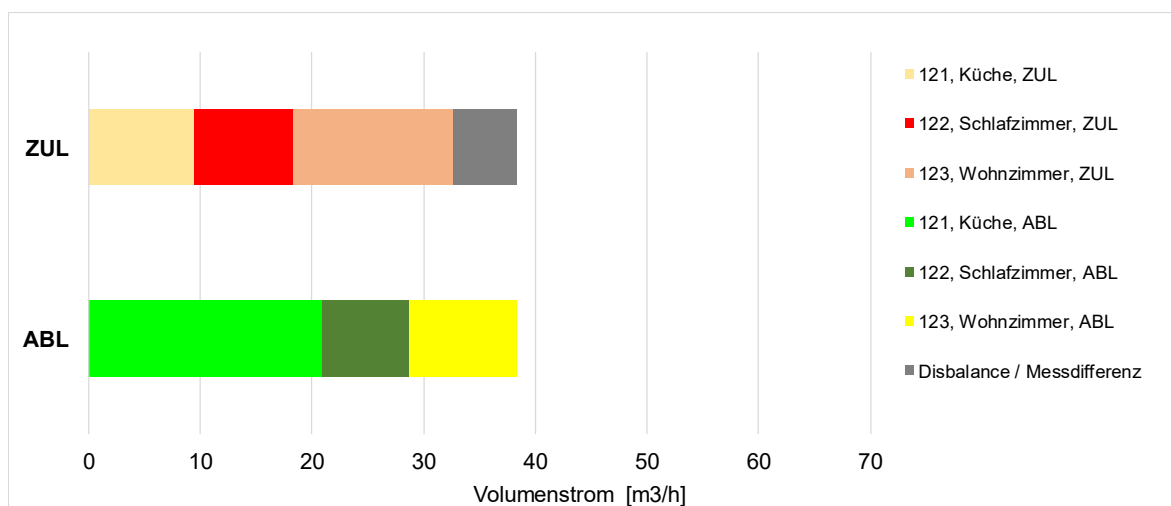


Abbildung 28: Wohnung ID 120: Luftmengenbilanz Istzustand vor der Reinigung

Horw, 12. November 2018
Seite 47/111
Bericht – Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie

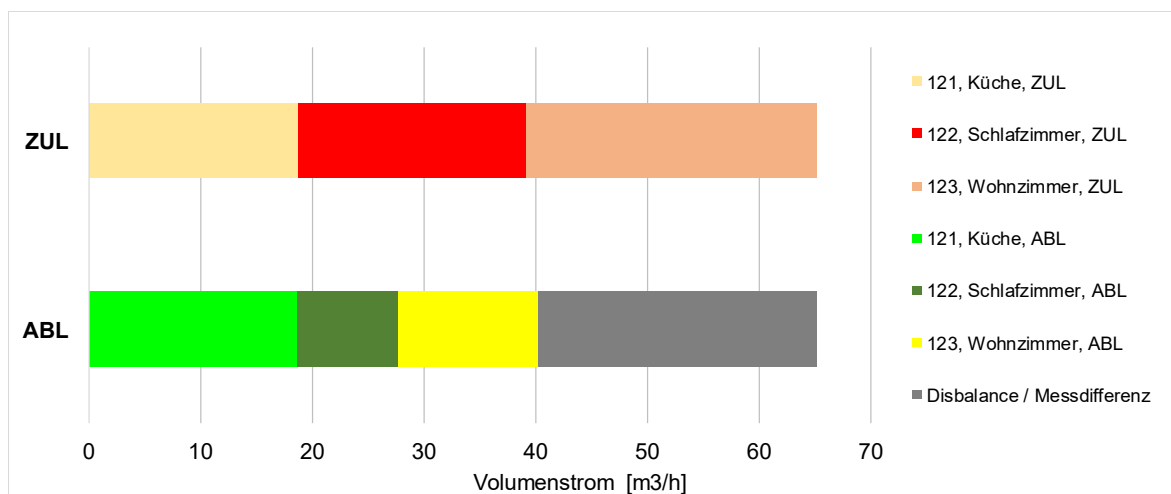


Abbildung 29: Wohnung ID 120: Luftmengenbilanz nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Bilddokumentation zu Wohnung ID-Nr.: 120:



Abbildung 30: WNG ID 120: Zuluftfilter



Abbildung 31: WNG ID 120: Fliegengitter AUL



Abbildung 32: WNG ID 120: AUL-Eintritt



Abbildung 33: WNG ID 120: ABL-Filter

Horw, 12. November 2018

Seite 48/111

Bericht – Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie



Abbildung 34: WNG ID 120: Wärmetauscher



Abbildung 35: WNG ID 120: AUL-Eintrittsgitter

8.4. Objekt 2, Summiswald

In diesem Altbau wurde nachträglich ein Einzelraumlüftungsgerät je Wohnung eingesetzt. Der Grund für die Nachrüstung waren Feuchteprobleme in einzelnen Wohnungen. Da nur 1 Gerät pro Wohnung eingesetzt wurde, muss in den übrigen Räumen weiterhin über die Fenster gelüftet werden, da die Luftmenge des Gerätes nur für einen Raum ausgelegt ist. In der Siedlung wurden 2 Wohnungen untersucht. Die Abluftmengen im Bad wurden in dieser Siedlung nicht gemessen. Daher gibt die Luftmengenbilanz nur über die gemessenen Geräte Auskunft.

Aufgrund der Einbausituation konnten die Messungen nicht mit dem Flow-Finder durchgeführt werden. Die Luftmengen wurden daher aus mehreren Einzelmessungen der Luftgeschwindigkeiten an den Ein- / Auslässen mit einem Flügelradanemometer mit speziellem Aufsatz vorgenommen. Die Messwerte des Flügelradanemometers wurden mit einer im Ausgleichskurve mit einer Laborreferenz abgeglichen. Aufgrund des verwendeten Messmittels besteht auch hier eine höhere Unsicherheit bezüglich der absoluten Messwerte [in m³/h]. Aus dem Vergleich zwischen der Messung vor / nach der Reinigung / Filterwechsel kann, aufgrund der identischen Messsituation, aber trotzdem eine Aussage zur Wirkung des Filterwechsels gemacht werden.

8.4.1. Wohnung ID-Nr.: 210

Bei dieser Wohnung im EG wurde das Gerät im Schlafzimmer sehr nahe an der Wand platziert. Dadurch kann auf linken Seite die Luft nur beschränkt aus- und einströmender. Auf dieser Seite war auch keine Messung der Luftmengen möglich (gemessene Luftmenge beinhaltet nur «linke» Geräteseite). Die Bewohner schalten das Gerät nachts aufgrund der Geräuschemissionen aus. Für die Messungen wurde das Gerät auf Betriebsmodus «P1» auf Stufe 5 (von 10) betrieben.

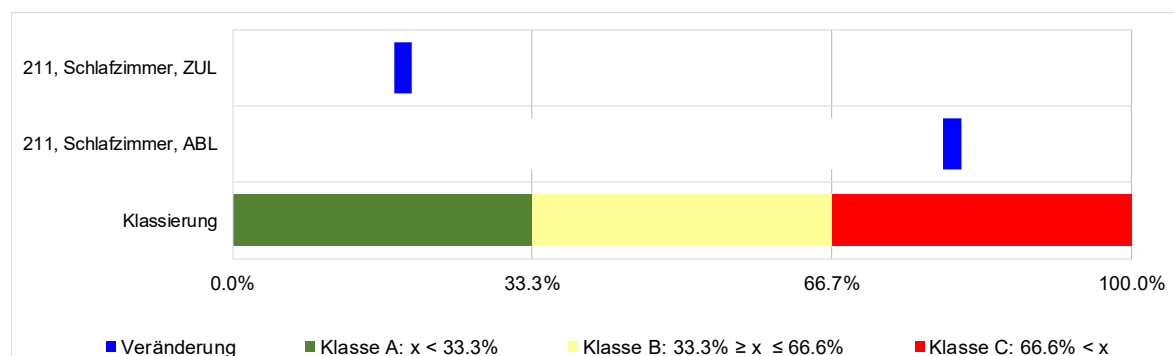


Abbildung 36: Wohnung ID 210: Veränderung der Luftmengen vor / nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Vor allem auf der Abluftseite zeigen sich sehr hohe Veränderungen der Luftmengen (bzw. minimal kleine Luftmengen vor der Reinigung). Dies ist zum grössten Teil auf die sehr stark verschmutzten Filter zurückzuführen. Zudem war im Gerät bei den Messungen (Aussentemperatur +10°C) viel Kondensat vorhanden, welches auch die Filter durchfeuchtete. Ein Grund für die grosse Kondensatmenge ist die Lage im Erdgeschoss und grosse Wärmebrücken im Bodenbereich des Fensters.

Horw, 12. November 2018
Seite 50/111
Bericht – Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie

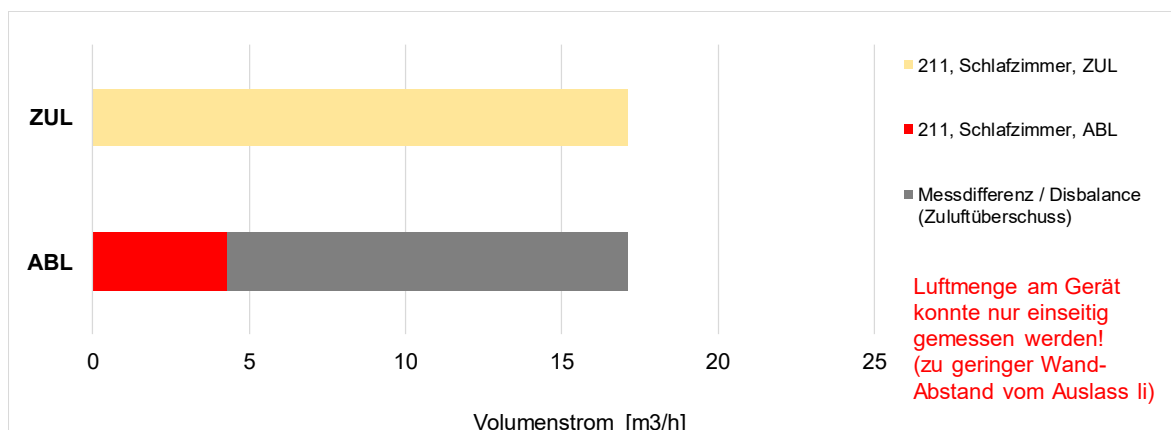


Abbildung 37: Wohnung ID 210: Luftmengenbilanz Istzustand vor der Reinigung

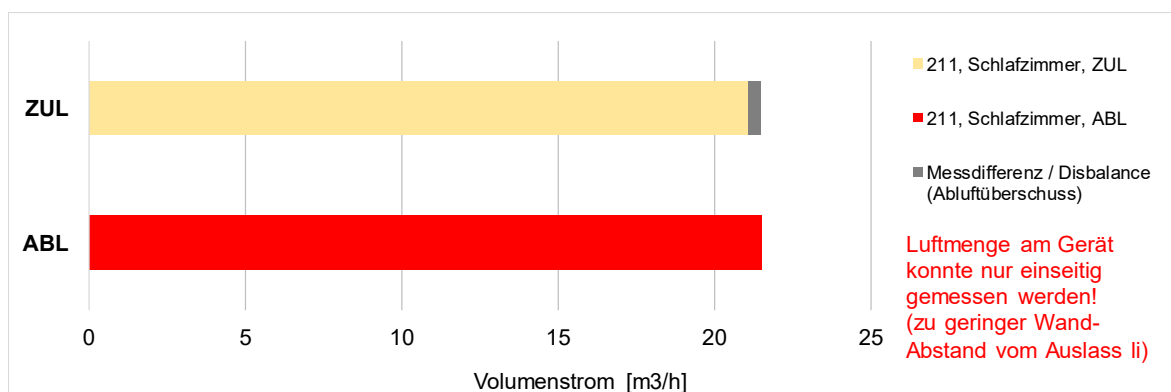


Abbildung 38: Wohnung ID 210: Luftmengenbilanz nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Bilddokumentation zu Wohnung ID-Nr.: 210:



Abbildung 39: WNG ID 210: Geräteaufstellung



Abbildung 40: WNG ID 210: AUL-Eintrittsgitter

Horw, 12. November 2018
Seite 51/111
Bericht – Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie



Abbildung 41: WNG ID 210: ZUL-Austritt



Abbildung 42: WNG ID 210: ABL-Eintritt



Abbildung 43: WNG ID 210: ZUL-Filter



Abbildung 44: WNG ID 210: ABL und ZUL-Filter



Abbildung 45: WNG ID 210: Wärmetauscher



Abbildung 46: WNG ID 210: Kondensat in Gerät

8.4.2. Wohnung ID-Nr.: 220

Bei dieser Wohnung im OG wurde das Gerät im Schlafzimmer ebenfalls in wandnähe platziert. Auf linken Seite wird daher die Luft beim Aus- und einströmen ebenfalls behindert. Bei diesem Gerät war jedoch eine Messung der Luftmengen auf beiden Seiten möglich. Die Bewohner schalten das Gerät über eine Zeitschaltuhr ein und aus (Auch aufgrund der Geräuschemissionen). Für die Messungen wurde das Gerät auf Betriebsmodus «P1» auf Stufe 5 (von 10) betrieben.

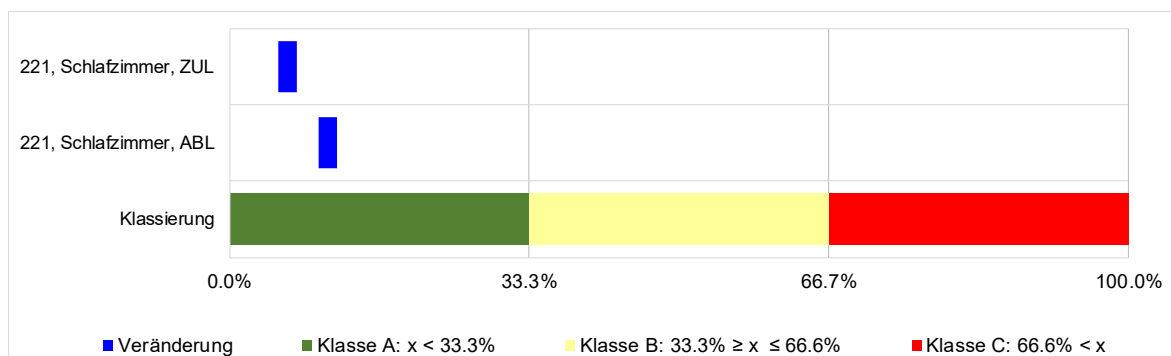


Abbildung 47: Wohnung ID 220: Veränderung der Luftmengen vor / nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Bei diesem Gerät zeigten sich nur geringe Veränderungen der Luftmengen. Dies ist durch die deutlich weniger verschmutzten Filter plausibel. Zudem ist durch die Lage im OG die Feuchteproblematik der angesogenen Aussenluft deutlich kleiner (kein Kondensat festgestellt).

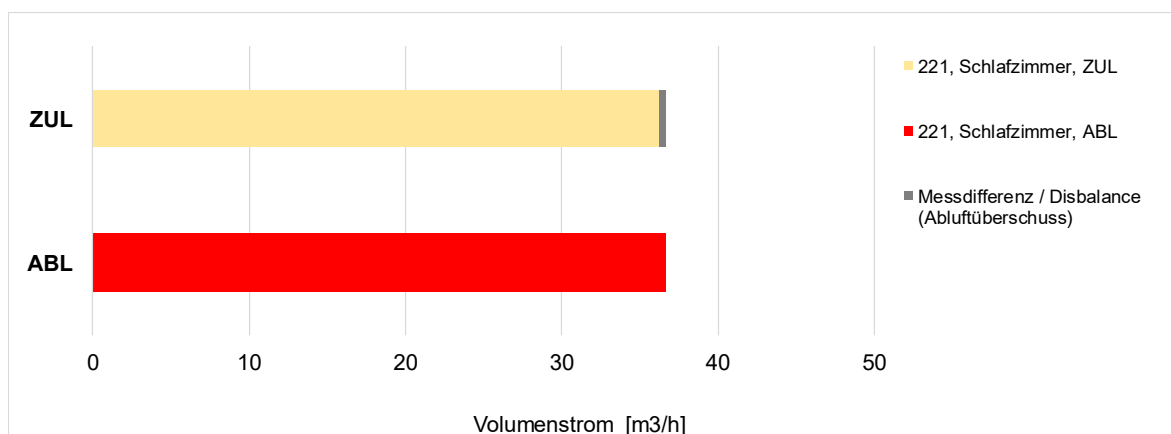


Abbildung 48: Wohnung ID 220: Luftmengenbilanz Istzustand vor der Reinigung

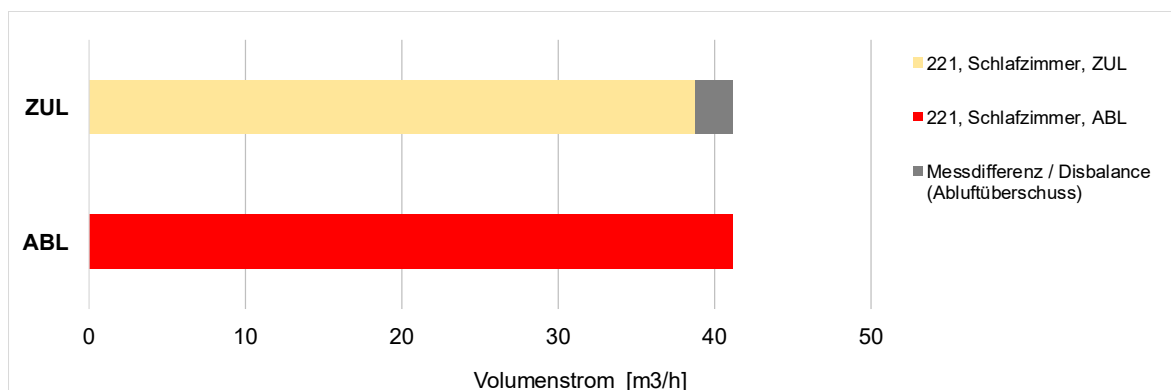


Abbildung 49: Wohnung ID 220: Luftmengenbilanz nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Bilddokumentation zu Wohnung ID-Nr.: 220:



Abbildung 50: WNG ID 220: Geräteaufstellung



Abbildung 51: WNG ID 220: AUL-Eintrittsgitter

Horw, 12. November 2018
Seite 54/111
Bericht – Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie



Abbildung 52: WNG ID 220: ZUL-Austritt



Abbildung 53: WNG ID 220: ABL-Eintritt



Abbildung 54: WNG ID 220: ZUL-Filter



Abbildung 55: WNG ID 220: ABL-Filter



Abbildung 56: WNG ID 220: Wärmetauscher



Abbildung 57: WNG ID 220: Lufteintritt in Gerät

8.5. Objekt 3, Zürich

In diesem Altbau wurde nachträglich ein Einzelraumlüftungsgerät je Wohnung eingesetzt. Da auch in diesem Objekt nur 1 Gerät pro Wohnung eingesetzt wurde, muss in den übrigen Räumen weiterhin über die Fenster gelüftet werden, da die Luftmenge des Gerätes nur für einen Raum ausgelegt ist. In der Siedlung wurden 2 Wohnungen untersucht. Die Abluftmengen im Bad wurden in dieser Siedlung nicht gemessen. Daher gibt die Luftmengenbilanz nur über die gemessenen Geräte Auskunft.

Aufgrund der Einbausituation konnten die Messungen nicht mit dem Flow-Finder durchgeführt werden. Die Luftmengen wurden daher aus div. Einzelmessungen der Luftgeschwindigkeiten an den Ein- / Auslässen mit einem Hitzdrahtanemometer vorgenommen. Aus diesem Grund besteht eine hohe Unsicherheit bezüglich der absoluten Messwerte [in m³/h] insbesondere auf der Abluftseite. Aus dem Vergleich zwischen der Messung vor / nach der Reinigung / Filterwechsel kann, aufgrund der identischen Messsituation, aber trotzdem eine Aussage zur Wirkung des Filterwechsels gemacht werden.

8.5.1. Wohnung ID-Nr.: 310

Bei dieser Wohnung im EG wurde das Gerät im Schlafzimmer an der Aussenwand platziert. Die Bewohner schalten das Gerät in der Nacht aus (aufgrund der Geräuschemissionen). Für die Messungen wurde das Gerät auf Betriebsmodus «P1» auf Stufe 5 (von 10) betrieben.

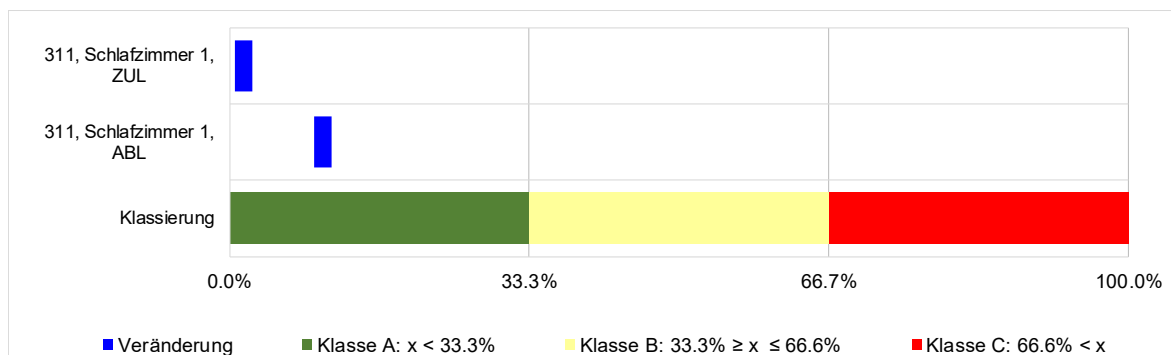


Abbildung 58: Wohnung ID 310: Veränderung der Luftmengen vor / nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Bei diesem Gerät zeigten sich nur geringe Veränderungen der Luftmengen. Dies ist durch die gering verschmutzten Filter plausibel (letzter Filterwechsel von ½ Jahr). Es wurde kein Kondensat im Gerät festgestellt.

