

Schlussbericht

Horw, 26. Juli 2012
Seite 1/7

Hygienezustand von Raumluftechnischen Anlagen in der Schweiz

Impressum

Projektkonsortium

Hochschule Luzern – Technik & Architektur
Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (Suva)
Staatssekretariat für Wirtschaft (SECO)
Bundesamt für Gesundheit (BAG)
Amt für Umwelt und Energie des Kantons Basel-Stadt
(AUE)
ProKlima
Gruppe der Schweizerischen Gebäudetechnik-Industrie
(GSGI)
Schweizerischer Verein von Gebäudetechnik-Ingenieuren
(SWKI)
Unifil AG

Inspektions-Partnerfirmen (alphabetisch)

Bau- und Umweltchemie AG
Ganz Klima GmbH (Koordinator)
Kunz Beratungen GmbH

Auftragnehmer

Hochschule Luzern
Technik & Architektur
Zentrum für Integrale Gebäudetechnik ZIG
Technikumstrasse 21
CH-6048 Horw

Projektleiter

Benoit Sicre (ab 2009)
Dominique Helfenfinger (2008-2009)
David Burkhardt (2006-2008)
Heinrich Huber (2006)

Autoren

Teilprojekte 1 und 2
Teilprojekt 3
Teilprojekt 4

Roland Ganz
Benoit Sicre et al.
Andreas Nägeli

Ganz Klima GmbH
HSLU – T&A
Unifil AG

Fachbeirat/Lektorat

Teilprojekte 1 und 2
(alphabetisch)

David Burkhardt
Roland Ganz
Kurt Hildebrand
Benno Zurfluh

Verteiler

öffentlich

Datum

26. Juli 2012

Projekt-Nr.

112 99 01

Dateiname

d_20120726_Hygiene_Schlussbericht_Sib.doc

Horw, 26. Juli 2012

Seite 3/7

Hygienezustand von Raumluftechnischen Anlagen in der Schweiz – Schlussbericht

Dieser Bericht umfasst 181 Seiten und darf ohne die schriftliche Genehmigung der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nur in ungekürzter Form vervielfältigt werden.

Zwecks besserer Lesbarkeit der Graphiken sollte dieser Bericht auf Papier farbig gedruckt werden.

Horw, 26. Juli 2012

Seite 4/7

Hygienezustand von Raumluftechnischen Anlagen in der Schweiz – Schlussbericht

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	5
2. Allgemeine Projektziele	6
3. Allgemeine Vorgehensweise	6
4. Teilprojekt 1/2 Hygieneinspektion, Befragung der Betreiber, Luftqualität	8
5. Teilprojekt 3 Energetische Untersuchungen	127
6. Teilprojekt 4 Beurteilung der Luftfilterqualität.....	170

1. Einleitung

Im komplexen Gebilde Gebäude und Gebäudetechnik erhält die Raumluftechnische Anlage (RLT-Anlage) die Aufgabe, mittels Aussenluftbeimischung und Abtransport der belasteten Abluft den Raum mit gesundheitlich zuträglicher Luft zu versorgen und die Konzentration von Luftverunreinigungen im Raum zu verringern. Dies setzt voraus, dass die Qualität der Aussenluft durch die RLT-Anlage hinsichtlich physikalischer, luftchemischer und mikrobiologischer Eigenschaften nicht gemindert wird. Zwecks Behaglichkeit ist es zudem in vielen Fällen auch Aufgabe der RLT-Anlage, die Temperatur und mancherorts die Feuchte der Zuluft auf einem bestimmten Niveau zu halten. Aus energetischen Gründen soll ausserdem die Wärme der Abluft auf die Zuluft in der RLT-Anlage übertragen werden. Alle diese Anforderungen führen dazu, dass RLT-Anlagen ein komplexes System darstellen, welches eine detaillierte Planung, eine sorgfältige Errichtung und Inbetriebnahme sowie einen akkuraten Instandhaltungsplan erfordert. Das in der Schweiz anerkannte Regelwerk, das Grundregeln zu diesen Aspekten bündelt, ist die SWKI-Richtlinie VA104, die im Jahr 2004 zum ersten Mal als SWKI 2003-5 veröffentlicht wurde.

Im Rahmen eines breit abgestützten Verbundprojektes um die Hochschule Luzern – Technik & Architektur im Bereich der anwendungsorientierten Forschung & Entwicklung wurde zwischen 2007 und 2010 der Hygienezustand von rund 130 Raumluftechnischen Anlagen in der Schweiz erhoben. Darunter wurden 100 Anlagen eingehend bewertet. Die Zustandserfassung an einem breiten Spektrum von Anlagentypen erfolgte nach den SWKI-Richtlinien VA104-01 und -02, die textgleich von den deutschen VDI-Richtlinien 6022 Blatt 1 und 2 (Ausgabe 2006 und 2007), übernommen wurden.

Neben den standardisierten Hygieneinspektionen wurden zudem die Anlagenbetreiber zum Thema der Lufthygiene, der Wartung und Instandsetzung befragt. Zusätzliche Untersuchungen, wie die Qualität der eingesetzten Luftfilter, die Qualität der Zuluft im Vergleich mit der Aussenluft und energetische Aspekte sollten Problemursachen und Auswirkungen von hygienetechnischen Massnahmen bei Raumluftechnischen Anlagen aufzeigen.

2. Allgemeine Projektziele

Unter Fachleuten für Lüftungstechnik und Innenraumklima besteht die Vermutung, dass in der Schweiz ein Nachholbedarf bei der Hygiene von RLT-Anlagen besteht. Im vorliegenden Projekt wurden Thesen und postulierte Ansichten verifiziert bzw. falsifiziert. Eine Feldarbeit unter der Leitung der Hochschule Luzern – Technik & Architektur wurde mit folgenden Zielsetzungen durchgeführt:

- Ein Bild des hygienischen Zustands der Schweizerischen RLT-Anlagen basierend auf neutralen Untersuchungen zu gewinnen.
- Die Motivation der Anlagenbetreiber für die Thematik der Lufthygiene und der Instandhaltung zu beschreiben.
- Eine mögliche Korrelation zwischen dem Hygienezustand von RLT-Anlagen und der Qualität der von ihnen geförderten Zuluft zu untersuchen.
- Den Einfluss der vorhandenen Luftfilter auf den Hygienezustand von RLT-Anlagen und auf die Qualität der Zuluft zu untersuchen.

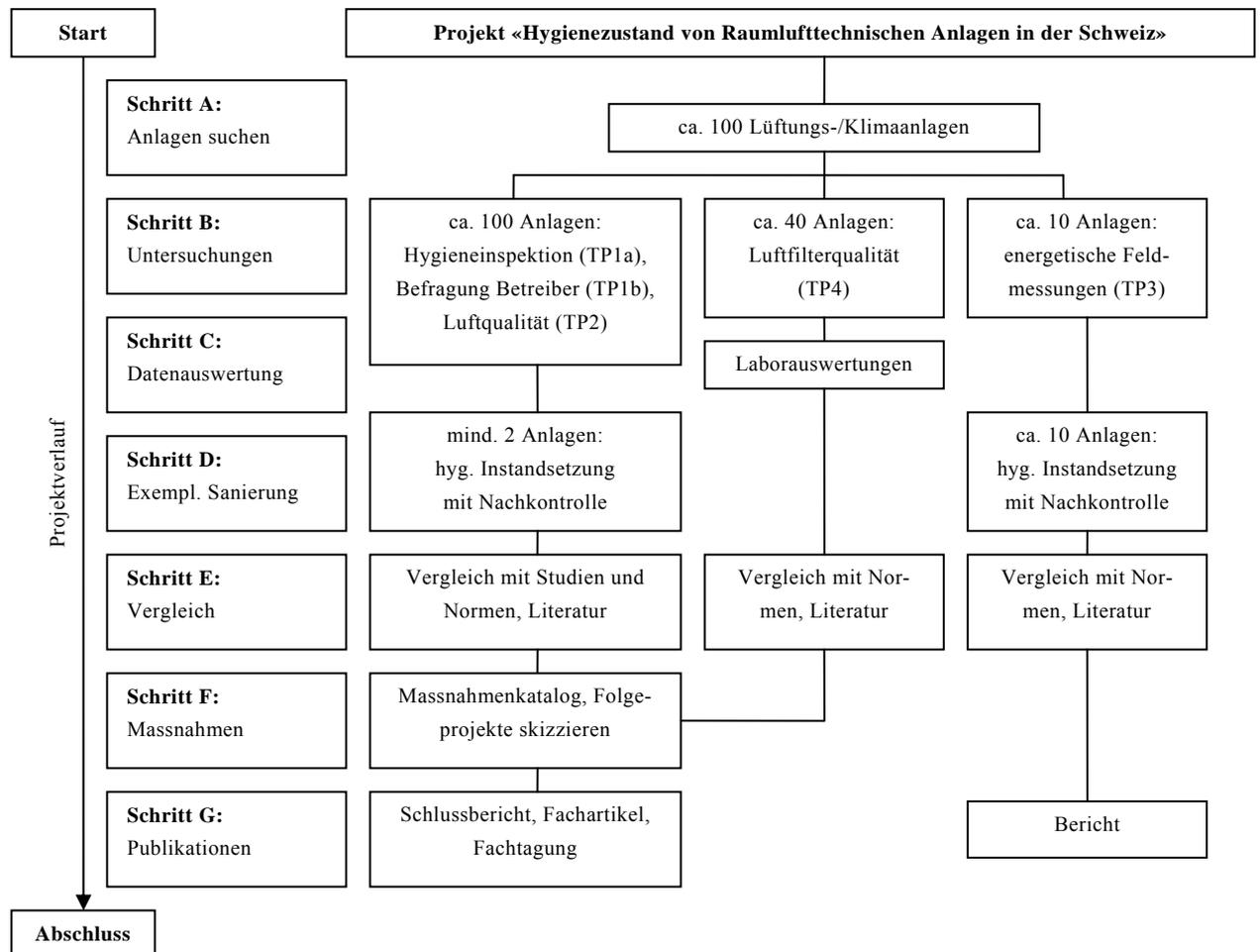
Für die Beantwortung dieser Projektziele wurden folgende Teilprojekte definiert:

- Teilprojekt 1 (TP1):
1a) Hygieneinspektionen; 1b) Befragungen der Betreiber
- Teilprojekt 2 (TP2):
Untersuchung der Luftqualität
- Teilprojekt 3 (TP3):
Energetische Untersuchungen
- Teilprojekt 4 (TP4):
Beurteilung der Luftfilterqualität

3. Allgemeine Vorgehensweise

Die Grundlage für das Projekt bildete die Akquisition der rund 100 Anlagen, die vorab einer Eignungsprüfung unterzogen wurden (Schritt A). Nach den Untersuchungen an der Anlage wurden die Daten zentral erfasst und die Messergebnisse ausgewertet (Schritte B und C). Den Anlagenbetreibern wurde eine anonyme Behandlung der Objektdaten zugesichert, so dass keine projektspezifischen Informationen an Dritte weiter fließen konnten.

Wurden grobe Mängel an den Anlagen festgestellt und entschied sich der Anlagebetreiber für eine Behebung dieser Mängel, wurden die notwendigen Instandsetzungsarbeiten und deren Auswirkungen in dem Inspektionsbericht dokumentiert (Schritt D). Der in dieser Studie erhobene Hygienezustand der Anlagen wurde mit dem aktuellen Stand der Technik verglichen (Schritt E) und wissenschaftliche Grundlagen für behördliche Vorgaben und Massnahmen geschaffen (Schritt F), welche in einem Schlussbericht dokumentiert und in Publikationen sowie auf Tagungen der Öffentlichkeit nach Projektschluss kommuniziert werden (Schritt G).



Dank

Die Projektpartner danken allen Personen und Firmen für ihre Bereitschaft, dieses Projekt zu unterstützen. Sie haben ihre RLT-Anlage zur Verfügung gestellt und die Kosten für die Hygieneinspektion getragen. Die Autoren bedanken sich bei dem Fachbeirat für die Beratung und Unterstützung und bei den Inspektions-Partnerfirmen für ihr Engagement. Ausserdem gilt ein besonderer Dank den Mitgliedern des Projektkonsortiums für ihre Mitarbeit im Beirat und für ihre finanzielle Unterstützung.

Ganz Klima GmbH

Werkstr. 4, Postfach 339, CH-8630 Rüti ZH
T +41 (0)55 260 23 80, F +41 (0)55 260 23 81
Mobile +41 (0)76 54 54 188
ganz@ganzklima.ch
www.ganzklima.ch
PC 90-162000-5 MWST-Nr.586 406

GANZ KLIMA

Raumluft
Beratung
Messung
Begleitung

Bericht Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 1/2

Nr. 03-12-0007

Aussteldatum 12. März 2012

Projektbezeichnung Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz

Adressat Hochschule Luzern – Technik & Architektur; Benoît Sicre;
Technikumstrasse 21; CH-6048 Horw

Auftraggeber

Lucerne University of
Applied Sciences and Arts

**HOCHSCHULE
LUZERN**

Technik & Architektur

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	7
2. Ausgangslage	9
3. Aufgabe	10
3.1. Einleitung	10
3.2. Wie ist der Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz?	10
3.2.1. Status quo	10
3.2.2. Schutz von Personen (Arbeitsplatz und Wohnbereich)	10
3.2.3. Vergleich mit Ausland	10
3.3. Wie organisiert der Anlagenbetreiber die Instandhaltung?	10
3.3.1. Kenntnis über Hygienezustand	10
3.3.2. Persönliche Einstellung	11
3.3.3. Instandhaltung	11
3.4. Gibt es Korrelationen zwischen Hygienezustand, Anlagentyp und Instandhaltung?	11
3.4.1. Gibt es Unterschiede zwischen RLT-Anlagen von Wohn- und Nichtwohngebäuden?	11
3.4.2. Hat der Luftfilter einen Einfluss auf die Anlagenhygiene?	11
3.4.3. Hat der Hygienezustand Einfluss auf die Luftkeimkonzentration?	11
3.4.4. Hat das Anlagenalter einen Einfluss auf den Hygienezustand?	12
3.4.5. Beeinflussen die Filterwechselintervalle den Hygienezustand?	12
3.4.6. Welche Parameter sind für die Nichterfüllung des Schutzziels verantwortlich?	12
3.5. Welches sind die effektivsten Hygienemassnahmen?	12
3.6. Besteht Handlungsbedarf?	12
4. Vorgehen	13
4.1. Anlagenakquisition	13
4.1.1. Methodik	13
4.1.2. Geografische Lage	14
4.1.3. Gebäudeklassen	14
4.1.4. Anlagenalter	15
4.1.5. Anlagengrösse	15
4.1.6. RLT-Komponenten	15