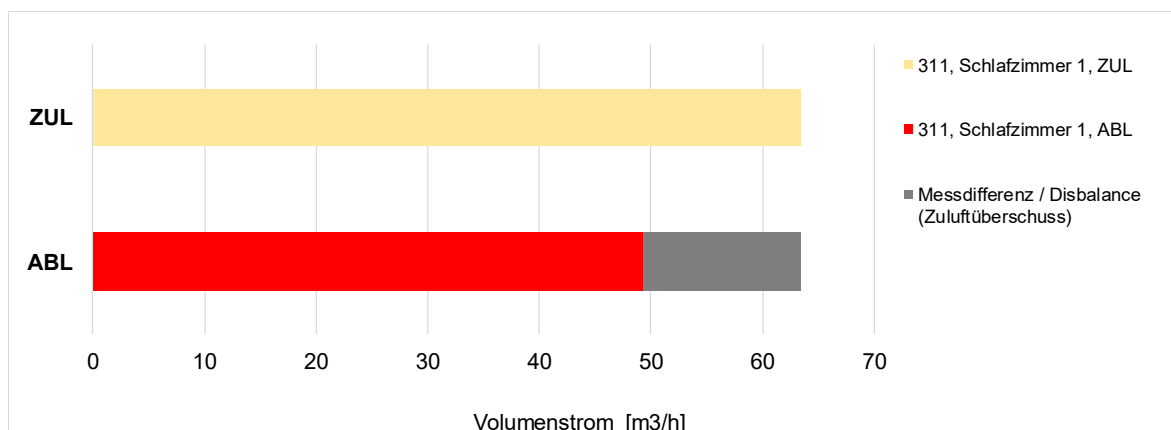


Abbildung 59: Wohnung ID 310: Luftmengenbilanz Istzustand vor der Reinigung

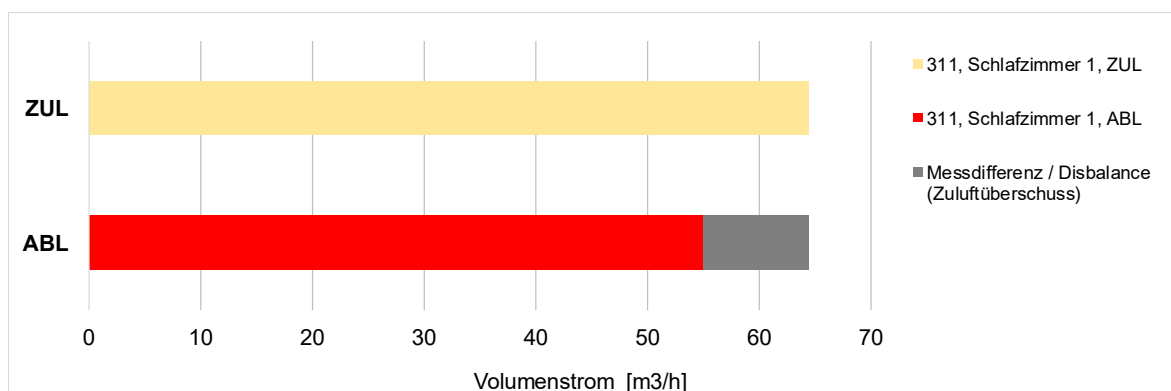


Abbildung 60: Wohnung ID 310: Luftmengenbilanz nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Bilddokumentation zu Wohnung ID-Nr.: 310:

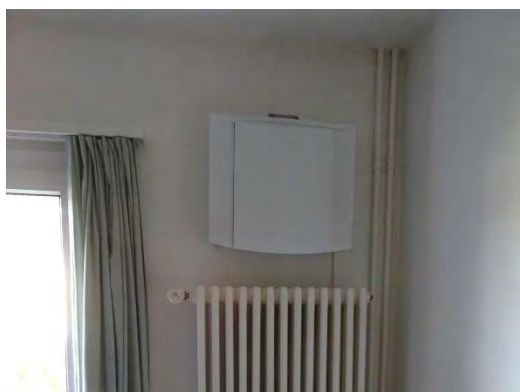


Abbildung 61: WNG ID 310: Geräteaufstellung



Abbildung 62: WNG ID 310: AUL-Eintrittsgitter

Horw, 12. November 2018
Seite 57/111
Bericht – Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie



Abbildung 63: WNG ID 310: ZUL-Austritt



Abbildung 64: WNG ID 310: ABL-Eintritt



Abbildung 65: WNG ID 310: ZUL-Filter



Abbildung 66: WNG ID 310: ABL-Filter



Abbildung 67: WNG ID 310: Wärmetauscher



Abbildung 68: WNG ID 310: Lufteintritt in Gerät

8.5.2. Wohnung ID-Nr.: 320

Bei dieser Wohnung im EG wurde das Gerät im Wohnzimmer (mit offener Küche) an der Aussenwand platziert. Die Bewohner lassen das Gerät dauern in Betrieb (Stufe nach Bedarf, oft ca. auf Stufe 5). Für die Messungen wurde das Gerät auf Betriebsmodus «P1» auf Stufe 5 (von 10) betrieben.

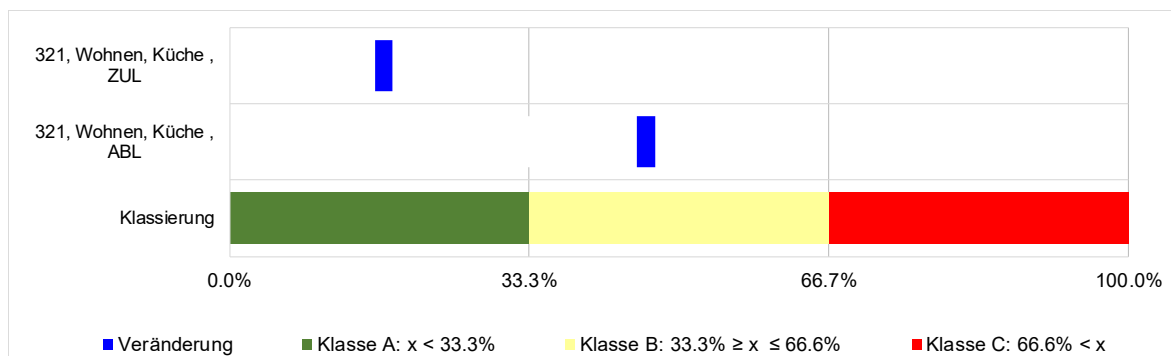


Abbildung 69: Wohnung ID 320: Veränderung der Luftmengen vor / nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Bei diesem Gerät zeigten sich bei der Abluft deutliche Veränderungen der Luftmengen. Dies ist durch die deutlich stärker verschmutzten Filter (vor allem des Abluftfilters) plausibel. Bei diesem Gerät ist der letzte Filterwechsel vermutlich bereits 1.5 Jahre her. Es wurde kein Kondensat im Gerät festgestellt.

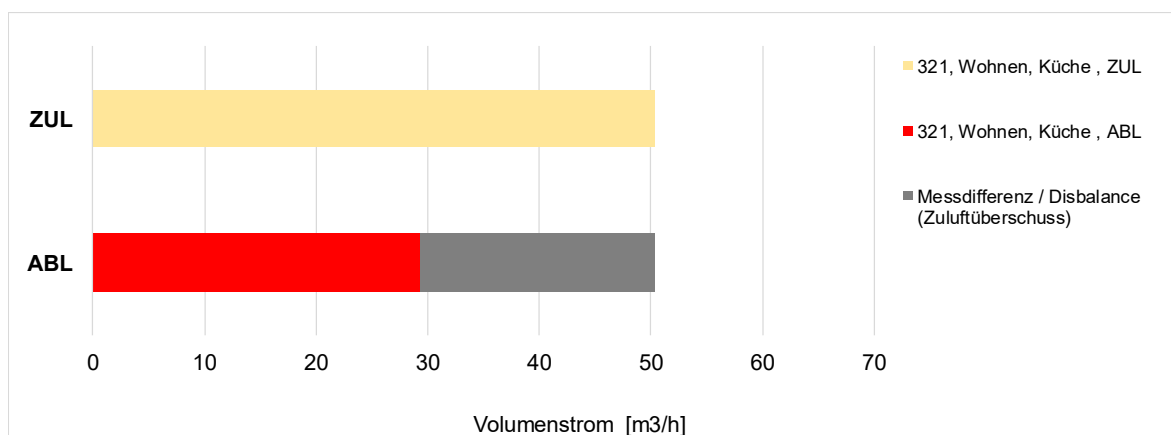


Abbildung 70: Wohnung ID 320: Luftmengenbilanz Istzustand vor der Reinigung

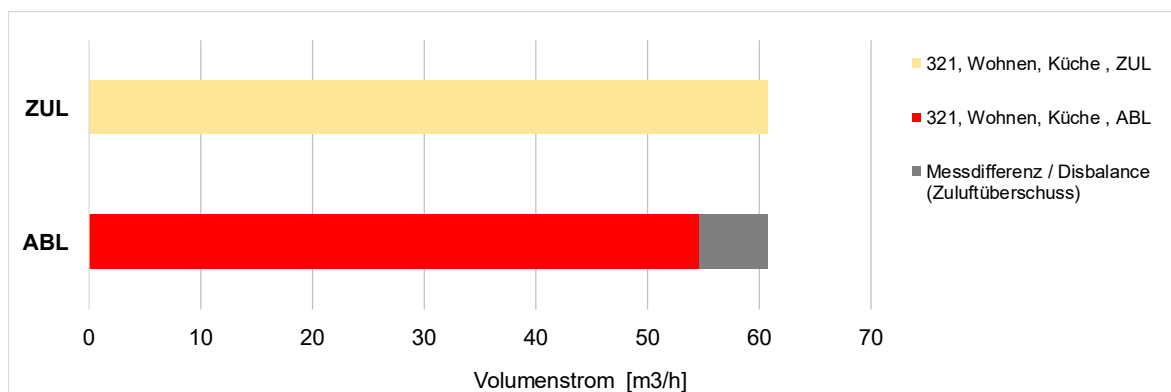


Abbildung 71: Wohnung ID 320: Luftmengenbilanz nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Horw, 12. November 2018
Seite 59/111
Bericht – Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie

Bilddokumentation zu Wohnung ID-Nr.: 320:



Abbildung 72: WNG ID 320: Geräteaufstellung



Abbildung 73: WNG ID 320: AUL-Eintrittsgitter



Abbildung 74: WNG ID 320: Lufteintritt in Gerät



Abbildung 75: WNG ID 320: FOL-Kanal ab Gerät



Abbildung 76: WNG ID 320: ZUL-Filter



Abbildung 77: WNG ID 320: ABL-Filter

Horw, 12. November 2018
Seite 60/111
Bericht – Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie



Abbildung 78: WNG ID 320: Wärmetauscher



Abbildung 79: WNG ID 320: ev. Schimmelablagerung

8.6. Objekt 4, Chur

In dieser Neubausiedlung wurden Aussenluftdurchlässe zusammen mit Abluftventilatoren in Bad und Küche eingesetzt. In der Siedlung wurden 2 Wohnungen untersucht. Die Abluftmengen wurden in den Bädern sowie in einer Wohnung auch in der Küche gemessen. Eine Luftmengenbilanz über die gesamte Wohnung ist daher nur in der Wohnung ID 420 möglich. Gemäss den Mieterangaben wurden die Filter in den ALD zumindest in den letzten 4 Jahren nicht ersetzt.

Aufgrund der teilweise sehr geringen Zuluftmengen (v.A. vor Reinigung) beinhalten die mit dem Flow-Finder gemessenen Resultate eine hohe Unsicherheit bezüglich des absoluten Messwertes [in m³/h]. Aus dem Vergleich zwischen der Messung vor / nach der Reinigung / Filterwechsel kann, aufgrund der identischen Messsituation, aber trotzdem eine Aussage zur Wirkung des Filterwechsels gemacht werden.

Es wurde erwartet, dass die Abluft dauernd in Betrieb ist und bei angeschaltetem Licht im Bad auf eine höhere Stufe schaltet. Die Luftmengenmessungen erfolgten daher mit eingeschaltetem Licht im Bad und mit offenen Zimmertüren.

8.6.1. Wohnung ID-Nr.: 410

In dieser 3.5 Zimmer Wohnung wurden alle ALD untersucht und die Abluftmengen im Bad gemessen. Die Abluft der Küche konnte in dieser Wohnung nicht gemessen werden. In dieser Wohnung wurde festgestellt, dass die Abluft hier nur in Betrieb ist, wenn das Licht im Bad eingeschaltet ist (bei ausgeschaltetem Licht keine Abluft messbar).

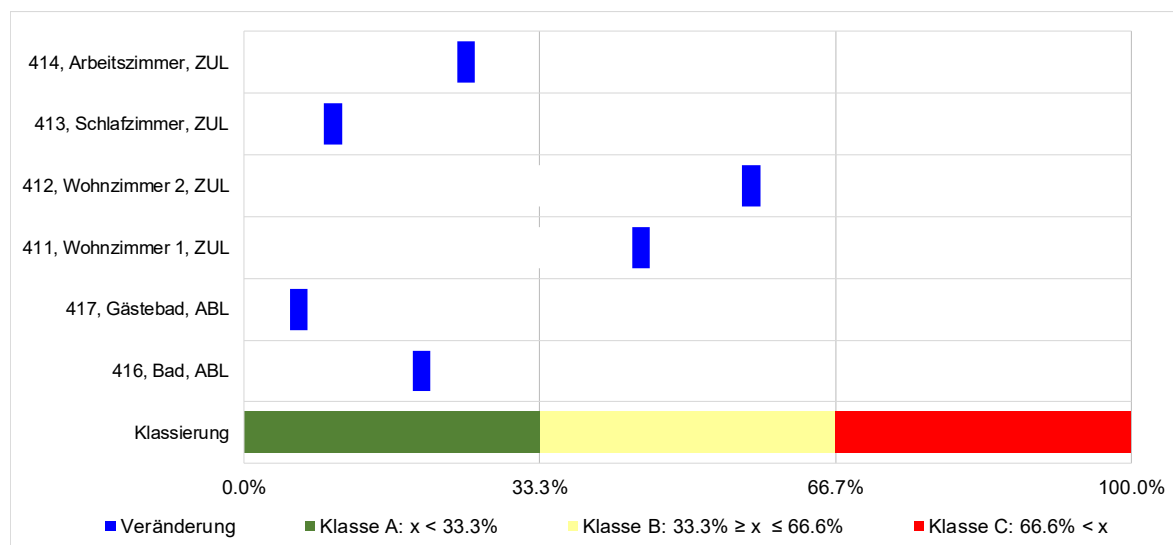


Abbildung 80: Wohnung ID 410: Veränderung der Luftmengen vor / nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Vor allem im Wohnzimmer zeigte sich auf der Zuluftseite grosse Veränderungen der Luftmengen. Dies ist zu einem grossen Teil auf die stark verschmutzten Gitterabdeckungen an den AUL-Einlässen (an Aussenfassade) zurückzuführen. Diese Elemente müssen bei einer Reinigung ebenfalls gereinigt werden (müssen von aussen gereinigt werden, da von innen auch bei vollständigem Ausbau der Elemente nicht zugänglich).

Eine Vergleichsmessung im Labor von 2 verschmutzten Aussenluftfilter (stark / wenig verschmutzt) aus dieser Wohnung (Vergleich mit neuem Ersatzfilter) zeigte für die verschmutzten Filter einen um 11-28 % höheren Druckverlust (bei gleicher Luftmenge).

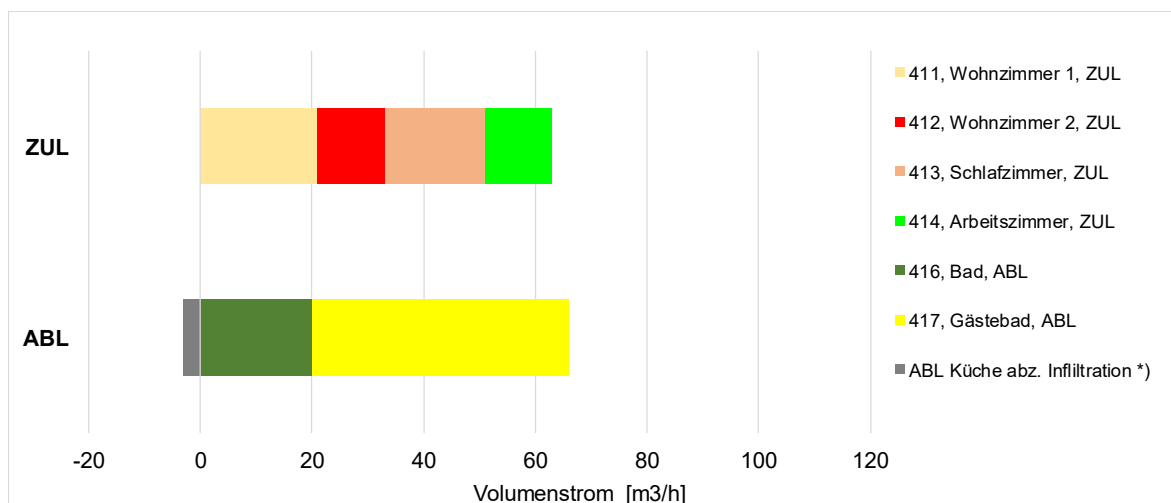


Abbildung 81: Wohnung ID 410: Luftmengenbilanz nach der Reinigung bzw. Filterersatz

*) keine Messung Abluft bei Küche möglich (daher Unvollständige Luftmengenbilanz)

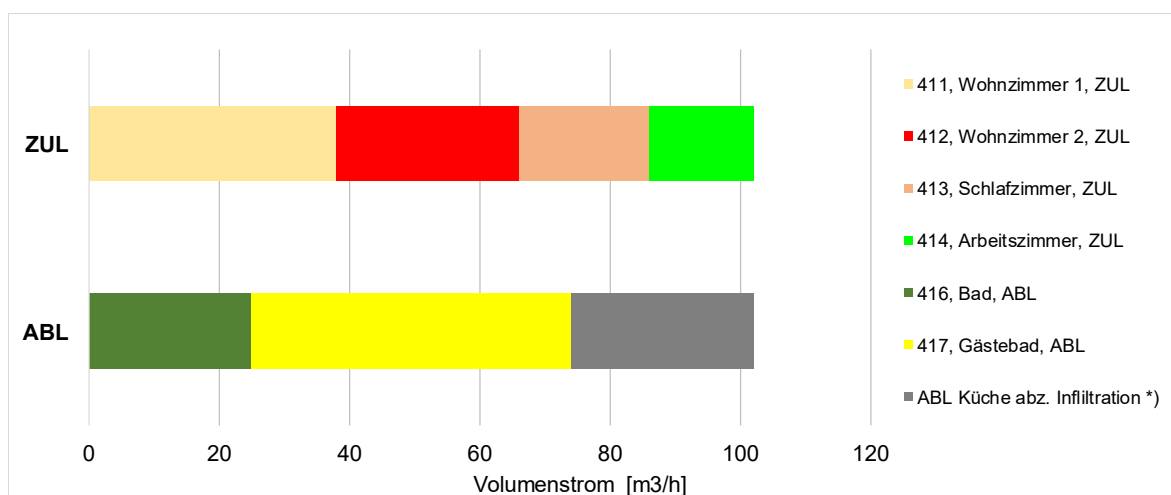


Abbildung 82: Wohnung ID 410: Luftmengenbilanz nach der Reinigung bzw. Filterersatz

*) keine Messung Abluft bei Küche möglich (daher Unvollständige Luftmengenbilanz)

Bilddokumentation zu Wohnung ID-Nr.: 410:



Abbildung 83: WNG ID 410: AUL-Eintritt



Abbildung 84: WNG ID 410: Gehäuse AUL-Eintritt

Horw, 12. November 2018
Seite 63/111
Bericht – Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie



Abbildung 85: WNG ID 410: Gitter an AUL-Element



Abbildung 86: WNG ID 410: Durchbruch AUL-Eintritt



Abbildung 87: WNG ID 410: Gitter in AUL-Schikane



Abbildung 88: WNG ID 410: Gitter in AUL-Schikane



Abbildung 89: WNG ID 410: AUL-Filter



Abbildung 90: WNG ID 410: ABL-Filter, Bad

8.6.2. Wohnung ID-Nr.: 420

In dieser 4.5 Zimmer Wohnung wurden alle ALD und Abluftelemente gemessen. Die Abluft der Küche konnte nur ungenau gemessen werden (eingeschränkte Zugänglichkeit für Fow-Finder). Damit ist in dieser Wohnung eine vollständige Luftmengenbilanz vorhanden.

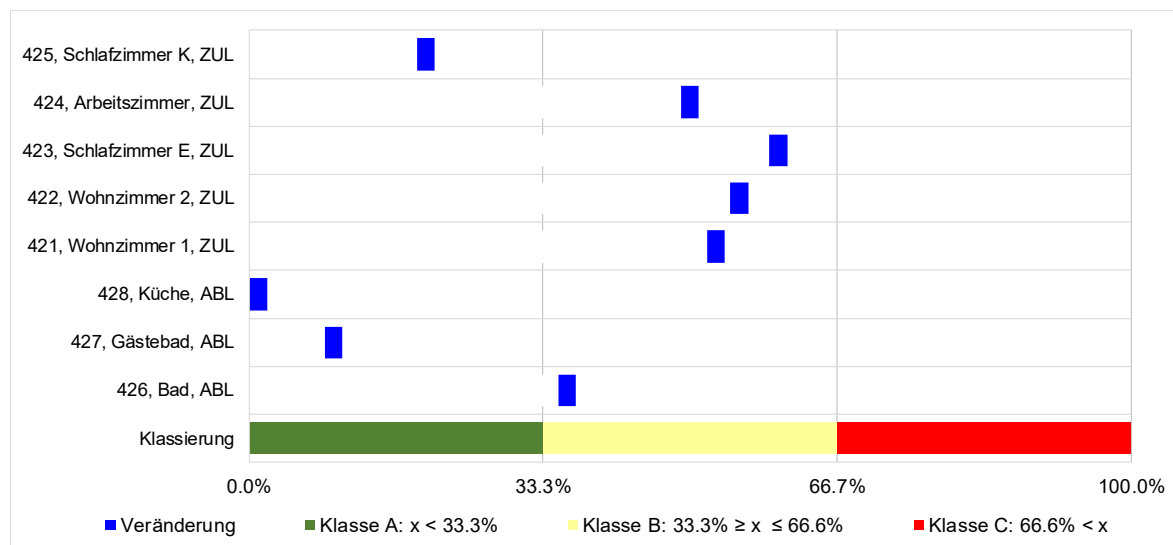


Abbildung 91: Wohnung ID 420: Veränderung der Luftmengen vor / nach der Reinigung bzw. Filterersatz

In den meiden Zimmern zeigte sich auf der Zuluftseite grosse Veränderungen der Luftmengen. Dies ist im wesentlichen Teil auf die stark verschmutzten Gitterabdeckungen an den AUL-Einlässen (an Aussenfassade) zurückzuführen. Diese Elemente müssen bei einer Reinigung ebenfalls gereinigt werden (müssen von aussen gereinigt werden, da von innen auch bei vollständigem Ausbau der Elemente nicht zugänglich).

Eine Vergleichsmessung im Labor von 2 verschmutzten Aussenluftfilter (stark / wenig verschmutzt) aus dieser Wohnung (Vergleich mit neuem Ersatzfilter) zeigte für die verschmutzten Filter einen um 9-35 % höheren Druckverlust (bei gleicher Luftmenge).