4.2. Hygieneinspektionen	16
4.2.1. SWKI VA104-01	16
4.2.2. Abstimmung der Inspektionsfirmen	16
4.2.3. Oberflächenmessungen	16
4.2.4. Wasseranalysen	17
4.2.5. Luftkeimmessungen	17
4.2.6. Technisch-optische Beurteilung	17
4.3. Fragebogen	18
4.3.1. Fragenkatalog	18
4.3.2. Befragungen	18
4.4. Datenaufbereitung	18
5. Resultate	19
5.1. Untersuchte Anlagen	19
5.1.1. Regionen	19
5.1.2. Gebäude	19
5.1.3. Baujahr	20
5.1.4. Anlagentypen und -grösse	20
5.2. Technisch-optische Beurteilung	23
5.3. Mikrobiologische Beurteilung	24
5.3.1. Oberflächenkeime	24
5.3.2. Wasseranalysen	25
5.3.3. Luftkeime	25
5.4. Fragebogen	26
5.4.1. Allgemeines	26
5.4.2. Zweck der RLT-Anlage (Frage 1.1)	26
5.4.3. Hygienezustand der eigenen Anlage (Frage 1.2 und 1.3)	26
5.4.4. Motivation zur Unterstützung des Projekts (Frage 1.4)	26
5.4.5. Stellenwert der Anlagenhygiene (Frage 1.5)	27
5.4.6. Instandhaltung (Fragen 2.1 bis 2.8)	27
6. Interpretation	29
6.1. Status quo	29
6.1.1. Übersicht	29
6.1.2. Oberflächenproben	32
6.1.3. T/O-Beurteilung	34
6.2. Schutz von Personen (Arbeitsplatz und Wohnbereich)	40
6.2.1. Gesamtkeimzahl	40
6.2.2. Bakterien	40

6.2.3.	Schimmelpilze	41
6.3.	Vergleich mit anderen Ländern	42
6.4.	Einfluss Wohn-/Nichtwohngebäude	47
6.4.1.	T/O-Beurteilung	47
6.4.2.	Oberflächenkeime	49
6.4.3.	Luftkeime	50
6.4.4.	Filterklasse	51
6.4.5.	Instandhaltung	52
6.5.	Einfluss Luftfilter	54
6.5.1.	T/O-Beurteilung	54
6.5.2.	Oberflächenkeime	55
6.5.3.	Luftkeime	58
6.6.	Einfluss fraktionaler Wirkungsgrad (Partikel)	59
6.6.1.	Messwerte	59
6.6.2.	T/O-Beurteilung	60
6.6.3.	Oberflächenkeime	61
6.6.4.	Luftkeime	62
6.7.	Einfluss Luftkeimverhältnis	64
6.7.1.	T/O-Beurteilung	64
6.7.2.	Oberflächenkeime	66
6.8.	Einfluss Anlagenalter	66
6.8.1.	T/O-Beurteilung	66
6.8.2.	Oberflächenkeime	68
6.8.3.	Luftkeime	70
6.9.	Einfluss letzte Wartung	71
6.9.1.	T/O-Beurteilung	71
6.9.2.	Oberflächenkeime	72
6.9.3.	Luftkeime	74
6.10.	Einfluss Instandhaltung	74
6.10.1.	T/O-Beurteilung	75
6.10.2.	Oberflächenkeime	78
6.11.	Technische Details	79
6.11.1.	Technische Lebensdauer	79
6.11.2.	Anlagen ohne WRG	80
6.11.3.	Filterklassen	82
6.11.4.	Tupferproben	84
7.	Schlussfolgerungen	86
7.1.	Wie ist der Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz?	86

7.1.1.	Status quo	86
7.1.2.	Schutz von Personen	87
7.1.3.	Vergleich mit Ausland	87
7.2.	Wie organisiert der Anlagenbetreiber die Instandhaltung?	88
7.3.	Gibt es Korrelationen?	88
7.3.1.	Unterschiede Wohn-/Nichtwohngebäude	88
7.3.2.	Einfluss Luftfilterstufe	89
7.3.3.	Einfluss Abscheidegrad	90
7.3.4.	Einfluss Luftkeimverhältnis	91
7.3.5.	Einfluss Anlagenalter	92
7.3.6.	Einfluss letzte Wartung	93
7.3.7.	Einfluss Instandhaltung	94
7.4.	Welches sind die effektivsten Hygienemassnahmen?	95
7.5.	Besteht Handlungsbedarf?	95
7.5.1.	Zugänglichkeit	95
7.5.2.	Filterklasse	95
7.5.3.	Technische Lebensdauer	95
7.5.4.	Richtlinie SWKI VA104-01	96
7.5.5.	Schutzziel	96
7.5.6.	Tupferproben	96
8.	Anhang	97
8.1.	Material und Methoden	97
8.1.1.	Abklatschproben	97
8.1.2.	Tupferproben	97
8.1.3.	Wasseranalyse	98
8.1.4.	Luftkeimmessungen	98
8.2.	Referenzen	99
8.3.	Glossar	100
8.4.	Schemata der untersuchten RLT-Anlagen	101
8.5.	Fragebogen	113
8.6.	Abbildungsverzeichnis	115
8.7.	Tabellenverzeichnis	118

1. Zusammenfassung

Seit 2004 ist mit Erscheinen der Richtlinie SWKI 2003-5 „Hygieneanforderungen an Raumluftechnische Anlagen“, die inhaltlich der damals gültigen VDI 6022 Blatt 1-3 entsprach, ein Hygienestandard für Planung, Realisierung, Betrieb und Instandhaltung von RLT-Anlagen in der Schweiz vorhanden. Eine überarbeitete Version der VDI 6022 Blatt 1 wurde 2006 erneut übernommen und unter dem Titel SWKI VA104-01 „Hygieneanforderungen an Raumluftechnische Anlagen und Geräte“ herausgegeben. 2007 folgte die Übernahme der VDI 6022 Blatt 2 als SWKI VA104-02, welche sich mit den Messverfahren auseinandersetzt.

Hat sich die Einführung der Richtlinien auf den Hygienestatus von RLT-Anlagen ausgewirkt? Diese Frage kann kaum beantwortet werden, da Daten über den Hygienestatus schweizerischer RLT-Anlagen bislang fehlen. Aus diesem Grund wurde dieses Projekt lanciert, mit dem Ziel, eine umfassende Bestandsaufnahme des Hygienestatus von RLT-Anlagen in der Schweiz zu erhalten. Neben der Ermittlung des Status quo sollte auch geklärt werden, wie die Instandhaltung organisiert wird und welche Korrelationen zwischen dem Hygienestatus und Grössen wie Zuluftqualität, Komponenten, Filterstufen etc. bestehen.

Dazu wurden insgesamt 137 RLT-Anlagen in der ganzen Schweiz einer erweiterten Hygieneinspektion gemäss der Richtlinie SWKI VA104-01 unterzogen und zusätzlich die Anlagenbetreiber befragt. Von diesem Datenpool wurden 100 Anlagen nach verschiedenen Kriterien wie Gebäudeklasse, Region, Anlagentyp etc. ausgewählt und systematisch ausgewertet.

Die Resultate zeigen, dass in 94 % der untersuchten RLT-Anlagen das in der Richtlinie formulierte Schutzziel, nämlich keine Verschlechterung der Zuluft im Vergleich zur Aussen- bzw. Vergleichsluft, erreicht wird. Aufgrund der tiefen Keimkonzentrationen in der Zuluft ist auch bei den restlichen 6 % der Schutz von Personen gewährleistet. Trotzdem zeigen die Daten Schwachstellen auf. 19 % aller hygienerelevanten Komponenten sind nicht zugänglich oder einsehbar. Bei etwa 1/3 der Anlagen werden bei mehr als der Hälfte der Komponenten Hygienemängel beanstandet. Dabei handelt es sich hauptsächlich um Verschmutzung oder Korrosion und um konstruktive Mängel. In 19 % der Anlagen wird mehr als die Hälfte der analysierten Oberflächen als unzureichend beurteilt. Mehr als die Hälfte der RLT-Anlagen verfügen über keine mit SWKI VA104-01 konforme Filterstufen und nur 17 Anlagenbetreiber wenden die Hygienerichtlinie SWKI VA104-01 für die Instandhaltung an. Zwischen dem Hygienestatus und der eingesetzten Filterklasse wird ein klarer Zusammenhang nachgewiesen: Werden mit SWKI VA104-01 konforme Filter eingesetzt, werden die Anlagen tech-

nisch/optisch besser beurteilt, die Zugänglichkeit der Komponenten ist besser und die Oberflächen weisen geringere Keimzahlen auf.

Aufgrund der Resultate kann abgeleitet werden, dass der Einsatz von Filterklassen gemäss SWKI VA104-01 die einfachste und effektivste Massnahme zur Verbesserung des Hygienezustands von RLT-Anlagen darstellt. Zudem sollte die Zugänglichkeit von hygienelevanten Komponenten jederzeit gewährleistet sein. Hier besteht ebenso Handlungsbedarf wie bei der Verbreitung der Hygienerichtlinie SWKI VA104-01.

2. Ausgangslage

2004 übernahm der Schweizerische Verein von Wärme- und Klima-Ingenieuren (SWKI) die deutsche Hygienerichtlinie VDI 6022 [SWKI 2003-5]. Damit wurde in der Schweiz erstmals ein allgemein anerkannter Standard bezüglich des Hygienezustands von RLT-Anlagen eingeführt. Wie steht es mehr als 5 Jahre nach deren Einführung um die Hygiene raumluftechnischer Anlagen und Geräte in der Schweiz?

Bereits vor Erscheinen der SWKI-Richtlinie wurden zwei Studien publiziert, die unter anderem auf den Hygienezustand von RLT-Anlagen eingingen. Darin wurden technische Mängel bezüglich der Standortwahl von Luftansaugung und Fortluftdurchlass sowie der Platzierung von RLT-Anlage und Luftverteilkasten festgestellt. Auch die Zugänglichkeit von Luftleitungen wurde bemängelt [Basler&Hofmann, 2003]. In der Zuluft wurden im Vergleich zur Aussenluft stets tiefe Luftkeimkonzentrationen nachgewiesen [Basler&Hofmann, 2003; Flückiger, 1997]. Trotzdem konnte eine Korrelation zwischen Filterqualität und Schimmelpilzsporen in der Zuluft festgestellt werden [Flückiger, 1997]. Weitergehende Untersuchungen bezüglich des Hygienezustands von RLT-Anlagen in der Schweiz fehlen bislang.

Die tiefen Luftkeimkonzentrationen stehen im Widerspruch zu den Ergebnissen von grossen Studien zum Sick Building Syndrome (SBS) [z.B. Proklima, 2003]. Dass RLT-Anlagen einen Einfluss auf das Wohlbefinden der Nutzer/innen haben können, zeigen fast alle in dieser Richtung durchgeführten Studien. Im Vergleich zu natürlich belüfteten Räumen wird in klimatisierten Gebäuden eine statistisch relevante Erhöhung einzelner SBS-Symptome festgestellt. Die Gründe hierfür sind allerdings unklar [Seppänen, 2002]. Eine weitere Studie konnte einen Zusammenhang zwischen gebrauchten Filtern und SBS-Symptomen einerseits und herabgesetzter Arbeitsperformance andererseits nachweisen [Wargocki, 2004].

Das Thema Lüftungshygiene ist offensichtlich wichtig, auch wenn die Zusammenhänge zwischen Wohlbefinden und Hygienezustand unklar sind. In der vorliegenden Arbeit geht es um eine möglichst umfassende Bestandsaufnahme (status quo) des Hygienezustands von RLT-Anlagen in der Schweiz. Daraus werden Korrelationen abgeleitet mit dem Ziel, potentielle Handlungsfelder aufzudecken. Die Frage, ob sich der hygienische Zustand einer RLT-Anlage auf das Wohlbefinden der Nutzer/innen auswirkt, ist dagegen nicht Bestandteil dieser Arbeit.

3. Aufgabe

3.1. Einleitung

Bei Fachleuten für Lüftungstechnik und Innenraumklima besteht die Vermutung, dass in der Schweiz ein Nachholbedarf bei der Hygiene von Raumlufttechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) besteht. Im vorliegenden Projekt sollen die Thesen und postulierten Ansichten verifiziert bzw. falsifiziert werden. Dazu soll in einer Feldarbeit unter der Leitung der Hochschule Luzern – Technik & Architektur eine grössere Anzahl von Lüftungs- und Klimaanlageanlagen untersucht und die Anlagenbetreiber befragt werden. Folgende Fragestellungen sollen dabei primär beantwortet werden:

3.2. Wie ist der Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz?

3.2.1. Status quo

Es soll ein Bild des hygienischen Zustands der Schweizerischen RLT-Anlagen basierend auf neutralen Untersuchungen gewonnen werden.

3.2.2. Schutz von Personen (Arbeitsplatz und Wohnbereich)

Basierend auf Messungen (Luftkeime) soll abgeklärt werden, ob der Schutz von Nutzer/-innen gewährleistet ist.

3.2.3. Vergleich mit Ausland

Wie ist der Stand in der Schweiz im Vergleich zu anderen Ländern? Was kann aus den Erfahrungen in anderen Ländern abgeleitet werden?

3.3. Wie organisiert der Anlagenbetreiber die Instandhaltung¹?

3.3.1. Kenntnis über Hygienezustand

Wie gut kennen die Anlagenbetreiber den hygienischen Zustand ihrer Raumlufttechnischen Anlagen und allenfalls die Risiken von vorhandenen Mängeln?

¹ Begriffserklärung im Glossar im Anhang

3.3.2. Persönliche Einstellung

Wie ist die Einstellung der Anlagenbetreiber gegenüber der Reinigung und hygienischen Instandhaltung? Wie ist die Haltung und Kenntnis der Anlagenbetreiber gegenüber Hygienerichtlinien, einschlägigen Verordnungen und Merkblättern?

3.3.3. Instandhaltung

Wie ist die Instandhaltung organisiert? Werden heutige Richtlinien angewendet.

3.4. Gibt es Korrelationen zwischen Hygienezustand, Anlagentyp und Instandhaltung?

3.4.1. Gibt es Unterschiede zwischen RLT-Anlagen von Wohn- und Nichtwohngebäuden?

Sind Unterschiede bezüglich Luftkeime, Oberflächenkeime, optisch-technischer Beurteilung und Instandhaltung erkennbar?