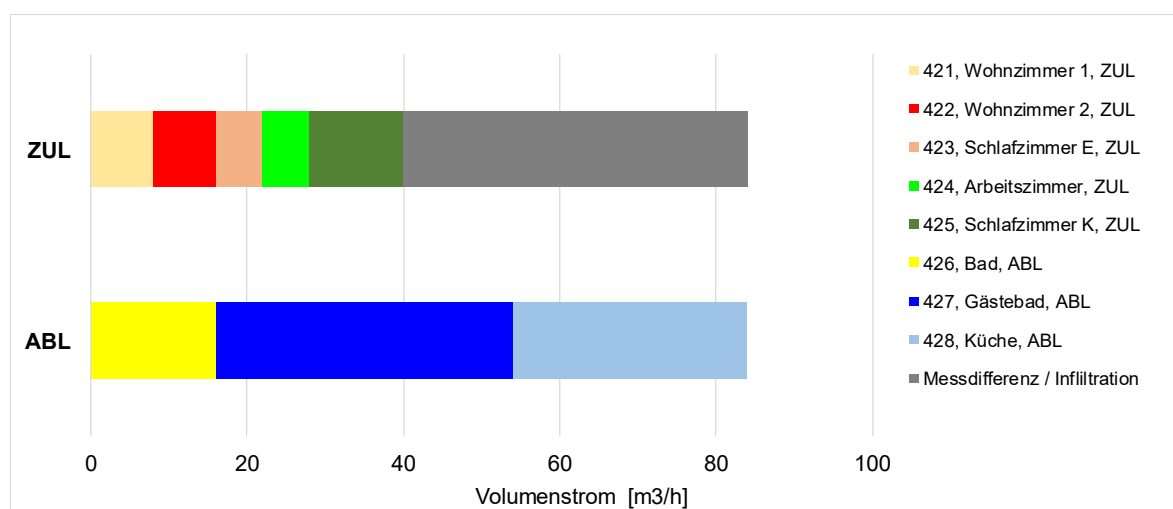


Abbildung 92: Wohnung ID 420: Luftmengenbilanz Istzustand vor der Reinigung

Horw, 12. November 2018
Seite 65/111
Bericht – Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie

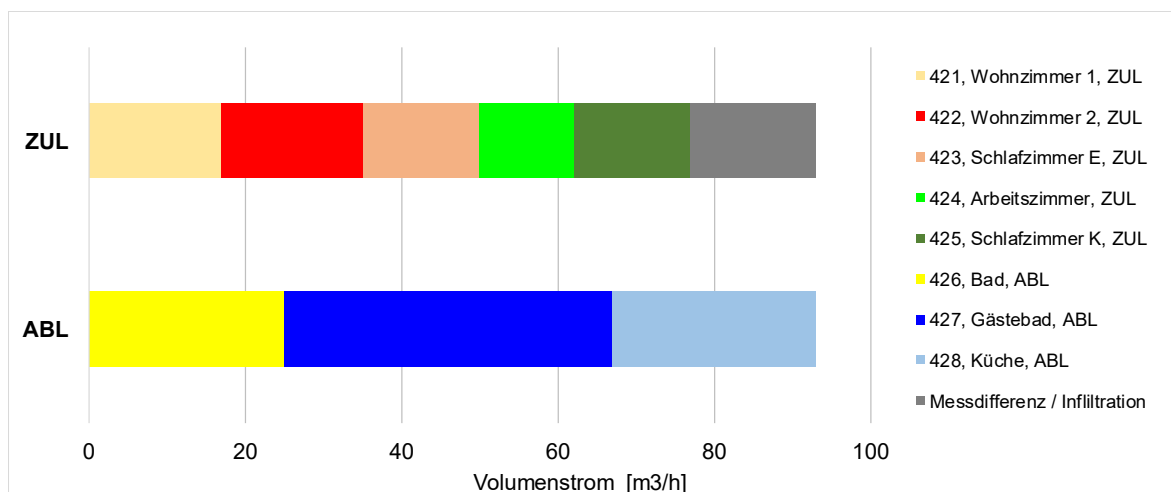


Abbildung 93: Wohnung ID 420: Luftmengenbilanz nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Bilddokumentation zu Wohnung ID-Nr.: 420:



Abbildung 94: WNG ID 420: AUL-Eintritt



Abbildung 95: WNG ID 420: AUL-Filter



Abbildung 96: WNG ID 420: Gitter an AUL-Element



Abbildung 97: WNG ID 420: Durchbruch AUL-Eintritt

Horw, 12. November 2018
Seite 66/111
Bericht – Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie



Abbildung 98: WNG ID 420: Gitter in AUL-Schikane



Abbildung 99: WNG ID 420: Gitter in AUL-Schikane

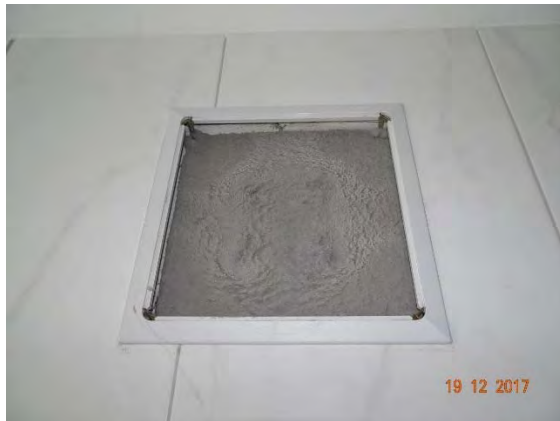


Abbildung 100: WNG ID 420: AUL-Filter, Bad



Abbildung 101: WNG ID 420: ABL-Filter, Küche

8.7. Objekt 5, Horw

In dieser Neubausiedlung wurde ein System mit Aussenluftdurchlässen zusammen mit Abluft in Bad und Küche eingesetzt. Die Abluft wird über eine zentrale Abluftanlage mit Abluft-WP geführt. In der Siedlung wurden 2 Wohnungen untersucht. Die Abluftmengen wurden in den Bädern mit dem Flow-Finder gemessen. Die Abluft der Küche konnte nur indirekt gemessen werden (nicht direkt zugänglich für Flow-Finder). Dadurch sind die Messwerte der Küchenabluft mit einer hohen Unsicherheit behaftet.

Die Filter in den ALD wurden seit der Erstellung des Gebäudes 2016 noch nie ersetzt. Gemäss den verfügbaren Angaben ist der Betrieb der Abluftanlage konstant. Die Luftmengenmessungen erfolgte mit offenen Zimmertüren.

Durch die Abluftventile ohne Filter bestehen Staubablagerungen in den Abluftleitungen (siehe Bilddokumentation der jeweiligen Objekte).

8.7.1. Wohnung ID-Nr.: 510

In dieser 2.5 Zimmer Wohnung wurden alle ALD und Abluftventile untersucht und die die Luftmengenbilanz bestimmt.

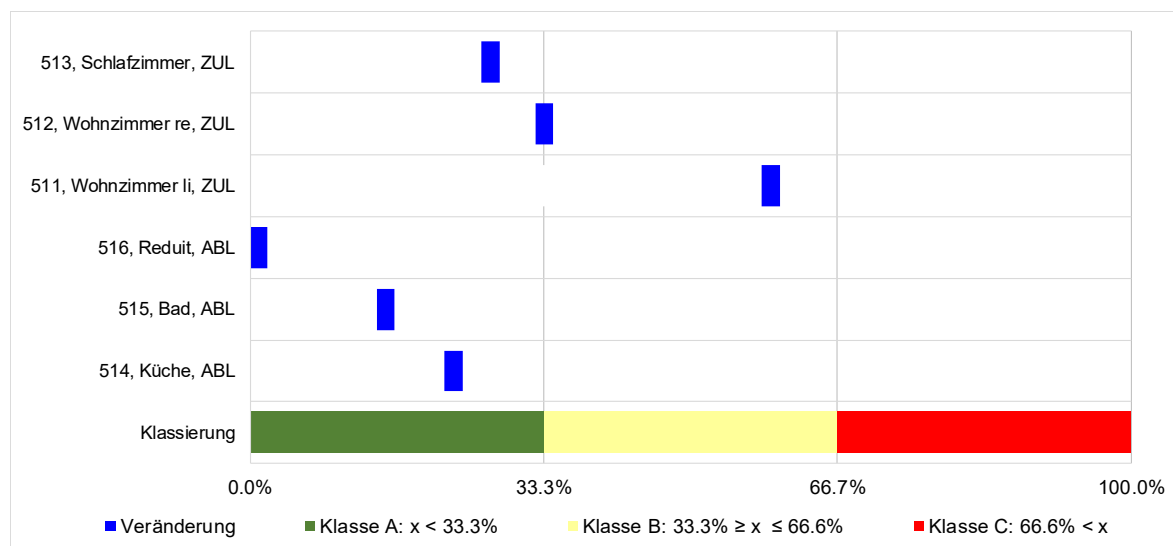


Abbildung 102: Wohnung ID 510: Veränderung der Luftmengen vor / nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Vor allem auf der Zuluftseite zeigen sich teilweise erhebliche Veränderungen der Luftmengen (bzw. geringe Luftmengen vor der Reinigung). Dies im Wesentlichen auf die noch nie gereinigten und damit erheblich verschmutzten Aussenluftfilter zurückzuführen. Der Zustand der Aussenluft-Gitter kann in diesem Objekt nicht geprüft werden, da es sich hinter der Hinterlüftung der Fassade befindet (kaum reinigbar). Aus den Resultaten ist jedoch anzunehmen, dass dieses nicht wesentlich verschmutzt war.

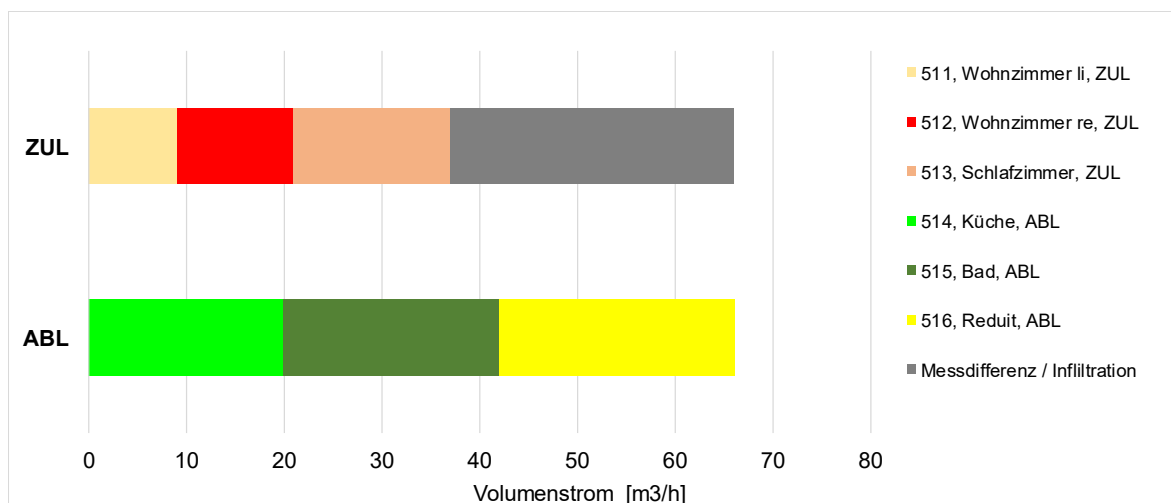


Abbildung 103: Wohnung ID 510: Luftmengenbilanz Istzustand vor der Reinigung bzw. Filterersatz

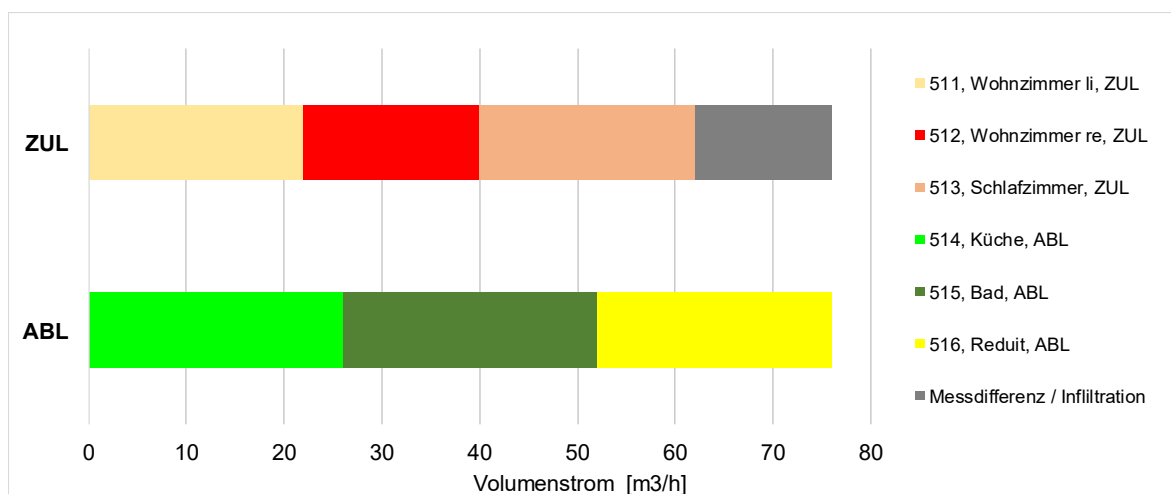


Abbildung 104: Wohnung ID 510: Luftmengenbilanz nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Bilddokumentation zu Wohnung ID-Nr.: 510:



Abbildung 105: WNG ID 510: AUL-Eintritt



Abbildung 106: WNG ID 510: AUL-Eintritt in Gehäuse

Horw, 12. November 2018
Seite 69/111
Bericht – Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie



Abbildung 107: WNG ID 510: Gehäuse AUL-Eintritt



Abbildung 108: WNG ID 510: AUL-Filter



Abbildung 109: WNG ID 510: ABL-Ventil, Deckel



Abbildung 110: WNG ID 510: ABL-Ventil

8.7.2. Wohnung ID-Nr.: 520

In dieser 4.5 Zimmer Wohnung wurden alle ALD und Abluftventile untersucht und die die Luftmengenbilanz bestimmt. In diesem Objekt waren die ALDs teilweise bzw. vollständig abgeklebt. Die Messungen fanden nach Entfernung der Klebebänder in geöffneter Stellung des ALD statt. Die optische Begutachtung der Elemente zeigte starke Ablagerungen, welche auf zeitweise Kondensatbildung (ev. Schimmel?) hindeuten können.

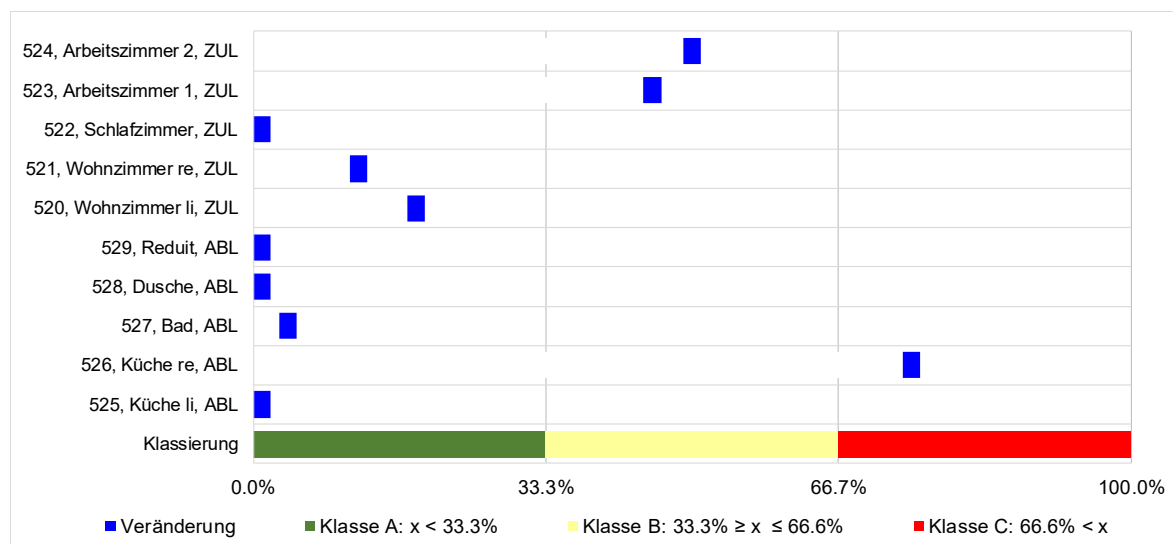


Abbildung 111: Wohnung ID 520: Veränderung der Luftmengen vor / nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Auf der Zuluftseite zeigen sich vor allem im Arbeitszimmer eine grosse Veränderung der Luftmengen. Aufgrund der stark verschmutzten Aussenluftfilter wäre eine grosse Differenz auch bei den übrigen Aussenluftdurchlässen zu erwarten gewesen. Die grosse Differenz bei der Küchenabluft rechts dürfte zu einem wesentlichen Teil auf eine nicht identische Einstellung zurückzuführen sein (vor Reinigung kaum Abluft an diesem Element).

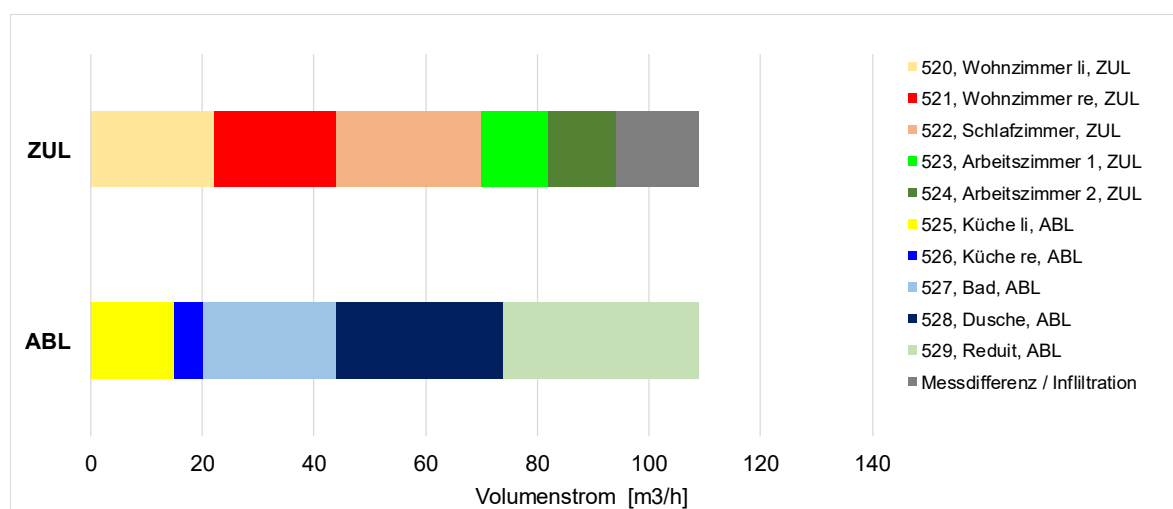


Abbildung 112: Wohnung ID 520: Luftmengenbilanz Istzustand vor der Reinigung

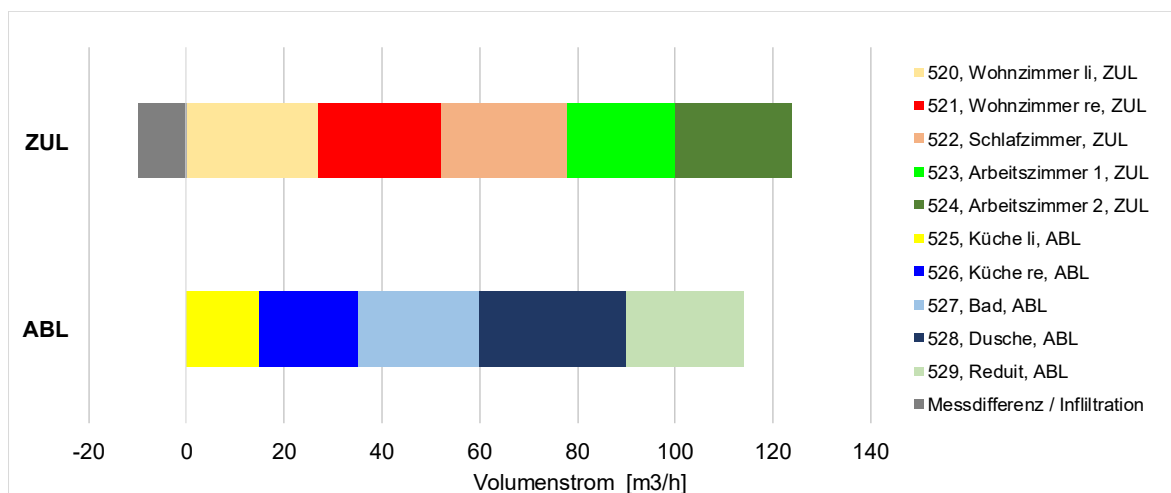


Abbildung 113: Wohnung ID 520: Luftmengenbilanz nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Bilddokumentation zu Wohnung ID-Nr.: 520:



Abbildung 114: WNG ID 520: AUL-Eintritt, abgeklebt



Abbildung 115: WNG ID 520: AUL-Eintritt, abgeklebt



Abbildung 116: WNG ID 520: Ablagerungen AUL-El.



Abbildung 117: WNG ID 520: Ablagerungen AUL-El.

Horw, 12. November 2018
Seite 72/111
Bericht – Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie



Abbildung 118: WNG ID 520: AUL-Filter, eingebaut



Abbildung 119: WNG ID 520: AUL-Filter



Abbildung 120: WNG ID 520: ABL-Ventil, Deckel



Abbildung 121: WNG ID 520: ABL-Ventil

8.8. Objekt 6, Naters

In dieser Neubausiedlung wurden Einzelraumlüftungsgeräte eingesetzt. Ein Teil der Geräte weist eine absichtliche Disbalance der Zu- / Abluftmengen auf. Gemäss der Planung wird über alle in der Wohnung eingebauten Einzelraumgeräte eine ausgeglichene Luftmengenbilanz erreicht. In der Siedlung wurden 2 Wohnungen untersucht. Die Abluftmengen im Bad wurden ebenfalls gemessen. Daher gibt die Luftmengenbilanz über die gesamte Wohnung inkl. Abluft Auskunft.

Es zeigte sich, dass die Abluft in den untersuchten Wohnungen zu einer grossen Disbalance führt und die Einzelraumlüftungsgeräte wesentlich beeinflusst.