3.4.2. Hat der Luftfilter einen Einfluss auf die Anlagenhygiene?

Welchen Einfluss haben die vorhandenen Luftfilter auf den Hygienezustand von RLT-Anlagen und die Qualität der Zuluft? Welche Korrelation gibt es zwischen dem Hygienezustand der Anlage (Abklatschprobe nach Filter) bzw. der Filterleistung gegenüber luftgetragenen Keimen und der eingesetzten Filterklasse bzw. dem effektiv festgestelltem fraktionalem Wirkungsgrad? Bei welcher Partikelgröße muss der Filter-Wirkungsgrad beschrieben werden, damit eine Korrelation zum Hygienezustand der Anlage bzw. der Filterleistung gegenüber luftgetragenen Keimen entsteht? Welcher Filterwirkungsgrad bei welchem Partikeldurchmesser ist erforderlich, um die erforderliche Anlagenhygiene bzw. Zuluftqualität unter allen vorkommenden Bedingungen bzw. im Normalfall zu ermöglichen?

3.4.3. Hat der Hygienezustand Einfluss auf die Luftkeimkonzentration?

Gibt es eine Korrelation zwischen dem Hygienezustand von RLT-Anlagen und der Qualität der von ihr geförderten Zuluft?

3.4.4. Hat das Anlagenalter einen Einfluss auf den Hygienezustand?

Sind Korrelation zwischen dem Anlagenalter und der Oberflächenkeimen, den Luftkeimen und der T/O²-Beurteilung nachweisbar?

3.4.5. Beeinflussen die Filterwechselintervalle den Hygienezustand?

Gibt es eine Korrelation zwischen der Anlagenhygiene und der Dauer seit dem letzten Filterwechsel?

3.4.6. Welche Parameter sind für die Nichterfüllung des Schutzziels³ verantwortlich?

Haben das Anlagenalter, der letzte Filterwechsel, das Wartungsintervall, die Aussenluftqualität, vorhandene Befeuchter, der WRG-Typ, die Anlagengrösse oder allenfalls vorhandene Innendämmungen einen Einfluss auf das Schutzziel?

3.5. Welches sind die effektivsten Hygienemassnahmen?

Welche hygienetechnischen Massnahmen weisen das beste Verhältnis zwischen Massnahme und Wirkung auf?

3.6. Besteht Handlungsbedarf?

Ist aus den Resultaten ein Handlungsbedarf für behördliche Massnahmen und Standards ableitbar?

² T/O: Technisch/optisch

³ Definition siehe Glossar im Anhang

4. Vorgehen

4.1. Anlagenakquisition

4.1.1. Methodik

Für die Gewinnung von Messobjekten wurde ein Projekt-Flyer angefertigt und auf Fachveranstaltungen wie Tagungen oder Messen geworben. Insgesamt sind bei der Hochschule Luzern ca. 220 Anmeldungen von Anlagen eingegangen. Die Eignungsprüfung erfolgte nach vordefinierten Kriterien (Gebäudekategorie, Anlagenkategorie und -grösse, Region und Baujahr), damit die Fragestellungen des Projekts untersucht werden können. Insgesamt erfüllten 137 Anlagen die Eignungskriterien und wurden gemäss den Empfehlungen der SWKI VA104 inspiziert.

Bei der Ortsbegehung wurden die Angaben der Anlagenbetreiber zu ihrer Anlage geprüft und ggfs. bereinigt bzw. ergänzt. Der Datensatz wurde anschliessend gemäss Projektziele auf 100 Anlagen reduziert. Diese Datensatzreduktion erfolgte unter der Vorgabe, dass alle Regionen der Schweiz vertreten werden sollen und dass bei der Gebäudekategorie ein homogeneres Bild zwischen den Gebäudetypen entsteht. Die wesentlichen Merkmale dazu sind die geographische Lage, die Gebäudekategorie, das Anlagenalter, die Anlagengrösse und die Anlagenkomponenten.

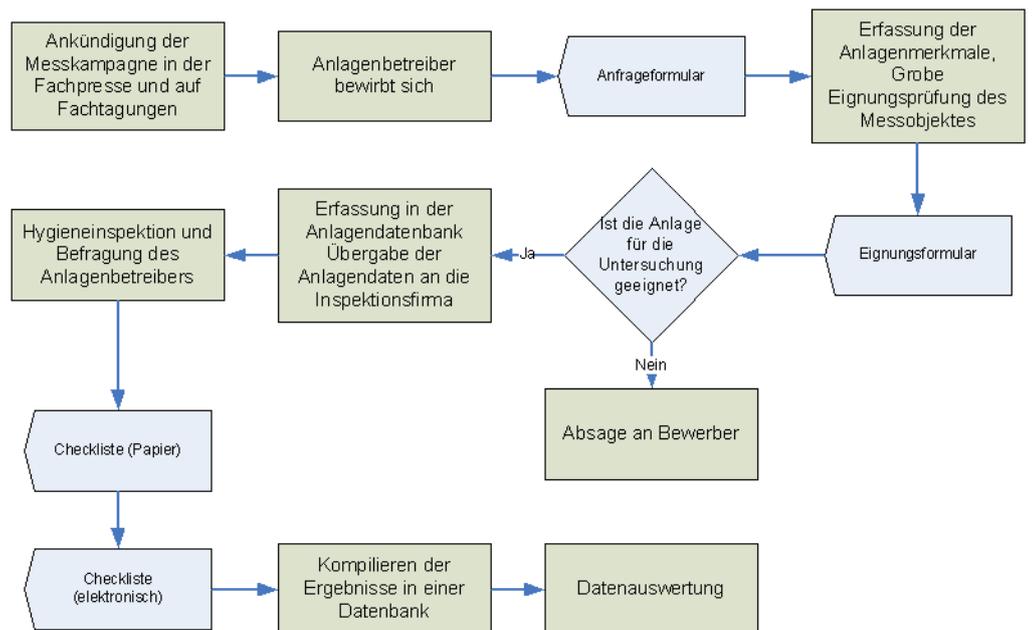


Abb. 1: Ablauf der Messkampagne

4.1.2. Geografische Lage

Zwecks Datenschutz wurden die Resultate anonymisiert. Der vorliegende Bericht enthält keine genauen Standortangaben, sondern lediglich die Angabe der Grossregion.

Ziel war eine möglichst breite Abdeckung aller Grossregionen in der Schweiz zu erreichen (Abb. 2).

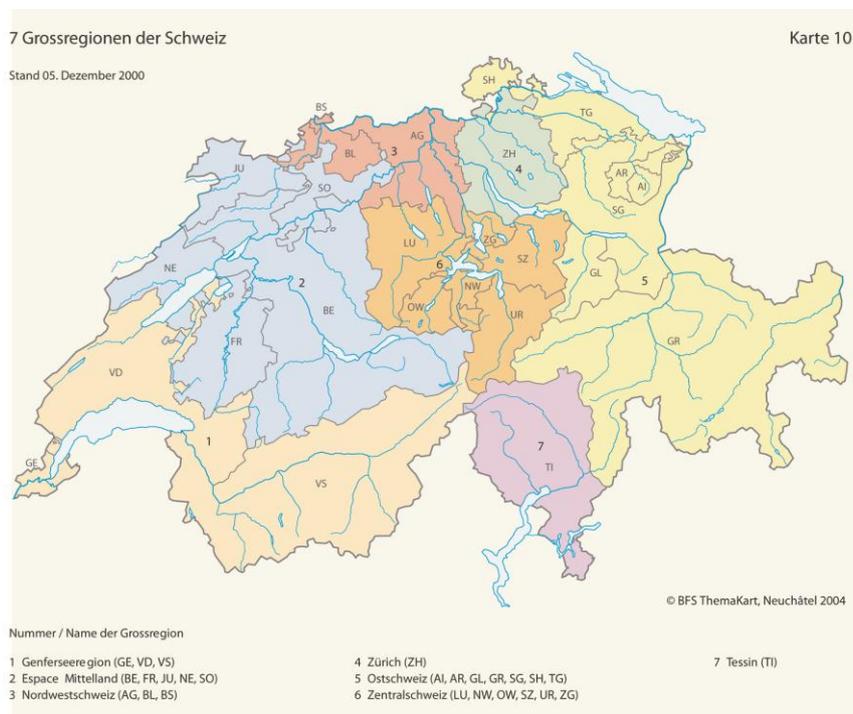


Abb. 2: Grossregionen in der Schweiz (Quelle: BFS, 2005)

4.1.3. Gebäudeklassen

Die Gebäudenutzung bestimmt grösstenteils die Art und den Aufbau der RLT-Anlage. In der Schweiz existiert keine flächendeckende Statistik über den gesamten RLT-Anlagenpark⁴. Die Erhebung einer solchen Statistik war nicht Gegenstand des vorliegenden Projektes. Aus diesem Grund wurden für die Beschreibung des Anlagenportfolios die Gebäude in elf Hauptnutzungen eingeteilt, in Anlehnung an das SIA-Merkblatt 2024.