Die Luftmengenmessung an den Einzelraumgeräten konnte mit einem speziellen Aufsatz mit dem Flow-Finder durchgeführt werden. Aufgrund der teilweise sehr geringen Zuluftmengen (v.A. vor Reinigung) beinhalten die mit dem Flow-Finder gemessenen Resultate aber eine hohe Unsicherheit bezüglich des absoluten Messwertes [in m³/h]. Aus dem Vergleich zwischen der Messung vor / nach der Reinigung / Filterwechsel kann, aufgrund der identischen Messsituation, aber trotzdem eine Aussage zur Wirkung des Filterwechsels gemacht werden.

8.8.1. Wohnung ID-Nr.: 610

In dieser 3.5 Zimmer Wohnung wurden alle vorhandenen Einzelraumgeräte wie auch die separate Abluft im Bad / WC untersucht. In diesem Objekt wurden die Zuluftreinlässe überwiegend mit dem vorhandenen Schieber geschlossen. Die Messungen fanden in geöffneter Stellung statt.

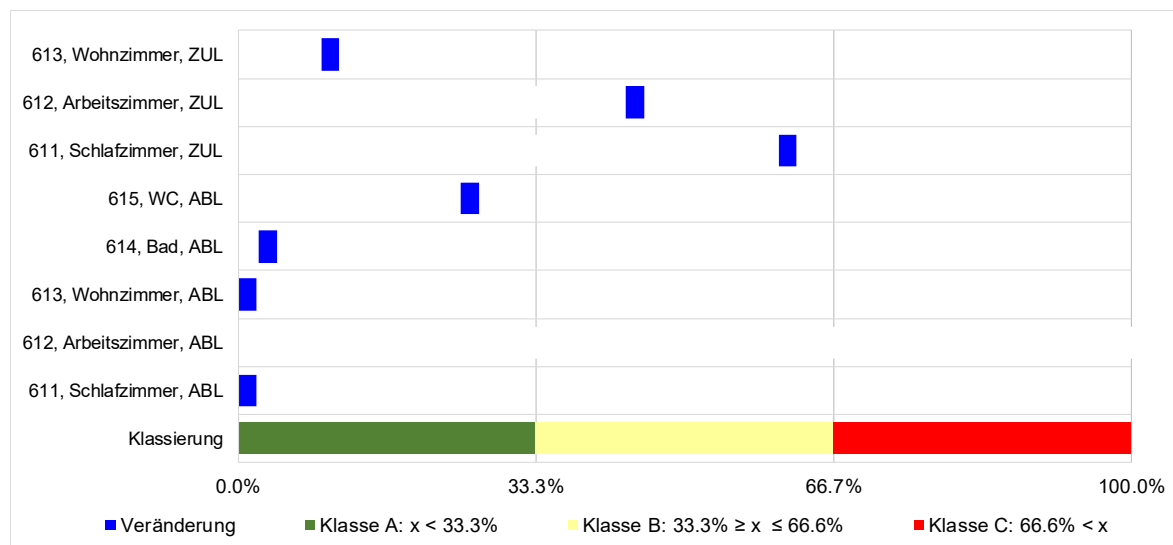


Abbildung 122: Wohnung ID 610: Veränderung der Luftmengen vor / nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Die auf der Zuluftseite teilweise wesentliche Veränderungen der Luftmengen (bzw. geringe Luftmengen vor der Reinigung) sind aus der festgestellten Verschmutzung der Zuluftfilter wie auch den Ablagerungen auf dem AUL-Fliegengitter nachvollziehbar. Damit zeigt sich auch in diesem Objekt, dass die regelmässige Reinigung der Fliegengitter wesentlich für eine stabile Zuluftmenge ist. Sehr aussergewöhnlich in diesem Objekt war die viel zu starke Badabluft. Dies führt zu sehr grossen Differenzen in der Luftmengenbilanz (Unterdruck). An einem Einzelraumgerät (Arbeitszimmer) wurde gar auf der Abluftseite eine geringfügige Zuluftmenge gemessen (anstatt Abluft). Dies deutet darauf hin, dass eine starke Beeinflussung der Geräte durch die zu starke Badabluft besteht.

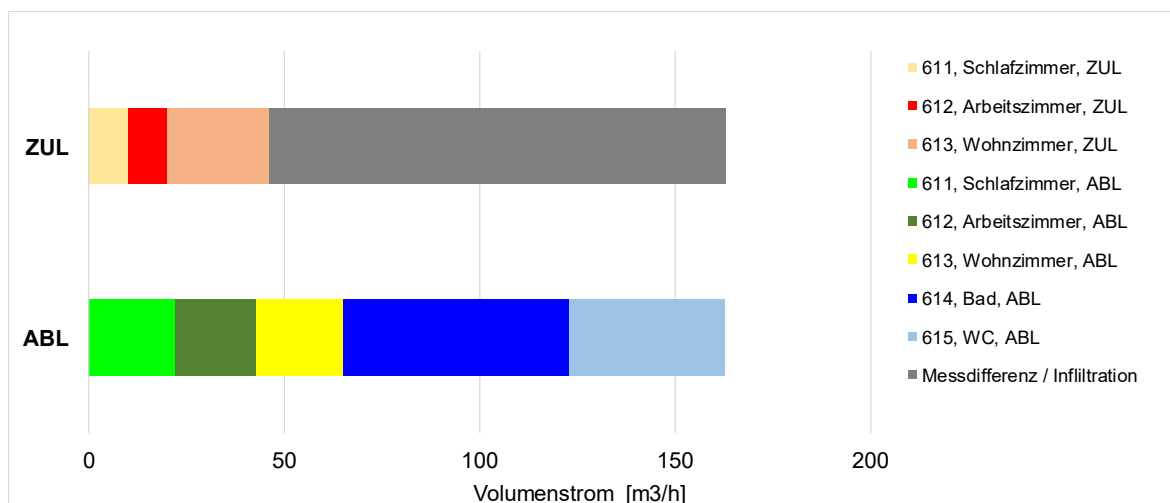


Abbildung 123: Wohnung ID 610: Luftmengenbilanz Istzustand vor der Reinigung

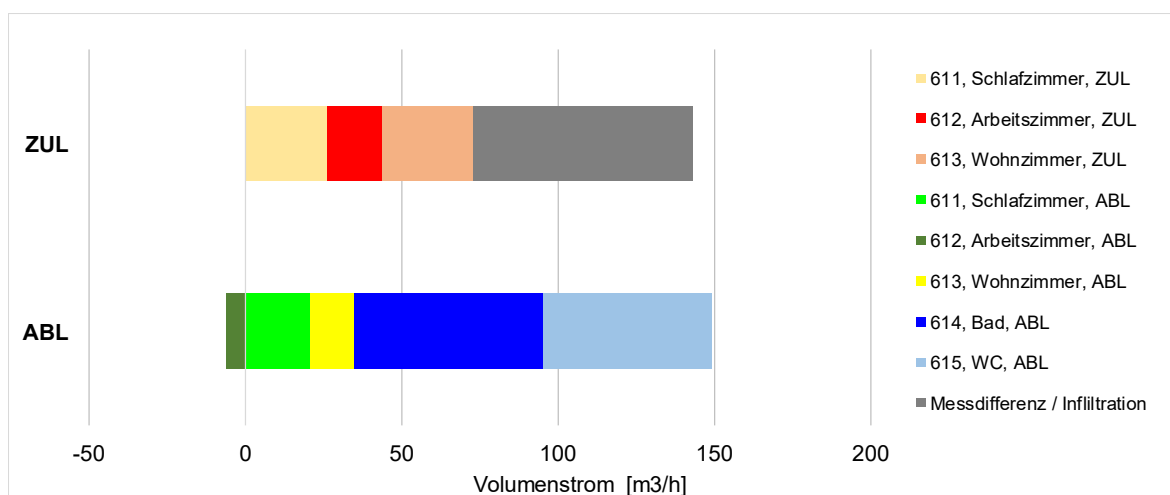


Abbildung 124: Wohnung ID 610: Luftmengenbilanz nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Bilddokumentation zu Wohnung ID-Nr.: 610:



Abbildung 125: WNG ID 610: Zuluftfilter



Abbildung 126: WNG ID 610: Fliegengitter AUL

Horw, 12. November 2018
Seite 75/111
Bericht – Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie



Abbildung 127: WNG ID 610: Filter, Alt-Neu



Abbildung 128: WNG ID 610: Luftführungselemente



Abbildung 129: WNG ID 610: ABL-Filter



Abbildung 130: WNG ID 610: AUL-Eintrittsgitter



Abbildung 131: WNG ID 610: Wärmetauscher



Abbildung 132: WNG ID 610: ABL-Filter, Bad

8.8.2. Wohnung ID-Nr.: 620

In dieser 2.5 Zimmer Wohnung wurden alle vorhandenen Einzelraumgeräte wie auch die separate Abluft im Bad untersucht.

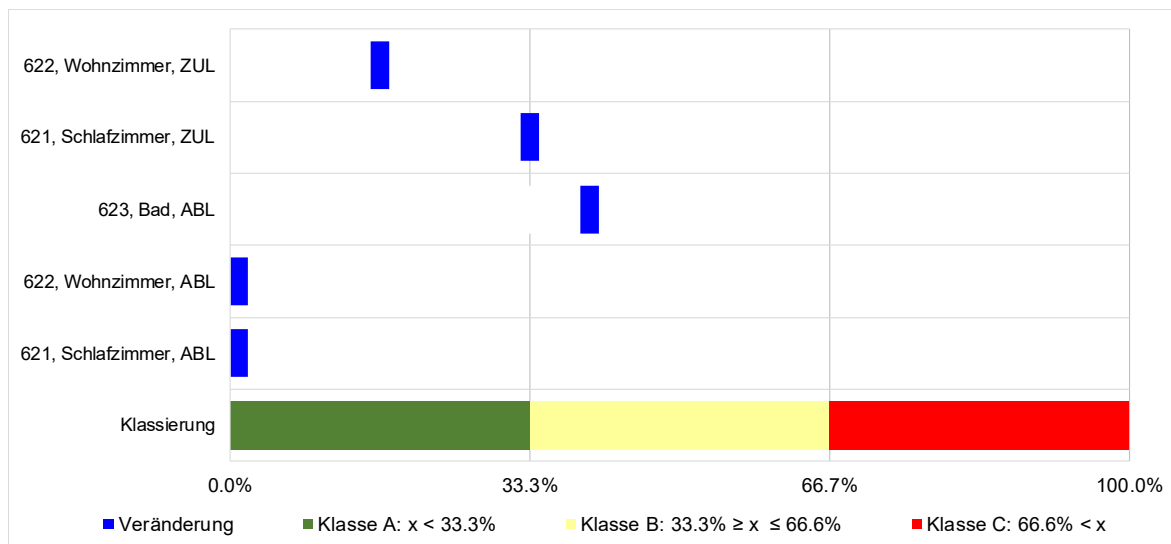


Abbildung 133: Wohnung ID 620: Veränderung der Luftmengen vor / nach der Reinigung bzw. Filterersatz

In diesem Objekt waren die Veränderungen der Luftmengen auf der Zuluftseite aufgrund der weniger intensiven Nutzung geringer als im Objekt ID 610. Dies zeigte sich auch in der geringeren Verschmutzung der Zuluftfilter. Auch in diesem Objekt zeigte sich die zu starke Badabluft, die auch hier zu grossen Differenzen in der Luftmengenbilanz führt. Auch hier ist eine Beeinflussung der Geräte durch die Badabluft sichtbar (geringe Abluftmenge der Einzelraumgeräte).

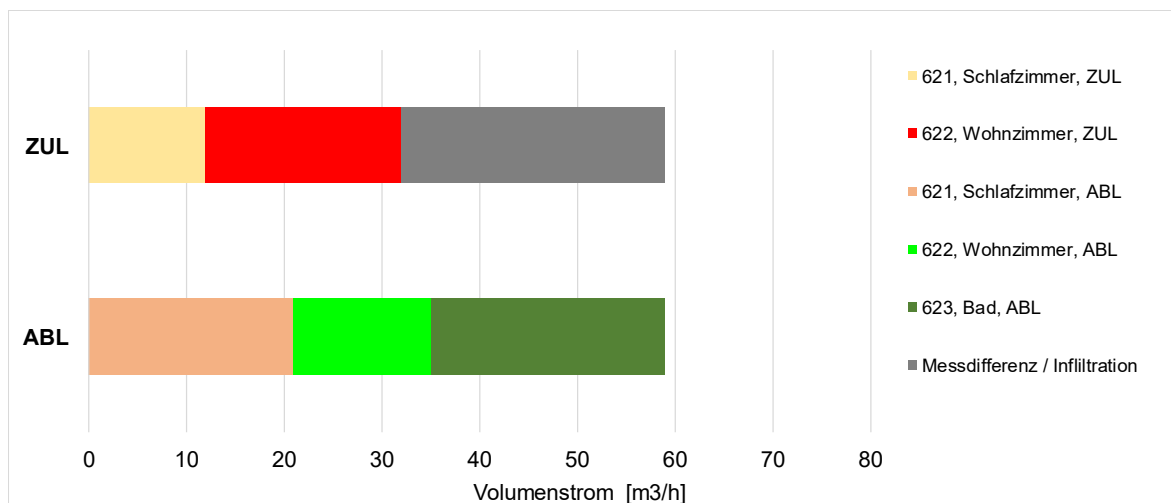


Abbildung 134: Wohnung ID 620: Luftmengenbilanz Istzustand vor der Reinigung

Horw, 12. November 2018
Seite 77/111
Bericht – Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie

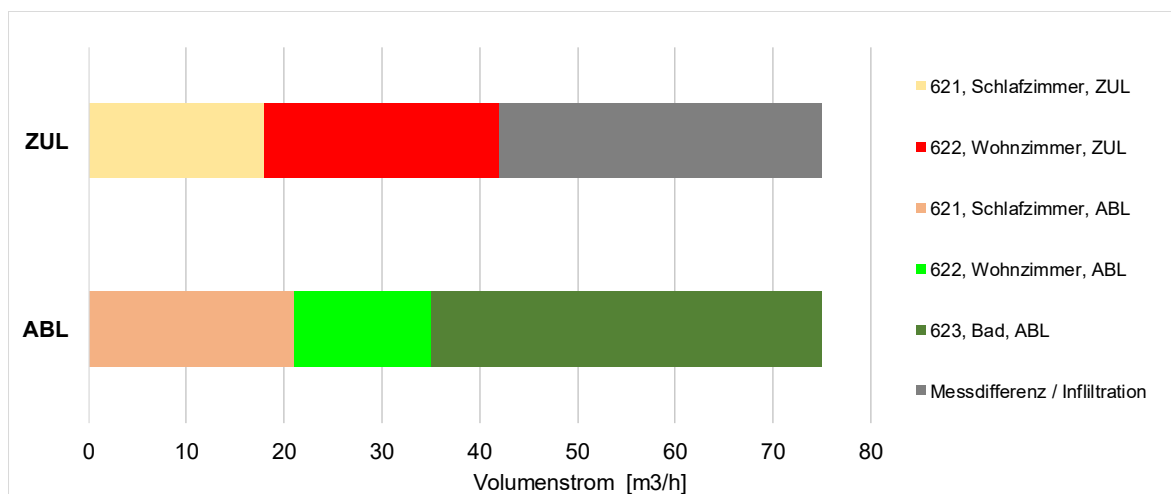


Abbildung 135: Wohnung ID 620: Luftmengenbilanz nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Bilddokumentation zu Wohnung ID-Nr.: 620:



Abbildung 136: WNG ID 620: Zuluftfilter



Abbildung 137: WNG ID 620: Fliegengitter AUL



Abbildung 138: WNG ID 620: ABL-Filter



Abbildung 139: WNG ID 620: Luftführungselemente

Horw, 12. November 2018
Seite 78/111
Bericht – Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie



Abbildung 140: WNG ID 620: Wärmetauscher



Abbildung 141: WNG ID 620: AUL-Eintrittsgitter

8.9. Objekt 7, Zürich

In dieser Neubausiedlung wurde ein System mit Aussenluftdurchlässen zusammen mit Abluft in Bad und Küche eingesetzt. Die Abluft wird über eine zentrale Abluftanlage mit über Dach geführt. In der Siedlung wurde in 2 Gebäuden je 2 Wohnungen untersucht. Die Abluftmengen wurden in den Bädern sowie in einer Wohnung auch in der Küche gemessen. Die Filter der ALD wurden in einen Gebäude (Objekte 730 und 740) vor ca. 1.5 Jahren gewechselt und im anderen Gebäude gemäss Mieteraussagen seit dem Bezug des Gebäudes 2016 noch nie ersetzt. Durch die Abluftventile ohne Filter bestehen Staubablagerungen in den Abluftleitungen (siehe Bilddokumentation der jeweiligen Objekte). Gemäss den verfügbaren Angaben ist der Betrieb der Abluftanlage konstant. Die Luftmengenmessungen erfolgte mit offenen Zimmertüren.

Aufgrund der speziellen Einbausituation konnten die Messungen in den Objekten 730 und 740 nicht direkt mit dem Flow-Finder durchgeführt werden. Die Luftmengen wurden daher aus mehreren Einzelmessungen der Luftgeschwindigkeiten an den Ein- / Auslässen mit einem Hitzdrahtanemometer vorgenommen. Die aufgenommenen Messwerte wurden bei den Messungen in den Objekten 710 und 720 mit den Messdaten des Flow-Finders (mit speziellem Messaufsatz) abgeglichen. Aufgrund des verwendeten Messmittels und auch infolge der teilweise geringen Luftmengen besteht eine höhere Unsicherheit bezüglich der absoluten Messwerte [in m³/h]. Aus dem Vergleich zwischen der Messung vor / nach der Reinigung / Filterwechsel kann, aufgrund der identischen Messsituation, aber trotzdem eine Aussage zur Wirkung des Filterwechsels gemacht werden.

Aufgrund der tiefen Aussentemperaturen bei den Messungen (Aussentemperatur -1...-9°C) war bis auf Objekte 730 viel Kondensat auf der Innenseite der Aussenluftdurchlässe vorhanden. Dies dürfte durch die sehr einfach konstruierte Durchführung und die Konstruktion des Durchlasses begünstigt werden. Auch zeigten sich erhebliche Ablagerungen an den Durchlässen. Ob diese Ablagerungen Schimmel enthalten oder primär durch hohe Staubkonzentration der Aussenluft in Siedlungsnähe zurückzuführen ist konnte nicht geklärt werden.

8.9.1. Wohnung ID-Nr.: 710

In dieser 3.5 Zimmer Wohnung wurden alle ALD und Abluftventile untersucht und die die Luftmengenbilanz bestimmt.

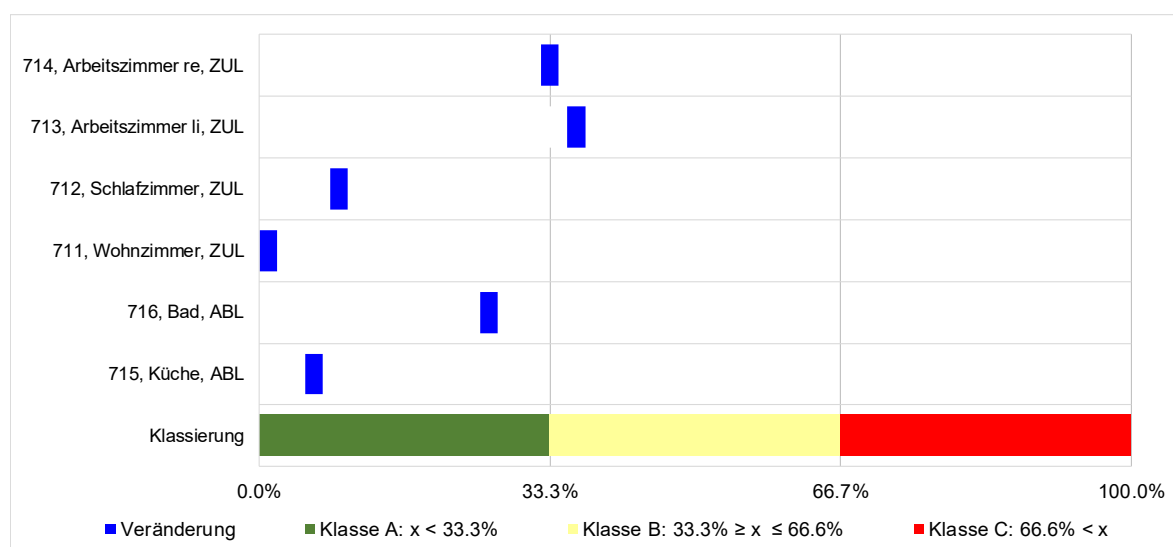


Abbildung 142: Wohnung ID 710: Veränderung der Luftmengen vor / nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Auf der Zuluftseite zeigten sich teilweise sehr tiefe Luftmengen, was zu entsprechend hohen Differenzen durch die Reinigung führte. Auffällig war die starke Kondensatbildung und die Ablagerungen in den Durchlässen (siehe Bilddokumentation). In diesem Objekt wurde ein grosser Abluftüberschuss ermittelt (Unterdruck / Infiltration).

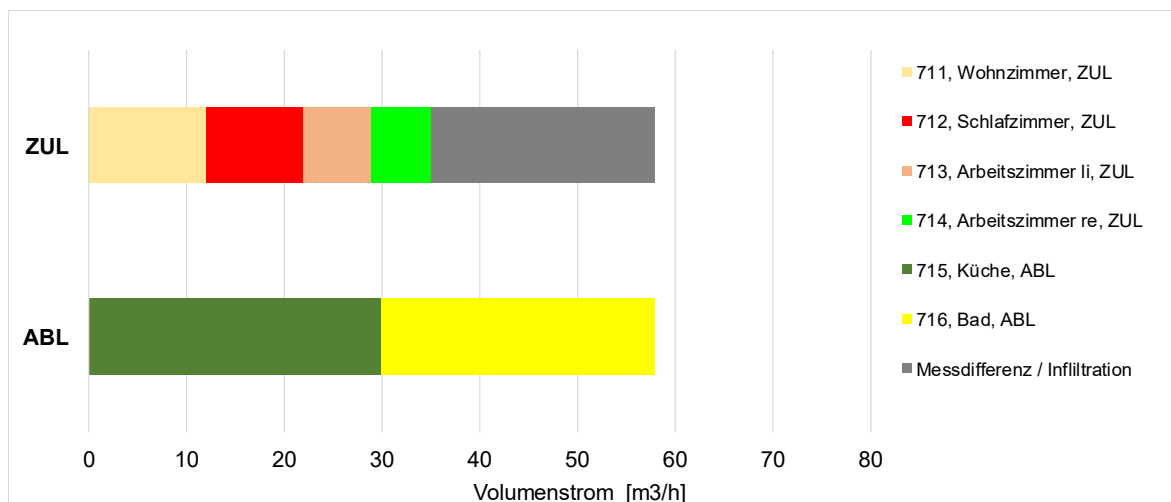


Abbildung 143: Wohnung ID 710: Luftmengenbilanz Istzustand vor der Reinigung

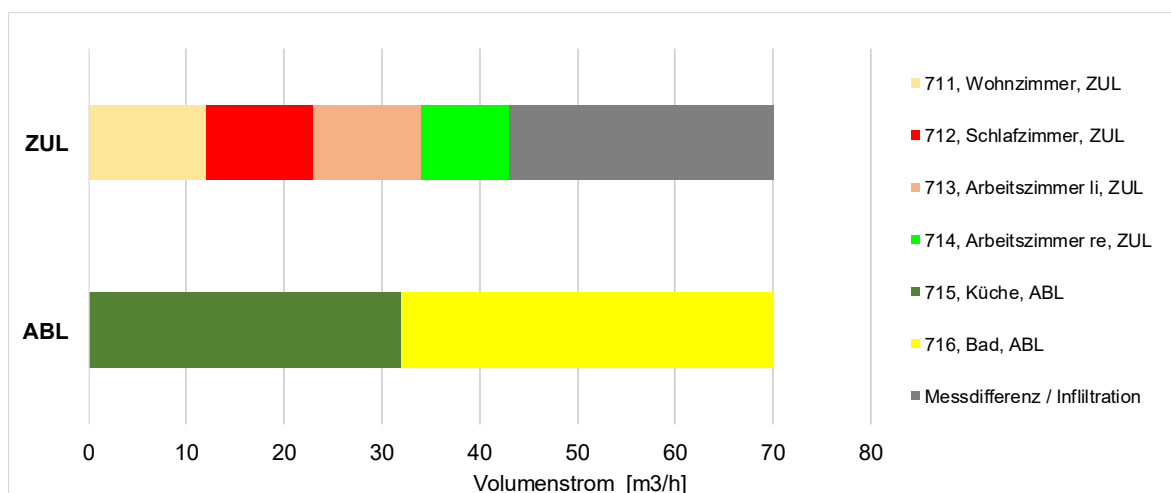


Abbildung 144: Wohnung ID 710: Luftmengenbilanz nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Horw, 12. November 2018
Seite 81/111
Bericht – Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie

Bilddokumentation zu Wohnung ID-Nr.: 710:



Abbildung 145: WNG ID 710: Kondensat an ZUL-El.



Abbildung 146: WNG ID 710: Zuluftfilter

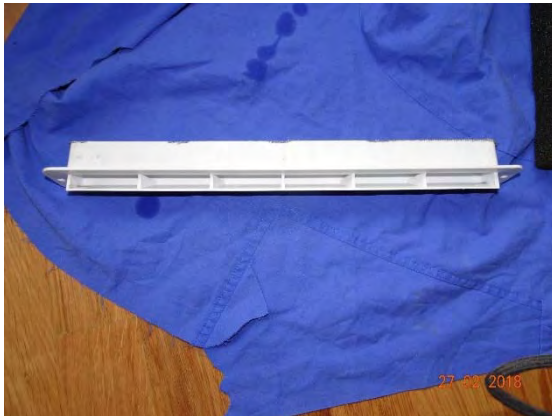


Abbildung 147: WNG ID 710: ZUL-Element



Abbildung 148: WNG ID 710: Ablagerung an ZUL-El.



Abbildung 149: WNG ID 710: ABL-Ventil, Bad



Abbildung 150: WNG ID 710: ABL-Rohr, Bad

8.9.2. Wohnung ID-Nr.: 720

In dieser 3.5 Zimmer Wohnung wurden alle ALD und Abluftventile untersucht und die die Luftmengenbilanz bestimmt.

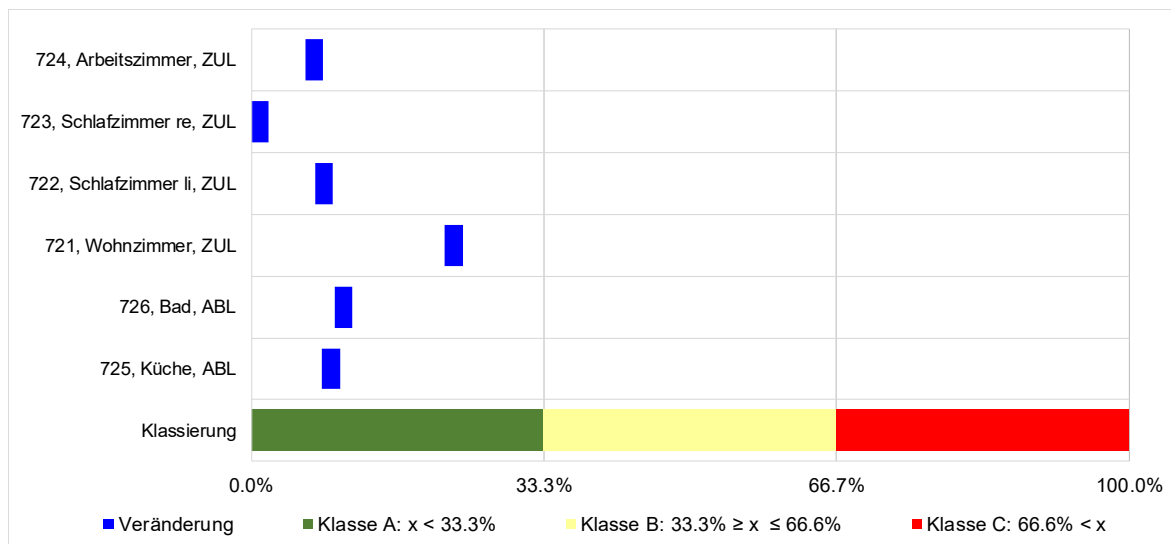


Abbildung 151: Wohnung ID 720: Veränderung der Luftmengen vor / nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Auf der Zuluftseite zeigten sich tiefe Luftmengen, welche auch nach der Reinigung nicht sehr stark veränderten. Auffällig war auch hier die starke Kondensatbildung und die Ablagerungen in den Durchlässen (siehe Bilddokumentation). In diesem Objekt wurde nur ein minimaler Abluftüberschuss ermittelt.

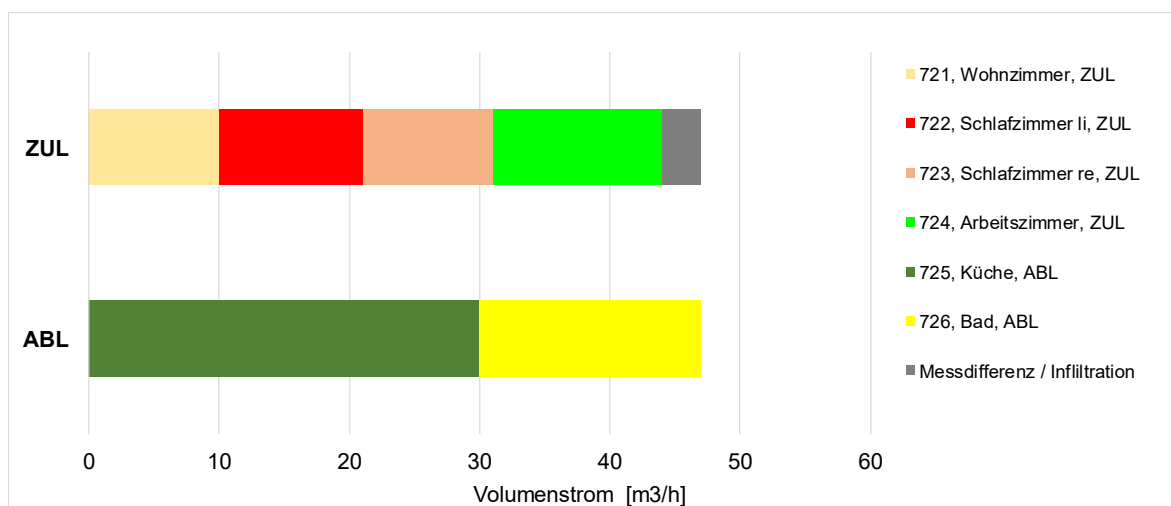


Abbildung 152: Wohnung ID 720: Luftmengenbilanz Istzustand vor der Reinigung

Horw, 12. November 2018
Seite 83/111
Bericht – Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie

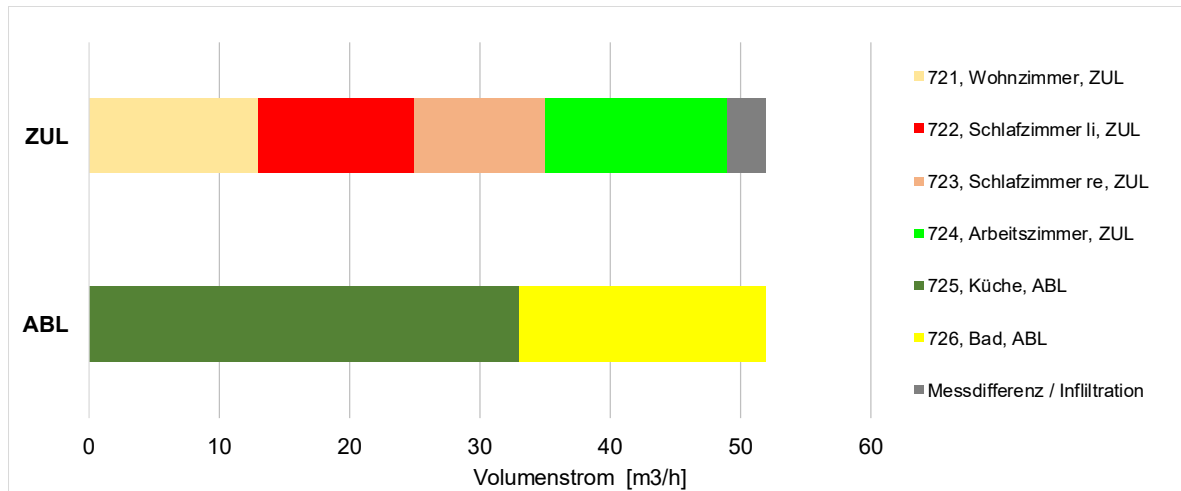


Abbildung 153: Wohnung ID 720: Luftmengenbilanz nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Bilddokumentation zu Wohnung ID-Nr.: 720:



Abbildung 154: WNG ID 720: Kondensat an ZUL-El.



Abbildung 155: WNG ID 720: Zuluftfilter



Abbildung 156: WNG ID 720: Ablagerung an ZUL-El.



Abbildung 157: WNG ID 720: Durchbruch AUL v.I.

Horw, 12. November 2018
Seite 84/111
Bericht – Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie



Abbildung 158: WNG ID 720: AUL-Eintritt



Abbildung 159: WNG ID 720: ABL-Ventil, Küche



Abbildung 160: WNG ID 720: ABL-Ventil, Bad



Abbildung 161: WNG ID 720: ABL-Rohr, Bad

8.9.3. Wohnung ID-Nr.: 730

In dieser 3.5 Zimmer Wohnung wurden alle ALD und Abluftventile untersucht und die die Luftmengenbilanz bestimmt.

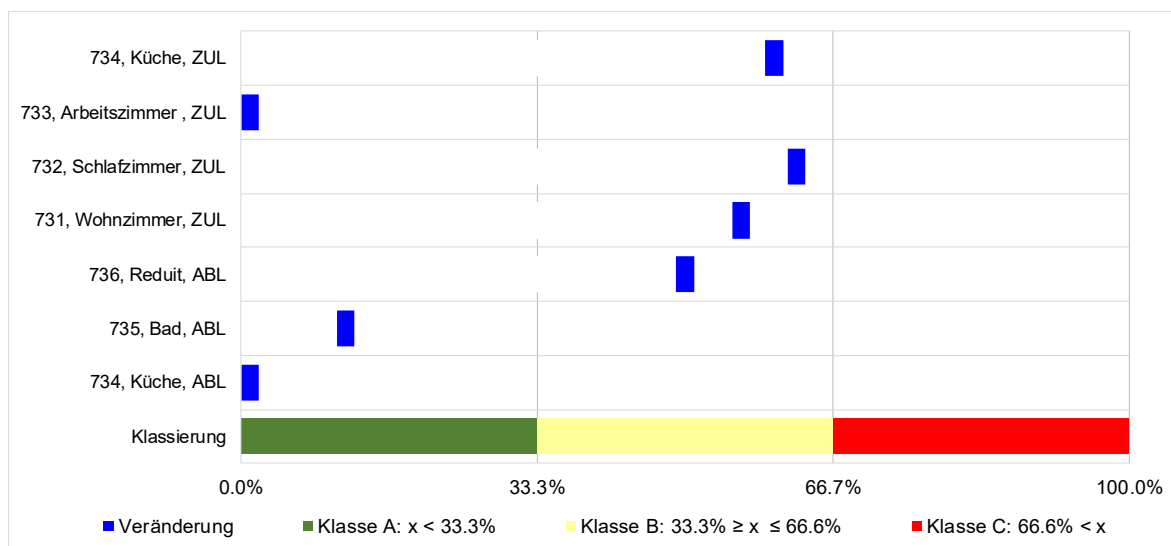


Abbildung 162: Wohnung ID 730: Veränderung der Luftmengen vor / nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Auf der Zuluftseite zeigten sich überwiegend sehr tiefe Luftmengen, was zu entsprechend hohen Differenzen durch die Reinigung führte. Auffällig war auch hier eine starke Kondensatbildung und die Ablagerungen in den Durchlässen (siehe Bilddokumentation). In diesem Objekt wurde ein grosser Abluftüberschuss ermittelt (Unterdruck / Infiltration). Der in dieser Wohnung gemessene Unterdruck betrug vor der Reinigung 18 Pa und danach 13 Pa.

In der Wohnung wurden erhebliche Lufteintritte (Infiltration) über die Elektroinstallationen festgestellt.

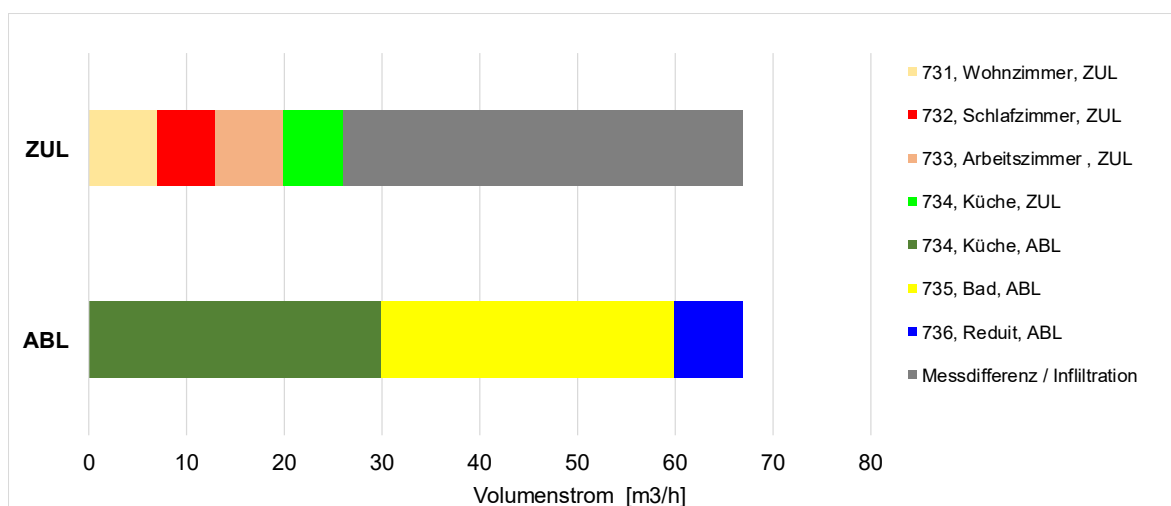


Abbildung 163: Wohnung ID 730: Luftmengenbilanz Istzustand vor der Reinigung

Horw, 12. November 2018
Seite 86/111
Bericht – Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie

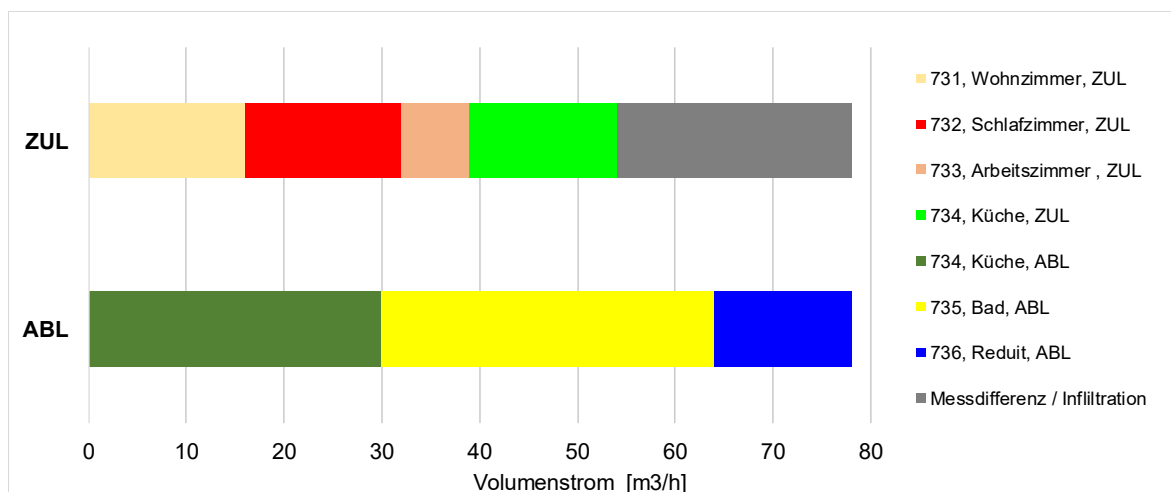


Abbildung 164: Wohnung ID 730: Luftmengenbilanz nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Bilddokumentation zu Wohnung ID-Nr.: 730:



Abbildung 165: WNG ID 730: Kondensat an ZUL-El.



Abbildung 166: WNG ID 730: Zuluftfilter



Abbildung 167: WNG ID 730: Ablagerung an ZUL-El.



Abbildung 168: WNG ID 730: Durchbruch AUL v.I.



Abbildung 169: WNG ID 730: ABL-Ventil, Bad



Abbildung 170: WNG ID 730: ABL-Rohr, Bad

8.9.4. Wohnung ID-Nr.: 740

In dieser 3.5 Zimmer Wohnung wurden alle ALD und Abluftventile untersucht und die die Luftmengenbilanz bestimmt.

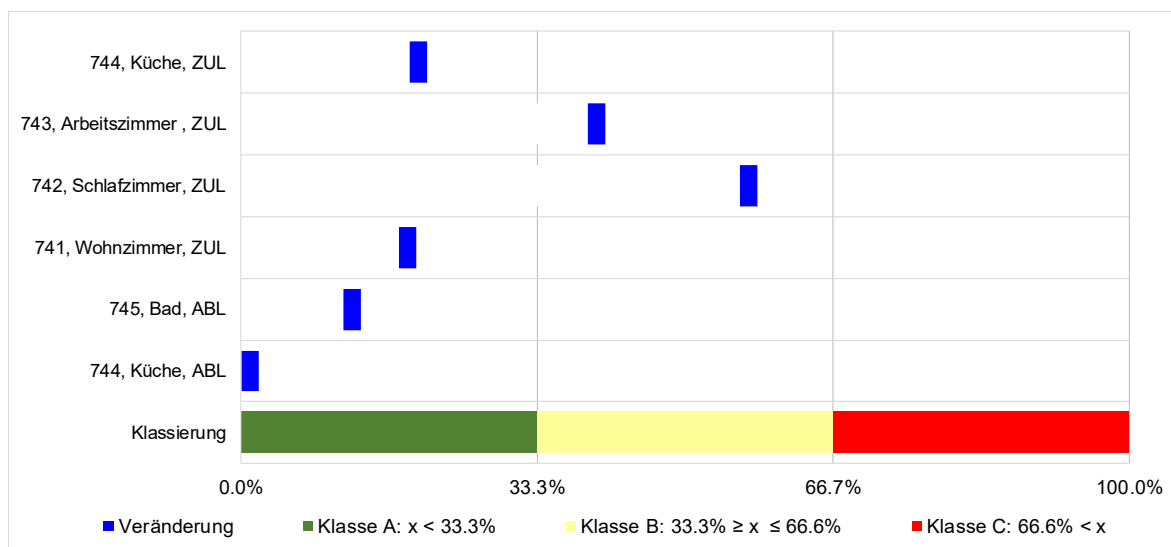


Abbildung 171: Wohnung ID 740: Veränderung der Luftmengen vor / nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Auf der Zuluftseite zeigten sich überwiegend sehr tiefe Luftmengen (höchste Luftmenge in Wohnzimmer), was zu entsprechend hohen Differenzen durch die Reinigung führte. In dieser Wohnung wurde keine Kondensatbildung an den Aussenluftdurchlässen festgestellt. Gemäss den Mietern wurde eine solche bisher auch nie festgestellt. Die Ablagerungen in den Durchlässen wurden auch in dieser Wohnung festgestellt (siehe Bilddokumentation). Auch in diesem Objekt wurde ein grosser Abluftüberschuss ermittelt (Unterdruck / Infiltration). Der in dieser Wohnung gemessene Unterdruck betrug vor der Reinigung 15 Pa und danach 13 Pa.