Die Aufteilung in die Kategorien 1 bis 11 gemäss Tab. 1 entspricht in etwa den Gebäudekategorien von SIA 380/1. Die in Tab. 1 grau markierten Kategorien zeigen den Schwerpunkt des Projektes auf. Lagerlüftungen sind auf-

⁴ Eine Ausnahme bildet die Datenerhebung zu den Komfortlüftungen des energie-cluster.ch, welche aber primär den Wohnungsbau behandelt.

grund tiefer Personenbelegungen aus hygienischen Gesichtspunkten nicht von Interesse. Schulbauten werden erst seit kurzem mit Komfortlüftungen ausgerüstet (Niedrigenergiestandards wie MINERGIE usw.), daher ist momentan nur mit vereinzelt Gebäuden aus dieser Kategorie zu rechnen. Der pragmatische Ansatz bei der Zusammenstellung des Anlagenportfolios sah vor, dass pro Hauptnutzung maximal 10-12 Anlagen untersucht werden sollen.

Kat.	Gebäude	Kat.	Gebäude
1	Wohnen	7	Versammlungslokale
2	Hotel	8	Spitäler
3	Verwaltung	9	Industrie
4	Schulen	10	Lager
5	Verkauf	11	Sportbauten
6	Restaurants		

Tab. 1: Gebäudekategorien nach SIA 2024

4.1.4. Anlagenalter

Für die Bestimmung des Anlagenalters wurde das Baujahr ermittelt. Das Baujahr ist ein Indiz für den geltenden «Stand der Technik» zurzeit der Errichtung der RLT-Anlage.

4.1.5. Anlagengrösse

Die «Grösse» der Anlage wird mit dem geförderten Volumenstrom quantifiziert. In der Studie wurde vereinfachend zwischen 3 Grössenklassen unterschieden (Tab. 2).

Grössenklasse	Nennluftvolumenstrom [m ³ /h]
Kleinanlage	0 bis ≤ 1'000
Mittlere Anlage	1'000 bis ≤ 20'000
Grossanlage	> 20'000

Tab. 2: Grössenklassifizierung von RLT-Anlagen

4.1.6. RLT-Komponenten

Bei den Untersuchungen wurde der Aufbau der Luftaufbereitung erfasst und die Anlage nach ihren Hauptkomponenten (Luftbefeuchter, WRG, Umluft-

beimischung, Filterstufen und –klassen, Luftkühler, Luftheritzer) kategorisiert.

Anlagen, die nur der Abführung von Abluft dienen, sind aus hygienischer Sicht nicht von Interesse und wurden für diese Studie nicht berücksichtigt.

4.2. Hygieneinspektionen

4.2.1. SWKI VA104-01

Die Hygieneinspektionen wurden nach der SWKI-Richtlinie VA104-01 durchgeführt. Dazu wurden alle Komponenten der RLT-Anlage inspiziert (sofern zugänglich) und auf die Übereinstimmung mit der Richtlinie bewertet. Zusätzlich wurden Oberflächenkeim- und Luftkeimmessungen sowie Wasseranalysen durchgeführt. Die Beurteilungswerte sind im Anhang (ab Seite 97) zusammengestellt.

4.2.2. Abstimmung der Inspektionsfirmen

Die Hygieneinspektionen wurden durch drei unabhängige Inspektionsfirmen ausgeführt. Da die Bewertung einer Komponente bezüglich Übereinstimmung mit SWKI VA104-01 inkl. Benotung nach keiner exakt definierbaren Regel erfolgen kann, wurden im Vorfeld der Messkampagne zwei RLT-Anlagen von den drei Inspektionsfirmen gleichzeitig beurteilt und die Ergebnisse auf der Anlage diskutiert. Damit wurde erreicht, dass die Grundbeurteilung einer Komponente von allen beteiligten Partnern gleich vorgenommen wurde.

4.2.3. Oberflächenmessungen

In der SWKI-Richtlinie VA104-02 sind als Messverfahren zur Beurteilung von Oberflächenkeimen Abklatschproben vorgesehen. Diese wurden wenn immer möglich ausgeführt, was allerdings bedingte, dass glatte Oberflächen von mindestens 6 x 12 cm zur Verfügung standen. Bei Lamellen (WRG, Luftkühler, Luftheritzer, Befeuchtern) wurden Tupfer zur Probenahme eingesetzt. Tupferproben wurden separat beurteilt (eigenes Beurteilungsschema). Als Messorte wurden grundsätzlich je ein Abklatsch auf dem Kammerboden gleich nach der ersten Zuluftfilterstufe und ein weiterer innerhalb des Monoblocks in der Nähe des Zuluftkanals genommen. Weitere Probenahmen richteten sich nach Zugänglichkeit und Hygienerelevanz, wobei vor allem Komponenten, in denen mit Feuchtigkeit zu rechnen ist, in Betracht gezogen wurden. Die exakten Probenahmeorte sind in den Schemata im Anhang (ab Seite 101) dokumentiert.

4.2.4. Wasseranalysen

Von Befeuchtern, die zum Zeitpunkt der Hygieneinspektion in Betrieb waren, wurden Wasserproben des Speise- und allenfalls Umlaufwassers entnommen. Diese wurden im Labor auf die Gesamtkeimzahl und auf Legionellen untersucht.

4.2.5. Luftkeimmessungen

Für dieses Projekt wurden zusätzlich Luftkeimmessungen durchgeführt, auch wenn dies im Rahmen einer üblichen Hygieneinspektion nur für den Fall vorgesehen ist, wenn ein konkreter Verdacht vorliegt [SWKI VA104-02]. Die Messungen erfolgten jeweils im geforderten Zeitrahmen [VDI 4300 Blatt 10] in der Zuluft und der Vergleichsluft.