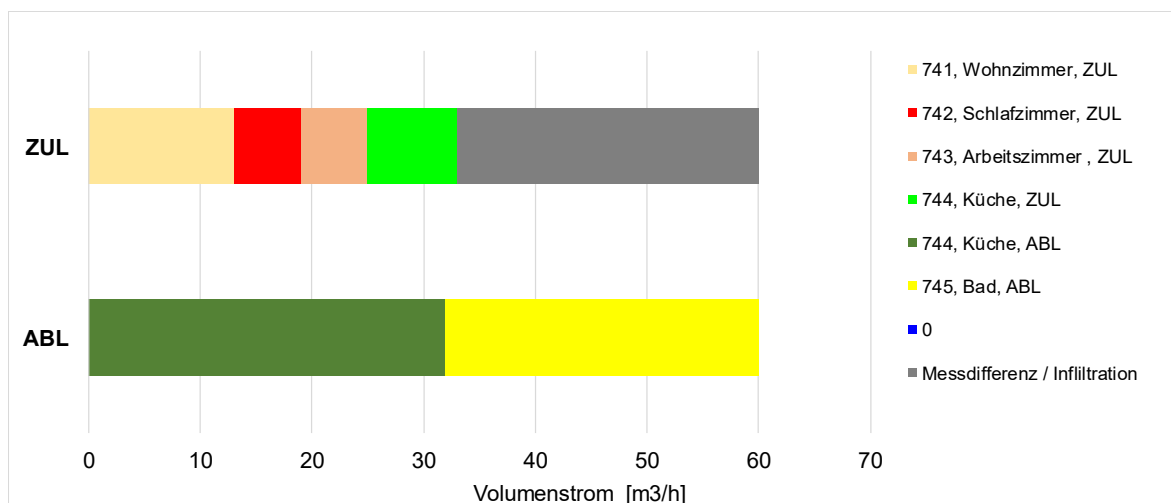


Abbildung 172: Wohnung ID 740: Luftmengenbilanz Istzustand vor der Reinigung

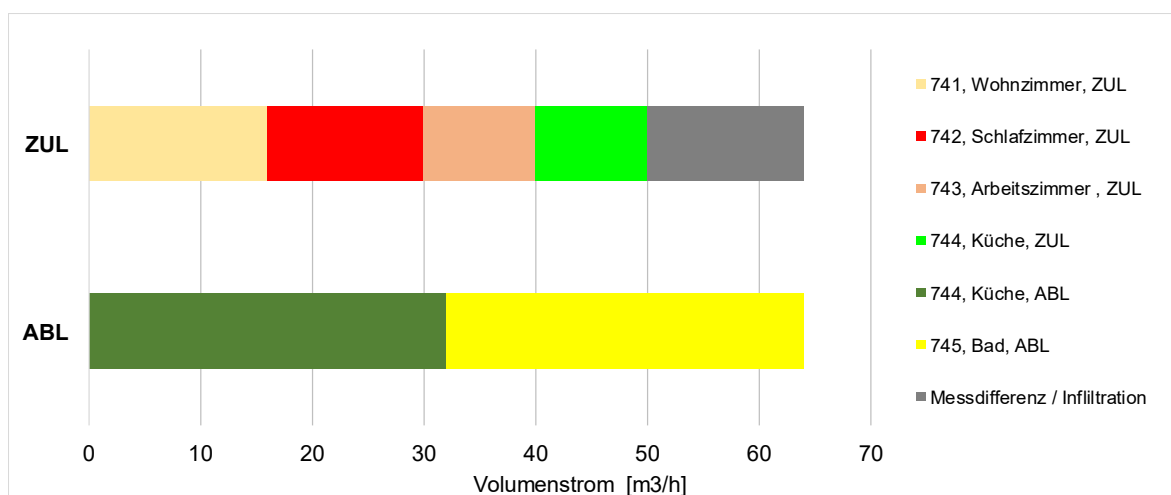


Abbildung 173: Wohnung ID 740: Luftmengenbilanz nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Bilddokumentation zu Wohnung ID-Nr.: 740:



Abbildung 174: WNG ID 730: ZUL-Element



Abbildung 175: WNG ID 730: Zuluftfilter

Horw, 12. November 2018
Seite 89/111
Bericht – Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie



Abbildung 176: WNG ID 730: Ablagerung an ZUL-El.



Abbildung 177: WNG ID 730: Durchbruch AUL v.I.



Abbildung 178: WNG ID 730: ABL-Ventil, Bad



Abbildung 179: WNG ID 730: ABL-Rohr, Bad

8.10. Objekt 8, Biberstein

In dieser Neubausiedlung wurde ein System mit Aussenluftdurchlässen zusammen mit Abluft in Bad und Küche eingesetzt. Die Abluft wird über einen Abluftventilator je Wohnung über Dach geführt. In den Wohnungen besteht eine Steuerung der Abluft über eine Lichtsteuerung im Bad, ein Zeitprogramm und eine CO₂-Messung im Wohnzimmer. In der Siedlung wurden 3 Wohnungen in 2 Gebäuden untersucht. Die Zu- und Abluftmengen wurden in den mit dem Flow-Finder gemessen (Zuluft mit speziellem Aufsatz). Die Filter in den ALD wurden gemäss den Mieterangaben vor $\frac{3}{4}$ Jahren gemäss den Herstellerangaben gereinigt. Die in diesem Objekt eingesetzten Filter (gem. Herstellerangabe G2) weisen nur eine minimale Filterfunktion auf (kaum Staubfilterung). Durch die Abluftventile ohne Filter bestehen Staubablagerungen in den Abluftleitungen (siehe Bilddokumentation der jeweiligen Objekte).

Die Luftmengenmessungen erfolgte mit eingeschaltetem Licht im Bad und offenen Zimmertüren. Die Wohnungen verfügen über eine Abluft-Dunstabzugshaube. Bei eingeschalteter Haube (ohne zusätzliche Fensteröffnung) steigt im Gebäude der Unterdruck stark an (auf bis zu 82 Pa Unterdruck auf der höchsten Stufe)

8.10.1. Wohnung ID-Nr.: 810

In dieser 5.5 Zimmer Wohnung wurden alle ALD und Abluftventile untersucht und die die Luftmengenbilanz bestimmt. In diesem Objekt wurden in einem Zimmer der ALD mit dem vorhandenen Schieber halb geschlossen. Die Messungen fanden in geöffneter Stellung statt.

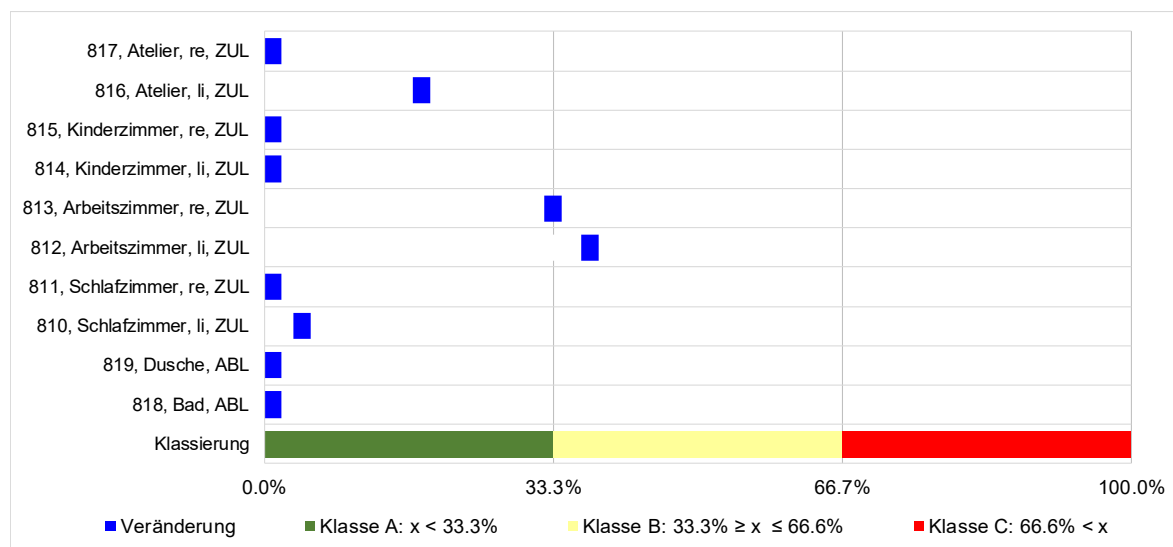


Abbildung 180: Wohnung ID 810: Veränderung der Luftmengen vor / nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Auf der Zuluftseite zeigen mit Ausnahme vom Arbeitszimmer nur geringe Veränderungen der Luftmengen. Dies dürfte auf die regelmässige Filterwartung aber auch auf die geringe Filterwirkung des Zuluftfilters zurückzuführen sein. Ablagerungen an den Fliegengitter im Aussenluftdurchlass konnten nicht festgestellt werden, was ev. mit der ländlichen Lage ohne grosse Partikelbelastung zusammenhängen könnte.

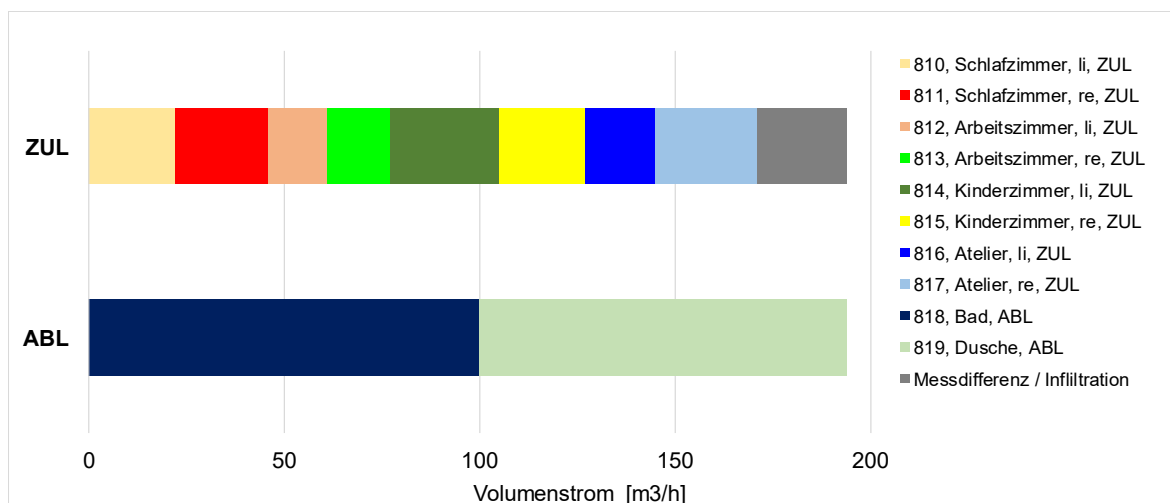


Abbildung 181: Wohnung ID 810: Luftmengenbilanz Istzustand vor der Reinigung

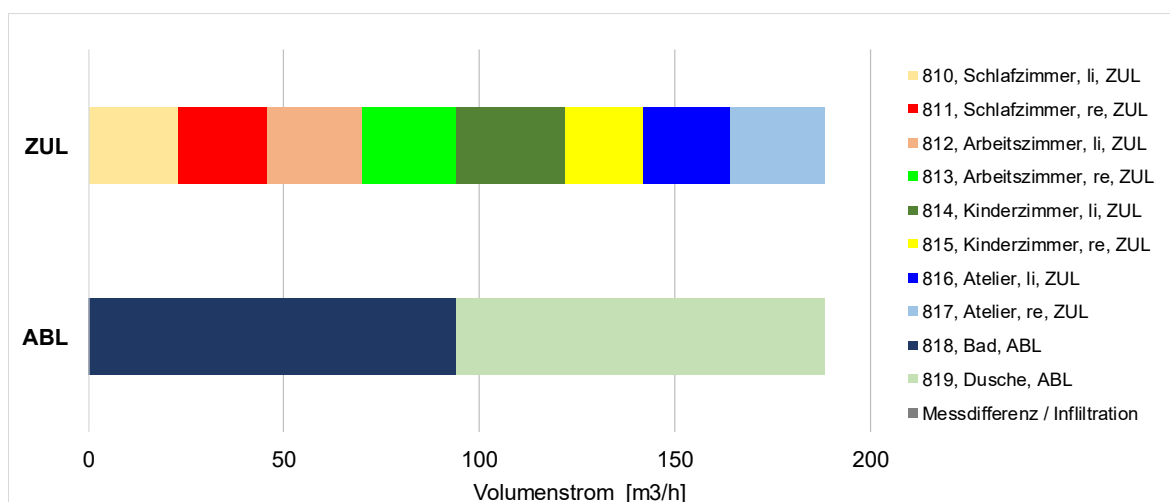


Abbildung 182: Wohnung ID 810: Luftmengenbilanz nach der Reinigung bzw. Filterersatz

In diesem Objekt wurde kein relevanter Abluftüberschuss ermittelt. Auch die Druckmessungen zeigen nur einen moderaten Unterdruck (vor / und nach der Reinigung 10-11 Pa). Einen wesentlich höheren Unterdruck wird (bei geschlossenem Fenster) durch den Dunstabzug (Abluft) verursacht. Auf der höchsten Stufe (Stufe 3) beträgt der Unterdruck in diesem Fall 53 Pa.

Horw, 12. November 2018
Seite 92/111
Bericht – Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie

Bilddokumentation zu Wohnung ID-Nr.: 810:



Abbildung 183: WNG ID 810: ZUL-Element



Abbildung 184: WNG ID 810: Fliegengitter AUL



Abbildung 185: WNG ID 810: Zuluftfilter.



Abbildung 186: WNG ID 810: Zuluftfilter, Rückseite



Abbildung 187: WNG ID 810: ABL-Ventil, Bad



Abbildung 188: WNG ID 810: ABL-Rohr, Bad

8.10.2. Wohnung ID-Nr.: 820

In dieser 4.5 Zimmer Wohnung wurden alle ALD und Abluftventile untersucht und die die Luftmengenbilanz bestimmt. In diesem Objekt wurden in den meisten Zimmern der ALD mit dem vorhandenen Schieber wegen Zugerscheinungen geschlossen. Die Messungen fanden in geöffneter Stellung statt.

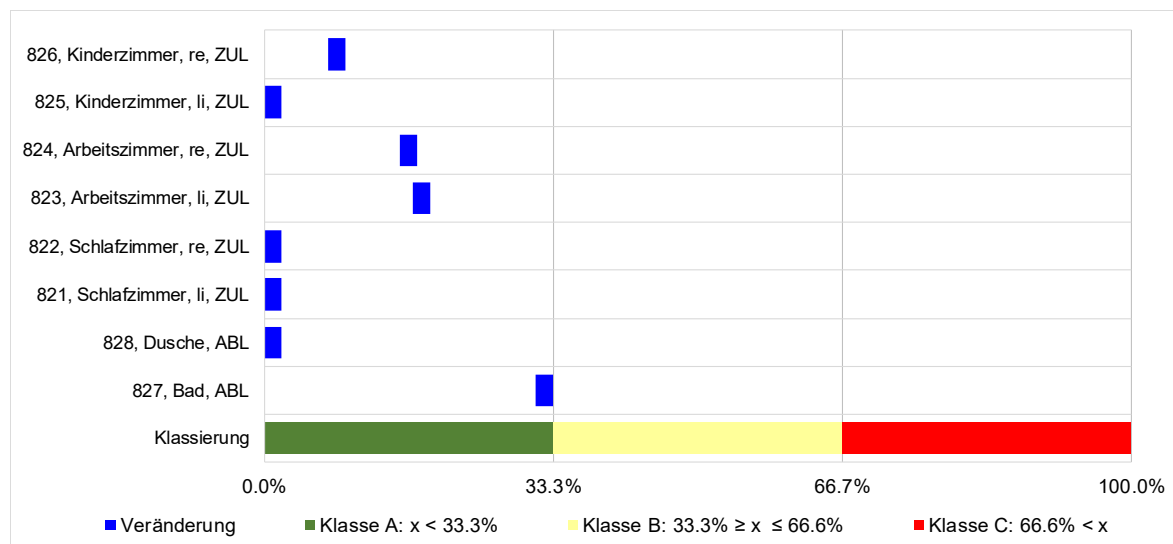


Abbildung 189: Wohnung ID 820: Veränderung der Luftmengen vor / nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Auf der Zuluftseite zeigen nur geringe Veränderungen der Luftmengen. Dies dürfte auf die regelmässige Filterwartung aber auch auf die geringe Filterwirkung des Zuluftfilters zurückzuführen sein. Ablagerungen an den Fliegengitter im Aussenluftdurchlass konnten nicht festgestellt werden.

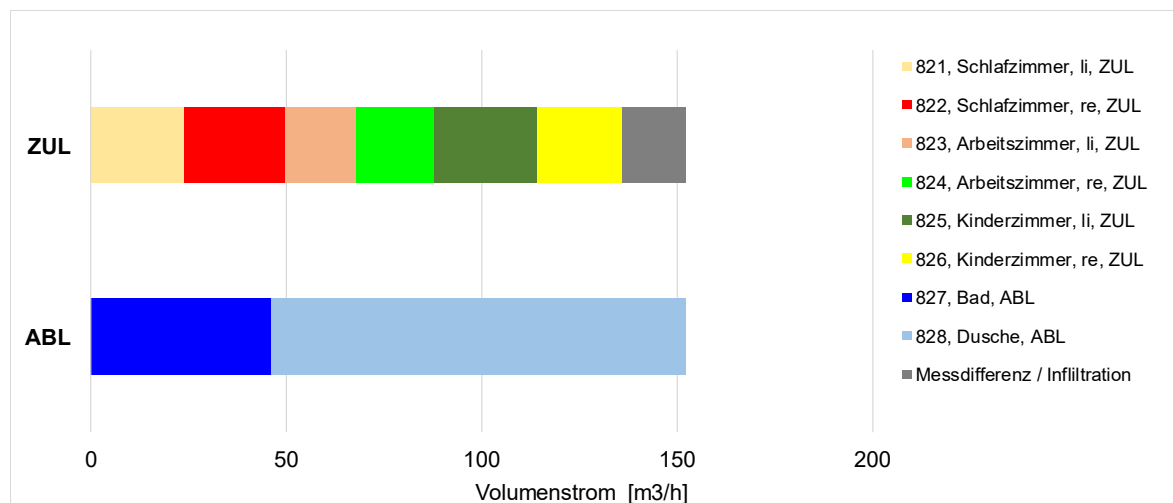


Abbildung 190: Wohnung ID 820: Luftmengenbilanz Istzustand vor der Reinigung

In diesem Objekt wurde kein erheblicher Abluftüberschuss ermittelt. Die Druckmessungen zeigen einen Unterdruck vor / und nach der Reinigung von 15 Pa. Einen wesentlich höheren Unterdruck wird (bei geschlossenem Fenster) durch den Dunstabzug (Abluft) verursacht. Auf der höchsten Stufe (Stufe 3) beträgt der Unterdruck in diesem Fall 66-68 Pa.

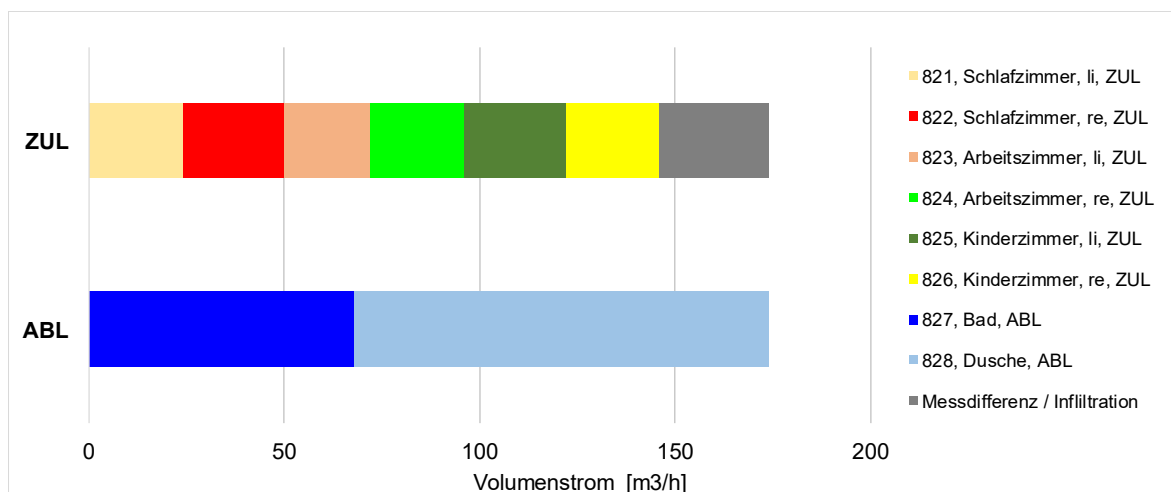


Abbildung 191: Wohnung ID 820: Luftmengenbilanz nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Bilddokumentation zu Wohnung ID-Nr.: 820:



Abbildung 192: WNG ID 820: Zuluftfilter



Abbildung 193: WNG ID 820: Fliegengitter AUL



Abbildung 194: WNG ID 820: ABL-Ventil, Bad



Abbildung 195: WNG ID 820: ABL-Rohr, Bad

8.10.3. Wohnung ID-Nr.: 830

In dieser 3.5 Zimmer Wohnung wurden alle ALD und Abluftventile untersucht und die die Luftmengenbilanz bestimmt. Die Messungen fanden in geöffneter Stellung statt.

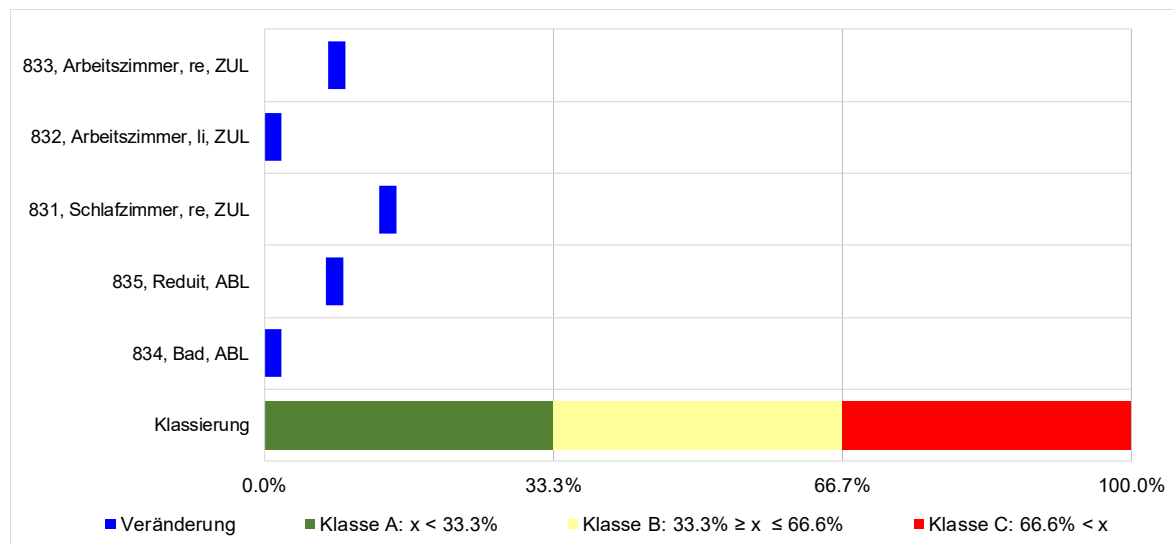


Abbildung 196: Wohnung ID 830: Veränderung der Luftmengen vor / nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Auf der Zuluftseite zeigen nur geringe Veränderungen der Luftmengen. Dies dürfte auf die regelmässige Filterwartung aber auch auf die geringe Filterwirkung des Zuluftfilters zurückzuführen sein. Ablagerungen an den Fliegengitter im Aussenluftdurchlass konnten nicht festgestellt werden. Zudem erfolgte in diesem Objekt erst vor kurzem (vor einigen Monaten) eine Wohnungsübergabe (Ausführung einer Wohnungsreinigung).