4.2.6. Technisch-optische Beurteilung

Alle Anlagenteile, sofern sie in den Geltungsbereich der SWKI-Richtlinie VA104-01 fielen, wurden begutachtet. Die Inspektionen wurden mittels detaillierter Checkliste durchgeführt. Fest verschraubte Komponenten wurden dabei bewusst nicht geöffnet. Falls diese nicht über benachbarte Bauteile einsehbar waren, wurden sie mit der Note 6 (nicht einsehbar) bewertet. Die Benotung⁵ der Anlagenkomponenten erfolgte abgestimmt⁶ nach folgender Regel:

Befund	Note bzw. Zuschlag
Alles in Ordnung	1
Schmutz/Korrosion	Mindestens +1
Beschädigung	Mindestens +1
Konstruktive Mängel (z.B. eingeschränkte Zugänglichkeit)	Mindestens +1
Kein Filter nach Keilriemen (Ventilator)	Mindestens +1
Erhöhter Keilriemenabrieb	+2
Innendämmung	+2
Nicht einsehbar	6

Tab. 3: Benotungsregeln technisch-optische Beurteilung

⁵ Die Notengebung wurde nach deutschem System durchgeführt (1=beste Note, 5=schlechteste Note, 6=nicht einsehbar)

⁶ Die Abstimmung unter den involvierten Inspektionsfirmen erfolgte einerseits zu Beginn anhand von zwei Testanlagen, die von allen drei Inspektionsfirmen inspiziert und beurteilt wurden, andererseits während der Datenbereinigung durch nochmalige Überprüfung der Notengebung durch die jeweilige Messfirma anhand obigen Notenschlüssels.

4.3. Fragebogen

4.3.1. Fragenkatalog

In Zusammenarbeit mit SUVA und SECO wurde ein Fragenkatalog für die Betreiber der RLT-Anlagen erarbeitet. Dieser umfasst die subjektive Einschätzung des Hygienezustands der eigenen Anlage, den persönlichen Stellenwert der Anlagenhygiene, die Instandhaltung sowie die Motivation des Betreibers, am Projekt mitzuwirken. Der Fragebogen ist im Anhang (Seite 112) abgebildet.

4.3.2. Befragungen

Die verantwortlichen Anlagenbetreiber wurden am Inspektionstag von den jeweiligen Inspektionsfirma mittels vorgegebenen Fragebogens befragt.

4.4. Datenaufbereitung

Die Ergebnisse der T/O-Beurteilungen, der Oberflächen-, Wasser- und Luftkeimuntersuchungen sowie des Fragebogens wurde in einer Datenbank (MS EXCEL 2010) elektronisch erfasst. Diese Datenbank wurde im Anschluss an die Inspektionen einer umfassenden Datenanalyse, -bereinigung und Logikprüfung unterzogen. Unter anderem wurden von allen untersuchten RLT-Anlagen Prinzipschemata mit T/O-Benotung und Keimuntersuchungen angefertigt (siehe ab Seite 101) und diese stichprobenartig mit Teilresultaten aus der Datenbank auf Übereinstimmung geprüft. Logikfehler wurden analysiert und bereinigt. Das gesamte Prozedere der Datenbereinigung wurde protokolliert.

5. Resultate

5.1. Untersuchte Anlagen

5.1.1. Regionen

Die Inspektionen fanden zu 38 % in der Region Zürich statt. Der Rest verteilt sich auf die anderen 6 Grossregionen, wobei im Tessin mit 3 angemeldeten Anlagen die kleinste Anzahl inspiziert werden konnte (Abb. 3).

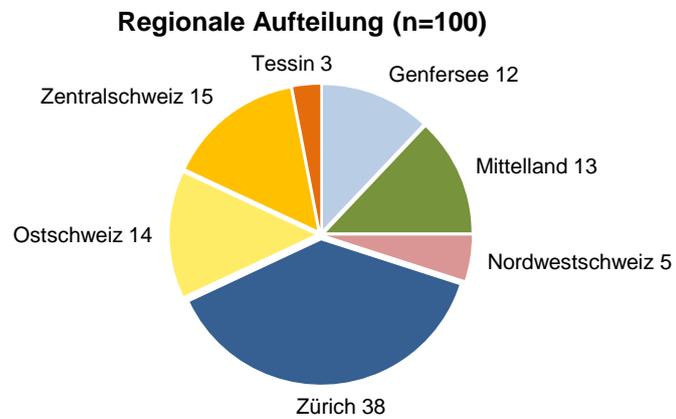


Abb. 3: Regionale Aufteilung der inspizierten und ausgewählten RLT-Anlagen (gemäss Grossregionen siehe Vorgehen Abb. 2)

5.1.2. Gebäude

Die inspizierten Anlagen sind über alle Gebäudekategorien verteilt (Abb. 4).

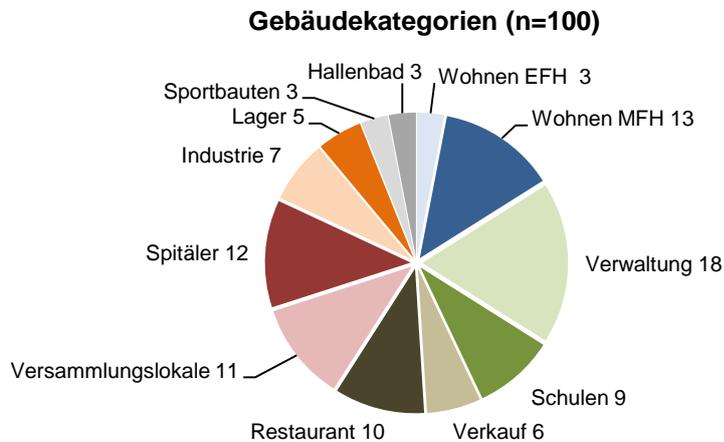


Abb. 4: Gebäudekategorien der inspizierten und ausgewählten RLT-Anlagen (gemäss SIA 380/1)

Am häufigsten wurden Lüftungen in Verwaltungsbauten (18 Stück) inspiziert. Dies entspricht erfahrungsgemäss dem Markt für Hygieneinspektionen. Die Nachfrage nach Hygieneinspektionen an RLT-Anlagen in Bürogebäuden ist im Vergleich zu anderen Gebäudekategorien höher.

5.1.3. Baujahr

Das Baujahr von etwa 2/3 (64) aller inspizierten Anlagen liegt zwischen 1991 und 2008 (Abb. 5). 12 Anlagen wurden bis 1980, insgesamt 28 Anlagen bis 1990 gebaut. Von 8 Anlagen konnte kein Baujahr verifiziert werden.

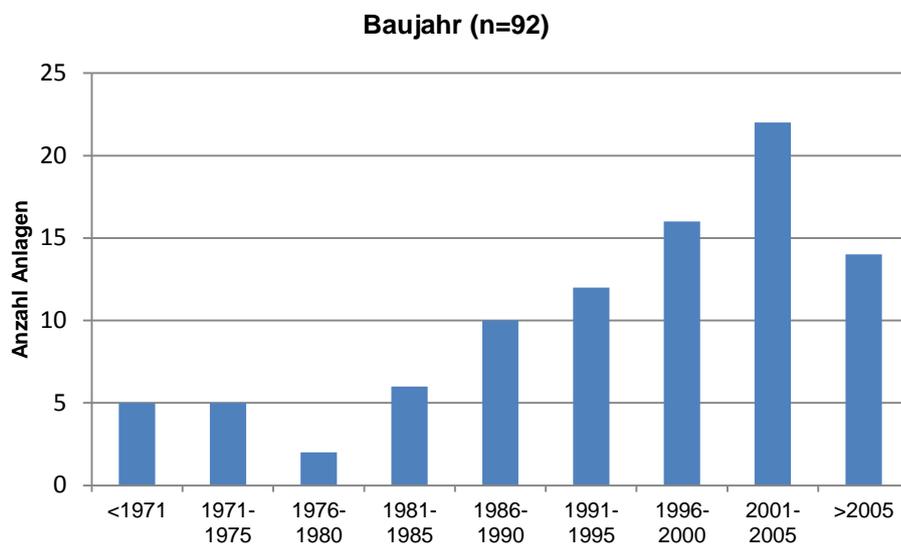


Abb. 5: Baujahr der inspizierten und ausgewählten RLT-Anlagen

5.1.4. Anlagentypen und -grösse

Von den 100 untersuchten RLT-Anlagen verfügen 76 % über eine WRG (Wärmerückgewinnung), 36 % über eine Befeuchtung und 60 % über eine Kühlung (Abb. 6). Die drei nachfolgend aufgeführten Anlagentypen (Bezeichnung gemäss SIA 382/1, alle mit WRG) machen zusammen 2/3 aller untersuchten Anlagen aus:

- Klimaanlage mit Luftbefeuchtung (25 %)
- Lüftungsanlage mit Lufterwärmung (21 %)
- Einfache Klimaanlage (20 %)

Bei den Systemen ohne WRG entsprechen 8 Anlagen einer einfachen Lüftungsanlage mit Lufterwärmung, 8 Anlagen einer Klimaanlage mit Luftbefeuchtung, 5 Anlagen einer einfachen Klimaanlage (ohne Befeuchtung).