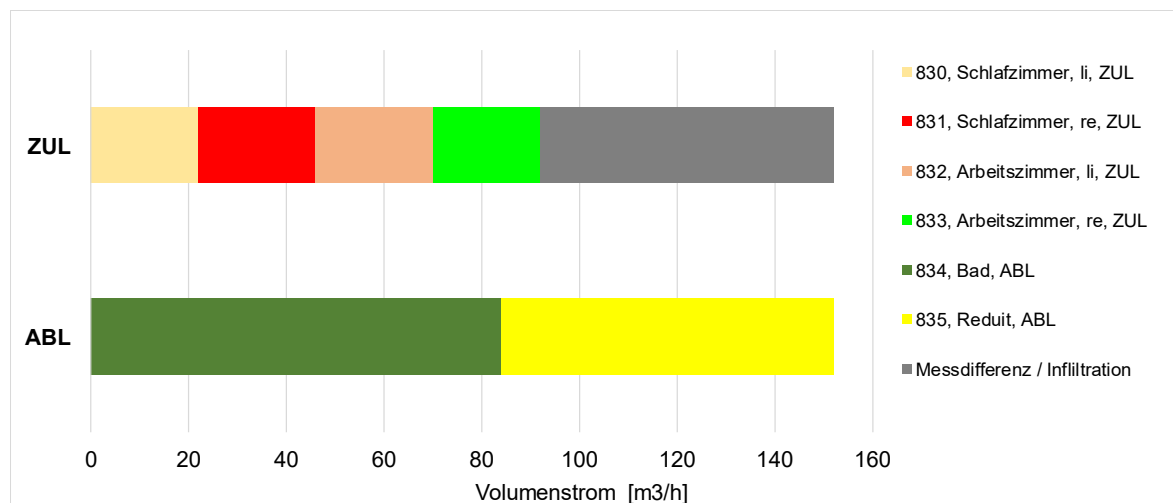


Abbildung 197: Wohnung ID 830: Luftmengenbilanz Istzustand vor der Reinigung

Auch in diesem Objekt wurde kein erheblicher Abluftüberschuss ermittelt. Die Druckmessungen zeigen einen Unterdruck vor / und nach der Reinigung von 14 Pa. Einen wesentlich höheren Unterdruck wird (bei geschlossenem Fenster) durch den Dunstabzug (Abluft) verursacht. Auf der höchsten Stufe (Stufe 3) beträgt der Unterdruck in diesem Fall 77-82 Pa.

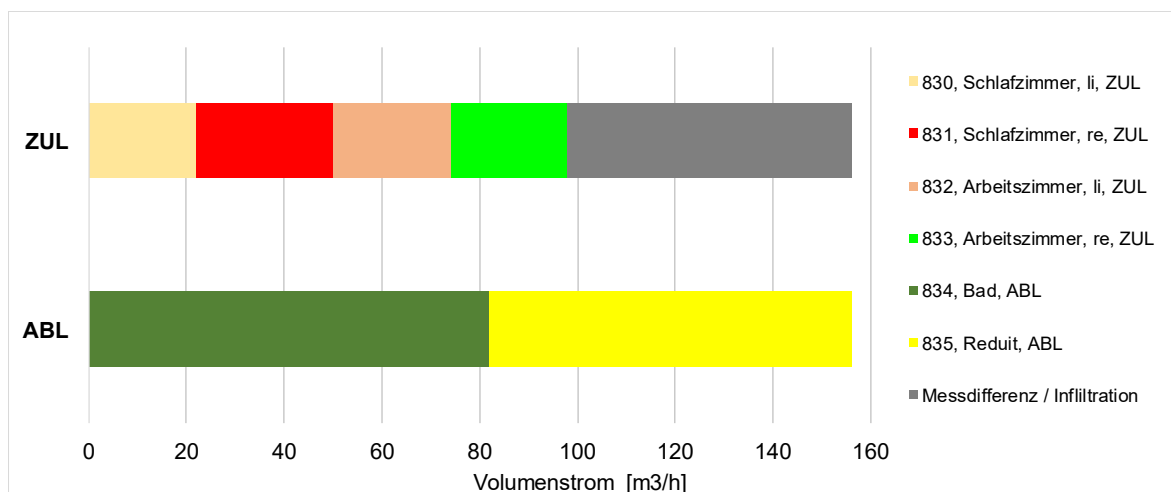


Abbildung 198: Wohnung ID 830: Luftmengenbilanz nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Bilddokumentation zu Wohnung ID-Nr.: 830:



Abbildung 199: WNG ID 830: Zuluftfilter



Abbildung 200: WNG ID 830: ZUL-Gitter von Innen



Abbildung 201: WNG ID 820: ABL-Ventil, Bad



Abbildung 202: WNG ID 820: ABL-Rohr, Bad

8.11. Objekt 9, Spiez

In diesem Altbau wurden Aussenluftdurchlässe zusammen mit Abluftventilatoren im Bad eingesetzt. Im Gebäude wurden 2 Wohnungen untersucht. Die Abluftmengen wurden in den Bädern sowie in einer Wohnung auch in der Küche gemessen. Die Zu- und Abluftmengen wurden mit dem Flow-Finder gemessen. Aufgrund der teilweise sehr geringen Zuluftmengen beinhalten die mit dem Flow-Finder gemessenen Resultate eine hohe Unsicherheit bezüglich des absoluten Messwertes [in m^3/h]. Aus dem Vergleich zwischen der Messung vor / nach der Reinigung / Filterwechsel kann aber trotzdem eine gewisse Aussage zur Wirkung des Filterwechsels gemacht werden.

Die Luftmengenmessungen erfolgte mit eingeschaltetem Licht im Bad und offenen Zimmertüren. Die Wohnungen verfügen über eine Abluft-Dunstabzugshaube. Bei eingeschalteter Haube (ohne zusätzliche Fensteröffnung) steigt im Gebäude der Unterdruck nur geringfügig an (auf max. 13 Pa), was auf wesentliche Undichtheiten der Gebäudehülle hindeutet.

In diesem Objekt wurden zudem Installationsfehler bei diversen Aussenluftdurchlässen festgestellt. Diese führen teilweise nicht über ein Wetterschutzgitter nach aussen, sondern enden hinter der Blechverkleidung der Lukarne. Dadurch ist kein relevanter Luftdurchsatz durch den ALD möglich.

8.11.1. Wohnung ID-Nr.: 910

In dieser 5.5 Zimmer Wohnung wurden alle ALD und Abluftventile untersucht und die die Luftmengenbilanz bestimmt.

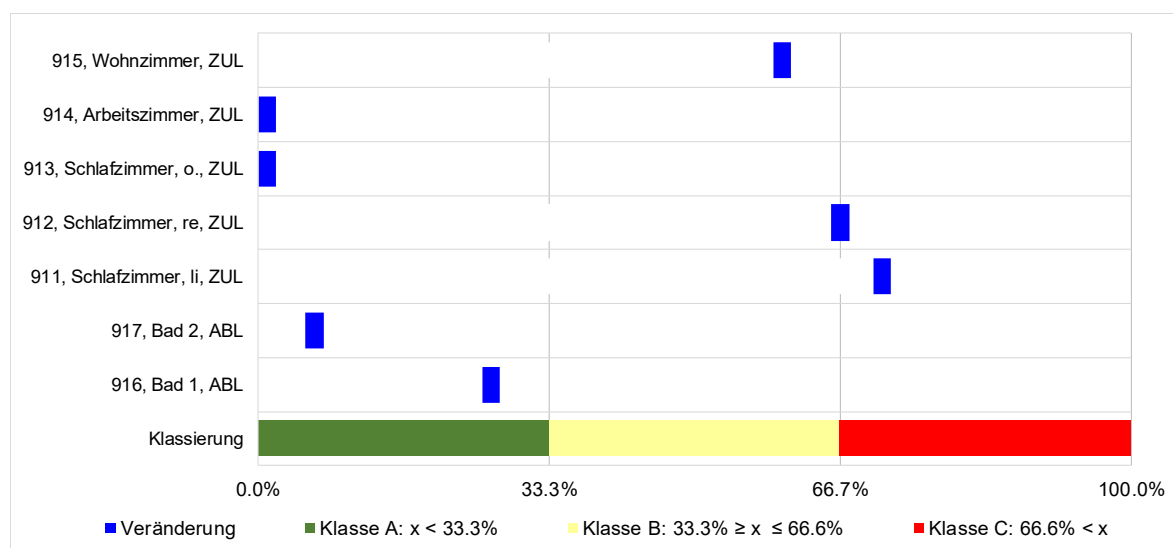


Abbildung 203: Wohnung ID 910: Veränderung der Luftmengen vor / nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Auf der Zuluftseite waren die Durchlässe 913 und 914 konstruktiv ganz (äussere Blechabdeckung) oder überwiegen (Raum 915) blockiert. Auch bei den anderen Zimmern ist der Luftdurchsatz nur minimal. Die sehr grosse Differenz zur gemessenen Abluftmenge kommt durch grosse Undichtheiten (vermutlich im Dachbereich) zustande. Dies wird durch den, trotz der grossen Disbalance, sehr geringen Unterdruck in der Wohnung (ca. 2 Pa) gestützt.

Für einen Luftvolumenstrom von $30 \text{ m}^3/\text{h}$ pro Durchlass müsste der Unterdruck im Gebäude deutlich höher sein (ca. 8 Pa). Aus diesem Grund wird der überwiegende Teil der umgewälzten Luft in diesem Gebäude durch Leckagen ins Gebäude gelangen.

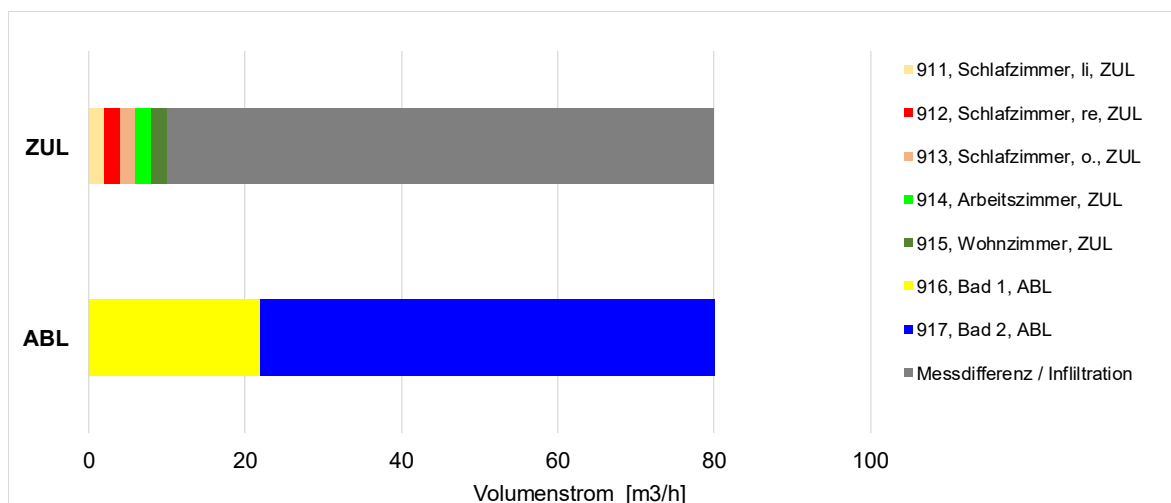


Abbildung 204: Wohnung ID 910: Luftmengenbilanz Istzustand vor der Reinigung

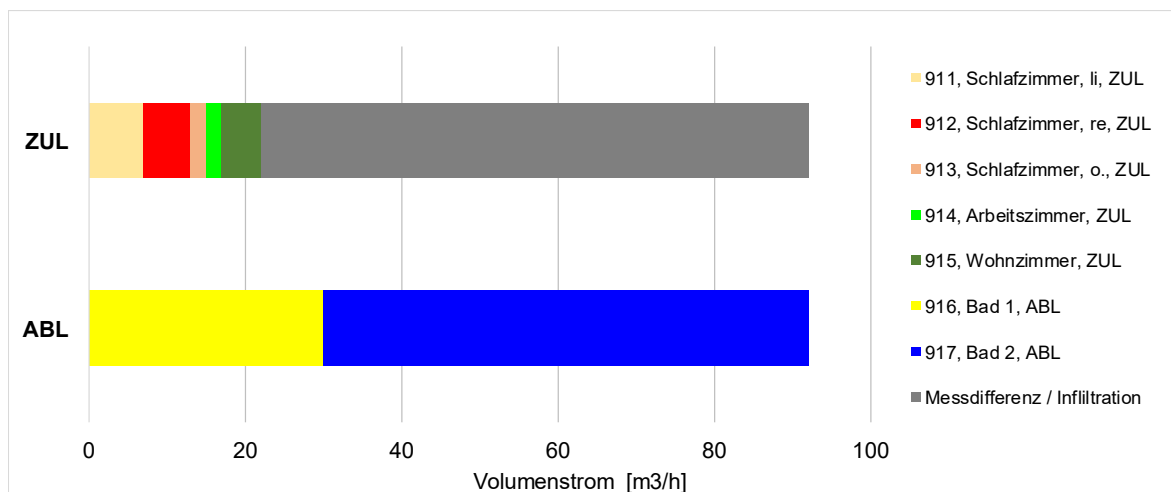


Abbildung 205: Wohnung ID 910: Luftmengenbilanz nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Bilddokumentation zu Wohnung ID-Nr.: 910:



Abbildung 206: WNG ID 910: Zuluftfilter



Abbildung 207: WNG ID 910: Zuluftfilter, Rückseite

8.11.2. Wohnung ID-Nr.: 920

In dieser 3.5 Zimmer Wohnung wurden alle ALD und Abluftventile untersucht und die die Luftmengenbilanz bestimmt.

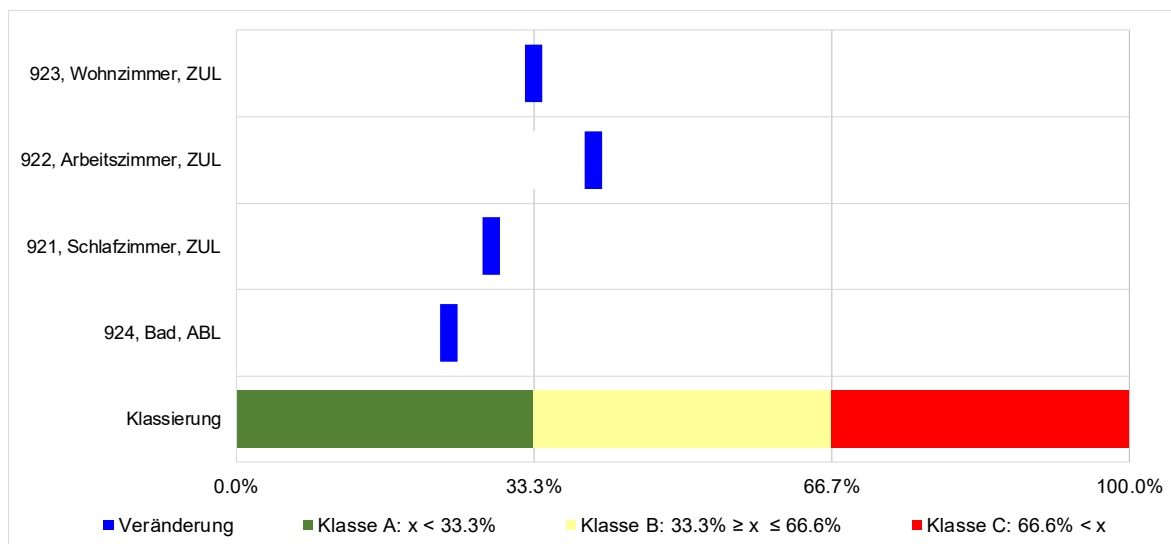


Abbildung 208: Wohnung ID 920: Veränderung der Luftmengen vor / nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Auf der Zuluftseite ist der Luftdurchsatz nur minimal, was auch hier durch den sehr tiefen Differenzdruck (2 Pa) begründet ist. Die grosse Differenz zur gemessenen Abluftmenge kommt daher auch hier von Undichtheiten (zwar geringere als in ID 910) zustande. Auch bei eingeschalteter Dunstabzugshaube (auf Stufe 3, ohne zusätzliche Fensteröffnung) steigt im Gebäude der Unterdruck nur geringfügig an (auf 13 Pa).

Für einen Luftvolumenstrom von $30 \text{ m}^3/\text{h}$ pro Durchlass müsste der Unterdruck im Gebäude deutlich höher sein (ca. 8 Pa). Aus diesem Grund wird der überwiegende Teil der umgewälzten Luft in diesem Gebäude durch Leckagen ins Gebäude gelangen.

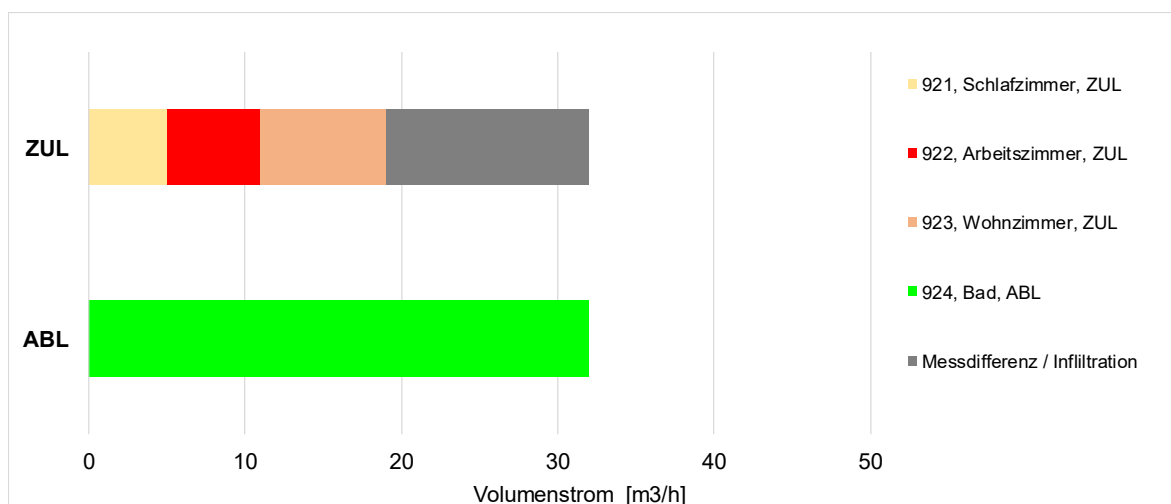


Abbildung 209: Wohnung ID 920: Luftmengenbilanz Istzustand vor der Reinigung

Horw, 12. November 2018
Seite 100/111
Bericht – Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie

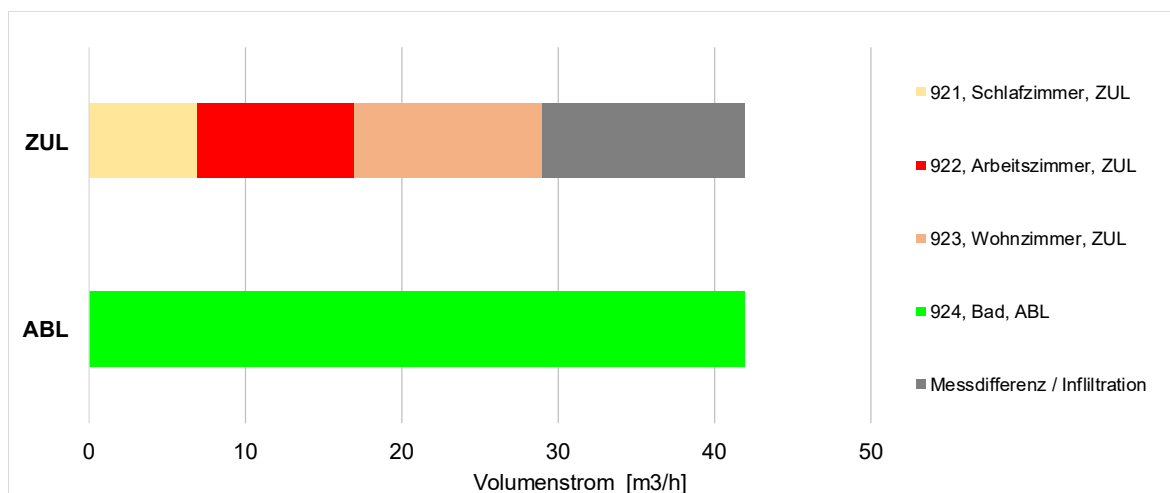


Abbildung 210: Wohnung ID 920: Luftmengenbilanz nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Bilddokumentation zu Wohnung ID-Nr.: 920:



Abbildung 211: WNG ID 920: Zuluftfilter



Abbildung 212: WNG ID 920: Zuluftfilter, Rückseite

Horw, 12. November 2018
Seite 101/111
Bericht – Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie



Abbildung 213: WNG ID 920: Zulufteintritt



Abbildung 214: WNG ID 920: Zuluftkanal



Abbildung 215: WNG ID 920: AUL-Gitter



Abbildung 216: WNG ID 920: ABL-Filter, Bad

8.12. Objekt 10, Winterthur, ID-Nr.: 1010

In diesem Altbau wurde das Einzelraumlüftungsgerät für die Belüftung eines Ausstellungsraums eingesetzt. Daher gibt die Luftmengenbilanz nur über das gemessenen Geräte Auskunft. Aufgrund der Einbausituation konnten die Messungen nicht mit dem Flow-Finder durchgeführt werden. Die Luftmengen wurden daher aus div. Einzelmessungen der Luftgeschwindigkeiten an den Ein- / Auslässen mit einem Hitzdrahtanemometer vorgenommen. Aus diesem Grund besteht eine hohe Unsicherheit bezüglich der absoluten Messwerte [in m³/h]. Aus dem Vergleich zwischen der Messung vor / nach der Reinigung / Filterwechsel kann, aufgrund der identischen Messsituation, aber trotzdem eine Aussage zur Wirkung des Filterwechsels gemacht werden.

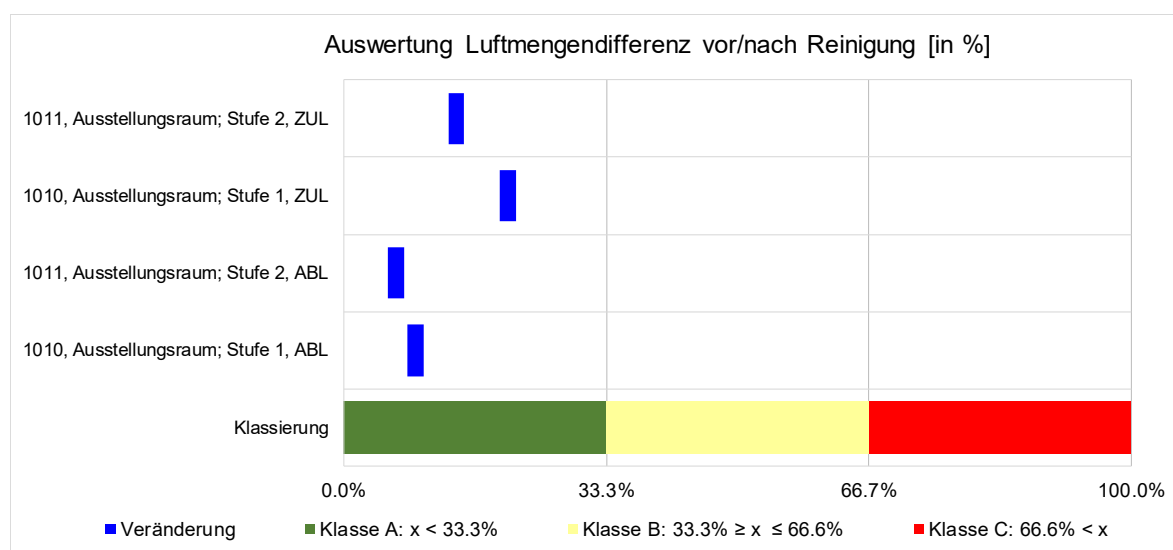


Abbildung 217: Wohnung ID 1010: Veränderung der Luftmengen vor / nach der Reinigung bzw. Filterersatz

Die Resultate zeigen eine höhere Veränderung der Luftmengen auf der Zuluftseite. Dies ist aufgrund der stärker verschmutzten Aussenluftfilter und Fliegengitter an den AUL-Einlässen nachvollziehbar. Der letzte Filterwechsel bei diesem Gerät wurde vor ca. 1 Jahr durchgeführt. Dass trotz der städtischen Lage (Partikelbelastung der Aussenluft) keine grössere Verschmutzung vorhanden ist, dürfte auf den nicht dauernden Betrieb des Geräts zurückzuführen sein.

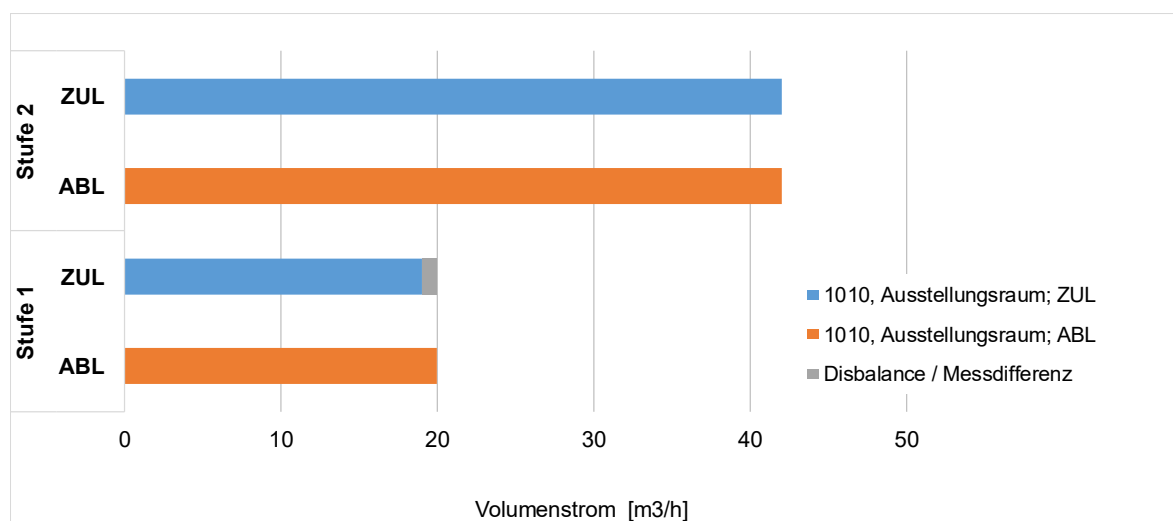


Abbildung 218: Wohnung ID 1010: Luftmengenbilanz Istzustand vor der Reinigung

Horw, 12. November 2018
Seite 103/111
Bericht – Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie

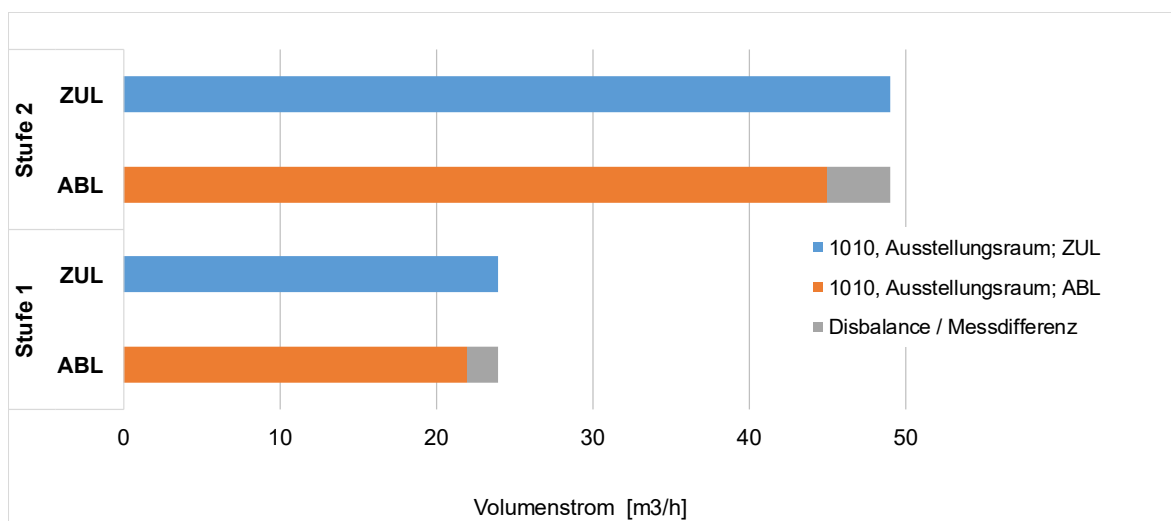


Abbildung 219: Wohnung ID 1010: Luftmengenbilanz nach der Reinigung bzw. Filterersatz



Abbildung 220: WNG ID 1010: Zuluftfilter



Abbildung 221: WNG ID 1010: Fliegengitter AUL



Abbildung 222: WNG ID 1010: Filter, ABL-Filter



Abbildung 223: WNG ID 1010: Luftführungselemente

Horw, 12. November 2018
Seite 104/111
Bericht – Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie



Abbildung 224: WNG ID 1010: Wärmetauscher



Abbildung 225: WNG ID 1010: AUL-Eintritt



Abbildung 226: WNG ID 1010: AUL-Eintrittsgitter



Abbildung 227: WNG ID 1010: FOL-Austrittsgitter

9. Anhang 2: Lüftungsgeräte mit WRG, Betrieb mit Disbalance

9.1. Grundgleichung

Das Temperatur-Verhältnis bezogen auf die Zuluftseite ist definiert als:

$$\eta_{t2} = \frac{\theta_{22} - \theta_{21}}{\theta_{11} - \theta_{21}} \quad (1)$$

wobei

θ_{11}	Ablufttemperatur, Eintritt Warmseite in die WRG
θ_{21}	Aussenlufttemperatur, Eintritt Kaltseite in die WRG
θ_{22}	Zulufttemperatur, Austritt Kaltseite aus der WRG

Der Temperatur-Änderungsgrad der WRG wird nach VDI-Wärmeatlas [5] berechnet. Für diese Betrachtung wird mit der Gleichung für Gegenstrom-Wärmeübertrager gerechnet.

$$\eta_{t2} = \frac{1 - e^{(R_2-1) \cdot NTU_2}}{1 - R_2 \cdot e^{(R_2-1) \cdot NTU_2}} \quad (2)$$

wobei

η_{t2}	Temperatur-Änderungsgrad Zuluftseite
R_2	Massenstromverhältnis Zuluftseite, gemäss Gl. 3
NTU_2	Number of Transfer Units Zuluftseite, gemäss Gl. 4

$$R_2 = \frac{q_{m2}}{q_{m1}} \quad (3)$$

wobei

q_{m1}	Massenstrom Abluft
q_{m2}	Massenstrom Zuluft

$$NTU_2 = \frac{U \cdot A}{q_{m2} \cdot c_p} \quad (4)$$

wobei

U	Wärmedurchgangskoeffizient, in W/(m ² .K)
A	Übertragungsfläche, in m ²
c_p	spezifische Wärmekapazität des Mediums, in J/(kg.K)

9.2. Gleichdruck mit zwei gleichen Geräten mit WRG

Bei diesem Fall wird davon ausgegangen, dass in einem Raum zwei gleiche Geräte (Gerät A und Gerät B) eingesetzt werden. Beim Gerät A ist der Zuluftvolumenstrom gleich gross wie der Abluft-Massenstrom beim Gerät B. Zudem ist der Abluft-Massenstrom beim Gerät A gleich gross wie der Zuluft-Massenstrom beim Gerät B. Das heisst, dass im Raum weder eine Unter- noch ein Überdruck vorhanden ist. In Abbildung 228 ist der Fall schematisch dargestellt.

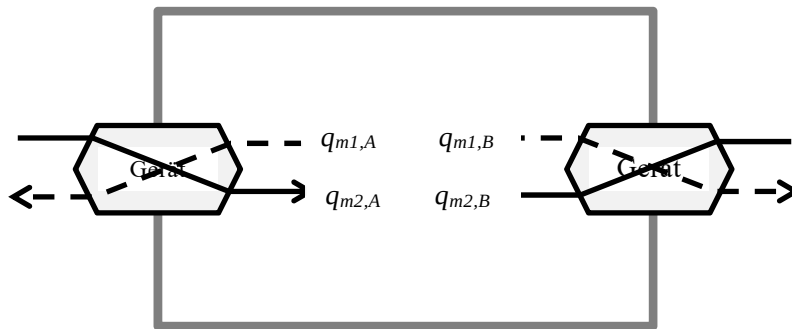


Abbildung 228: Gleichdruck mit zwei gleichen Lüftungsgeräten

$$q_{m1,A} = q_{m2,B} \quad (5)$$

$$q_{m1,B} = q_{m2,A} \quad (6)$$

wobei

$q_{m1,A}$ Abluft-Massenstrom Gerät A

$q_{m1,B}$ Abluft-Massenstrom Gerät B

$q_{m2,A}$ Zuluft-Massenstrom Gerät A

$q_{m2,B}$ Zuluft-Massenstrom Gerät B

Der Temperatur-Änderungsgrad des gesamten Systems ist:

$$\eta_{t2,sys} = \frac{q_{m2,A} \cdot \theta_{2,A} + q_{m2,B} \cdot \theta_{2,B}}{(q_{m2,A} + q_{m2,B}) \cdot (\theta_{11} - \theta_{21})} \quad (7)$$

wobei

$\eta_{t2,sys}$ Temperatur-Änderungsgrad des gesamten Systems

$q_{m2,A}$ Zuluft-Massenstrom Gerät A

$q_{m2,B}$ Zuluft-Massenstrom Gerät B

$\theta_{2,A}$ Zulufttemperatur Gerät A

$\theta_{2,B}$ Zulufttemperatur Gerät B

θ_{11} Raumtemperatur resp. Ablufttemperatur bei beiden Geräten

θ_{11} Aussenlufttemperatur

Das Massenstromverhältnis kann ausgedrückt werden mit

$$R_{2A} = \frac{q_{m2,A}}{q_{m1,A}} = \frac{q_{m2,A}}{q_{m2,B}} \quad (8)$$

Mit Gl. (1) und (7) in (8) wird der Temperatur-Änderungsgrad des gesamten Systems zu

$$\eta_{t2,sys} = \frac{R_{2,A} \cdot \theta_{2,A} + \theta_{2,B}}{(R_{2,A} + 1) \cdot (\theta_{11} - \theta_{21})} = \frac{R_{2,A}}{R_{2,A} + 1} \eta_{2,A} + \frac{1}{R_{2,A} + 1} \eta_{2,B} \quad (9)$$

Es wird angenommen, dass bei einem asymmetrischen Betrieb (d.h. Disbalance bei einem Gerät) der gesamte Massenstrom konstant bleibt:

$$q_{m2,A} + q_{m2,B} = 2 \cdot q_{m2} \quad (10)$$

wobei q_{m2} der Referenzmassenstrom ist.

Mit Gl. (8) in (10) ist

$$q_{m2,A} = \frac{2 \cdot R_{2A}}{1 + R_{2A}} \cdot q_{m2} \quad (11)$$

$$q_{m2,B} = \frac{2}{1 + R_{2A}} \cdot q_{m2} \quad (12)$$

9.3. Einzelraum-Lüftungsgerät kombiniert mit Abluft-Anlage

In Wohnungen werden Einzelraumlüftungsgeräte oft mit Abluft-Ventilatoren von Bad, Dusche und WC kombiniert. Dabei arbeiten die Einzelraumlüftungsgeräte mit Disbalance, d.h. der Zuluft-Massenstrom ist dabei höher als der Abluft-Massenstrom. Durch den Unterdruck strömt zusätzlich ein Infiltrationsmassenstrom in die Wohnung.

In Abbildung 229 ist der Fall schematisch dargestellt.

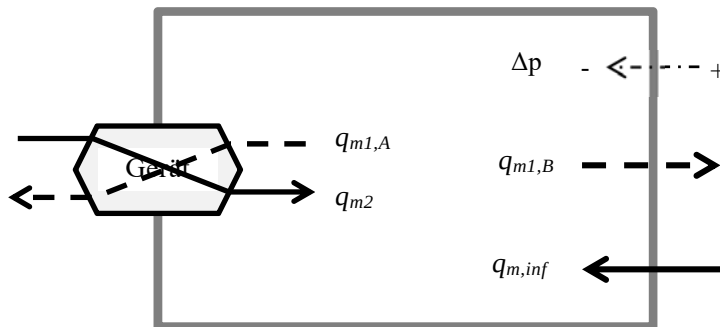


Abbildung 229: Einzelraum-Lüftungsgerät kombiniert mit Abluftanlage, inkl. Infiltration

Die Luftmengenbilanz ist

$$q_{m1,A} + q_{m1,B} = q_{m2} + q_{m,inf} \quad (13)$$

wobei

- $q_{m1,A}$ Abluft-Massenstrom Gerät A, mit WRG
- $q_{m1,B}$ Abluft-Massenstrom Gerät B, ohne WRG
- $q_{m2,A}$ Zuluft-Massenstrom Gerät A, mit WRG
- $q_{m,inf}$ Infiltrations-Massenstrom

Die Infiltration wird berechnet mit

$$q_{m,inf} = A_{inf} \cdot \frac{q_{a50}}{3600 \text{ s/h}} \cdot \left(\frac{\Delta p}{50 \text{ Pa}} \right)^n \cdot \rho \quad (14)$$

wobei

- $q_{m,inf}$ Infiltrations-Massenstrom, in kg/s
- A_{inf} Hüllfläche, in m^2
- q_{a50} Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle bei 50 Pa, in $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$
- Δp Druckdifferenz zwischen aussen und innen, in Pa
- ρ Dichte der Luft, in kg/m^3
- n Exponent, 0.65

Es wird angenommen, dass sich der vom Gerät A geförderte Massenstrom linear mit der Druckdifferenz zwischen aussen und innen verändert:

$$q_{m1,A} = q_{ref} \cdot (1 - c_1 \cdot \Delta p) \quad (15)$$

wobei

q_{m1}	Abluft-Massenstrom Gerät A, in kg/s
q_{ref}	Referenz-Massenstrom, in kg/s
c_1	Faktor für die Ventilator-Charakteristik auf der Abluftseite, in Pa ⁻¹
Δp	Druckdifferenz zwischen aussen und innen, in Pa

$$q_{m2,A} = q_{ref} \cdot (1 + c_2 \cdot \Delta p) \quad (16)$$

wobei

$q_{m2,A}$	Abluft-Massenstrom Gerät A, in kg/s
q_{ref}	Referenz-Massenstrom, in kg/s
c_2	Faktor für die Ventilator-Charakteristik auf der Zuluftseite, in Pa ⁻¹
Δp	Druckdifferenz zwischen aussen und innen, in Pa

Der Referenz-Massenstrom entspricht dem Massenstrom im Gerät A bei einem Massenstrom-Verhältnis von 1.

Bei gegebenem Abluftvolumenstrom des Geräts B stellt sich die Druckdifferenz anhand der Charakteristik des Geräts A und der Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle ein. Da Gl. (22) weder linear noch quadratisch ist eine geschlossene Lösung nicht möglich. Wenn aber eine Druckdifferenz angenommen wird, lassen sich die zugehörigen Luftmassenströme berechnen.

Der Referenz-Temperatur-Änderungsgrad beschreibt den Nutzen der WRG bezogen auf den Referenz-Massenstrom:

$$\eta_{t2,ref} = 1 - (1 - \eta_{t2}) \frac{q_{m2,A}}{q_{m,ref}} - \frac{q_{m,inf}}{q_{m,ref}} \quad (17)$$

wobei

$\eta_{t2,ref}$	Referenz-Temperatur-Änderungsgrad
$\eta_{t2,A}$	Temperatur-Änderungsgrad beim Zuluft-Massenstrom $q_{m2,A}$
$q_{m2,A}$	Zuluft-Massenstrom Gerät A
$q_{m,ref}$	Referenz-Massenstrom

9.4. Vereisung der WRG

Für diese Betrachtung werden folgende Annahmen getroffen:

- WRG ohne Feuchteübertragung
- Der Taupunkt der Abluft liegt über 0 °C

Bei diesen Bedingungen beginnt die WRG auf der Abluftseite zu vereisen, wenn die Plattentemperatur auf der Kaltseite unter 0 °C sinkt.

In Anlehnung an [7] und [8], Kap. 7.5 wird die Vereisungsgrenze wie folgt berechnet:

$$\theta_{frost} = - \frac{\Delta\theta_{fan,ex} + \theta_{11} \left(1 - \eta_2 \cdot \frac{q_{m2}}{q_{m1}} + 0.03 \right)}{\left(1 + \eta_2 \cdot \frac{q_{m2}}{q_{m1}} - 0.03 \right)} \quad (18)$$

wobei

Horw, 12. November 2018
Seite 109/111
Bericht – Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie

θ_{frost}	Vereisungsgrenze, in °C
$\Delta\theta_{fan,ex}$	Temperaturzunahme durch den Abluftventilator, in °C
θ_{11}	Ablufttemperatur, in °C
η_2	Temperatur-Änderungsgrad bezogen auf Zuluftseite
q_{m1}	Massenstrom Abluft
q_{m2}	Massenstrom Zuluft
0.03	Korrektur für den Einfluss des Wärmeflusses durch das Gerätegehäuse und Leckagen

Für die folgenden Berechnungen wird angenommen, dass die Temperaturzunahme durch den Abluftventilator 0.3 K beträgt und die Ablufttemperatur bei 21 °C liegt.

10. Anhang 3: Antworten Gerätelieferant A

Fragen gestellt durch Hochschule Luzern (normale Schrift).

Originaltext der Antworten von Gerätelieferant A (kursiv)

«Im Rahmen eines Projekts führen wir Abklärungen zum Kondensatanfall und zur Vereisung resp. zum Vereisungsschutz bei Einzelraumlüftungsgeräten durch.

Wir bitten Sie daher uns bis zum 13.07.2018 folgende Fragen zu Ihren Produkten (nur Einzelraumlüftungsgeräte) beantworten:

1. Kondensat:

a) Bei welcher Aussentemperatur fällt Kondensat an, wenn die Ablufttemperatur 20°C beträgt und die relative Raumluftfeuchte bei 30 % liegt?

Bei den gegebenen Innenraumbedingungen liegt der Taupunkt bei ca. 2°C. Wenn man davon ausgeht, dass wir bei Vref einen WRG von 52 % haben, würde der Taupunkt theoretisch erst bei -17°C im Wärmetauscher unterschritten. Tatsache ist allerdings, dass es Bereiche gibt bei denen der Taupunkt bereits bei höheren Aussentemperaturen als -17°C unterschritten wird. D.h. hier kann es bereits früher zu einer Kondensation kommen, wozu als Geräteoption ein Vereisungsschutz möglich ist (siehe 2a). Erfahrungsgemäß fällt bei einem Betrieb unter jahreszeittypischen Innenraumluftfeuchten kein Kondensat im Gerät an. Dies wurde durch Messungen bestätigt, die zeigten, dass im zulässigen Betriebsbereich beispielsweise bei einer Ablufttemperatur von 20°C und einer relativen Innenraumluftfeuchte von 30 % (Winterfall) kein Kondensat anfällt.

b) Was passiert im Gerät/ mit dem Gerät wenn Kondensat anfällt? (Überlauf in der Wohnung/an der Aussenfassade? Sensor, der das Gerät automatisch ausschaltet?)

Das Gerät ist gegenüber wenig anfallendem Kondensat sehr robust. Es bleibt in den Kanäle stehen und trocknet bei ansteigenden Temperaturen sehr rasch wieder weg. Sollte massiv Kondensat anfallen, sucht sich dieses den Weg meist in den Innenraum. Wie unten (siehe 2a) erwähnt, ist dies nur sehr selten der Fall gewesen. Um hier 100 %igen Schutz zu bieten und konform der VDI Richtlinie 6022 zu sein, ist ein optionaler Kondensatablauf bei ausgewählten Geräteversionen erhältlich. Wir haben bisher wenige Reklamationen bei denen es zu einem Kondensatanfall kam. Meist konnte dies auf eine mangelhafte Einbausituation zurückgeführt werden (bspw. muss beim Laibungseinbau zwingend eine laibungsseitige Putzträgerplatte auf das Innengehäuse aufgebracht werden, oder ... eine Dämmung verwendet werden).

2. Vereisung resp. Vereisungsschutz

a) Wie wird das Gerät, resp. die WRG vor Vereisung geschützt? (z.B. elektrische Vorwärmung; Abschalten des Zuluftventilators)

Als Geräteoption kann das Gerät regelungstechnisch geschützt werden. Bei Aussentemperaturen kleiner -5°C wird die Zuluft automatisch auf Stufe 1 reduziert. Bei Aussentemperaturen kleiner -10°C wird die Zuluft komplett abgeschaltet.

b) Wie und wann wird die Vereisungsschutzfunktion aktiviert? (z.B. nach Aussentemperatur bei -2°C, mit Drucküberwachung)

Der Aussentempersensor sitzt im Gerät und durch einen experimentell ermittelten Offsets auf Aussentemperatur korrigiert.

Horw, 12. November 2018
Seite 111/111
Bericht – Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie

11. Anhang 4: Abkürzungen

Abkürzung	Beschreibung
ABL	Abluft
ALD	Aussenluft-Durchlass
AUL	Aussenluft
FOL	Fortluft
WRG	Wärmerückgewinnung
WNG	Wohnung
ZUL	Zuluft