Anlagentypen (n=100)

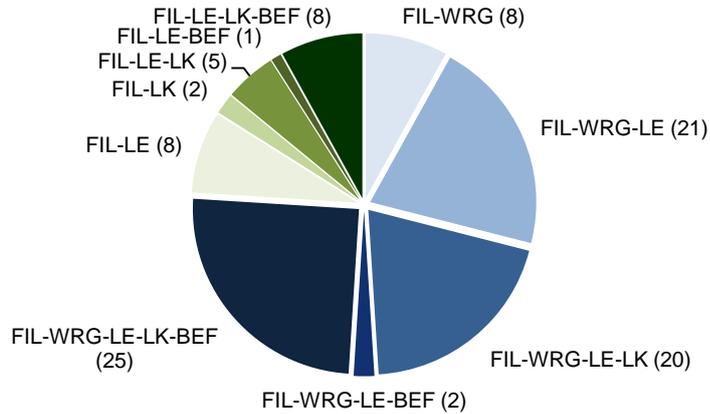
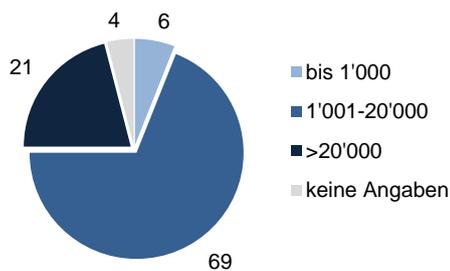


Abb. 6: Untersuchte Anlagen typisiert gemäss Komponenten
 (FIL: Zuluftfilter; WRG: Wärmerückgewinnung; LE: Lufterhitzer; LK: Luftkühler; BEF: Luftbefeuchter)

Der grösste Anteil der untersuchten RLT-Anlagen (69 %) weist eine mittlere Anlagengrösse auf (>1'000 bis 20'000 m³/h). 21 % der inspizierten Anlagen transportieren mehr als 20'000 m³/h Luft, 6% der Anlagen weniger als 1'000 m³/h (Abb. 7).

**Zuluftvolumenstrom (n=100)
[m³/h]**



Umluft (n=100)

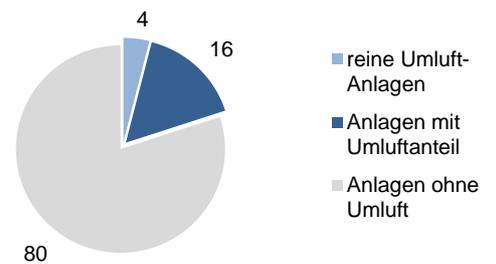


Abb. 7: Zuluftvolumenstrom und Umluftanteil der inspizierten und ausgewählten RLT-Anlagen

Der Anteil von RLT-Anlagen mit Umluft beträgt 20 % (Abb. 7). Davon sind 1/5 reine Umluftanlagen, 16 Anlagen haben einen Umluftanteil (in der Regel Umluftklappe).

Bei den Wärmerückgewinnungssystemen sind die Plattenwärmeübertrager-WRG mit 47 % (36 Anlagen) das am Häufigsten angetroffene System (Abb. 8). Je 25 % (19 Anlagen) entfallen auf Rotationswärmeübertrager bzw. Kreislaufverbundsysteme.

Von den 36 mit Luftbefeuchtern ausgestatteten Lüftungsanlagen sind 47 % (17 Anlagen) Dampfbefeuchter, 31 % (11 Anlagen) Sprühbefeuchter, 14 % (5 Anlagen) Verdunstungsbefeuchter (Umlaufwasser) und 8 % (3 Anlagen) Hybridbefeuchter.⁷ (Abb. 8).

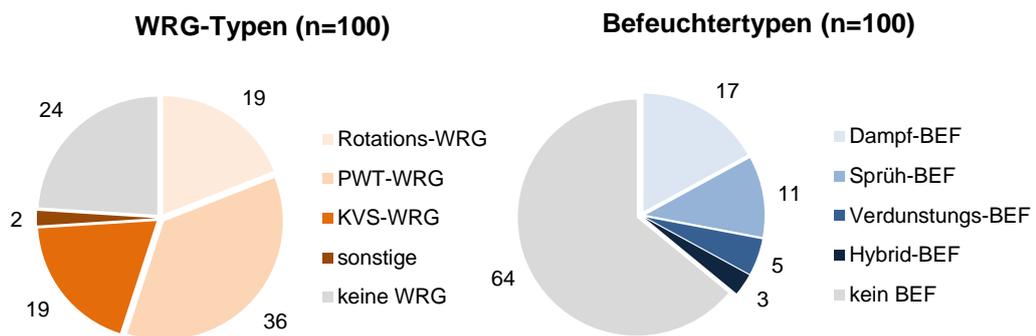


Abb. 8: WRG- und Befeuchter-Typen der inspizierten und ausgewählten RLT-Anlagen

Die häufigste Filterklasse der letzten Filterstufe⁸ ist mit 30 % F7 (Abb. 9), gefolgt von F6 (26 %) und G4 (16 %). HEPA-Filter (H12 und H13) sind nur in wenigen Anlagen vorhanden (beide zusammen 4 %). Sechs Filter sind nicht klassifizierbar, davon sind vier nicht einsehbar.

Filterklassen (letzte Filterstufe)
(n=94)

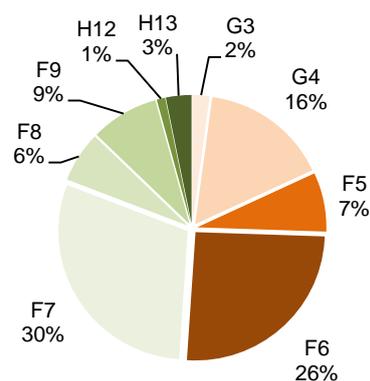


Abb. 9: Letzte Filterstufe (Zuluft) der inspizierten und ausgewählten RLT-Anlagen

⁷ Kombination zwischen Sprüh- und Verdunstungsbefeuchter

⁸ Die letzte Filterstufe in Zulufrichtung ist die aus raumlufthygienischer Sicht relevante Stufe.

5.2. Technisch-optische Beurteilung

Bei 6 Komponenten ist die Zugänglichkeit in mehr als 20 % der untersuchten RLT-Anlagen nicht gegeben. Es betrifft den Aussenluftkanal, den Luftherhitzer, den Luftkühler, den Schalldämpfer, den Kanalschalldämpfer und den Zuluftkanal (Abb. 10).

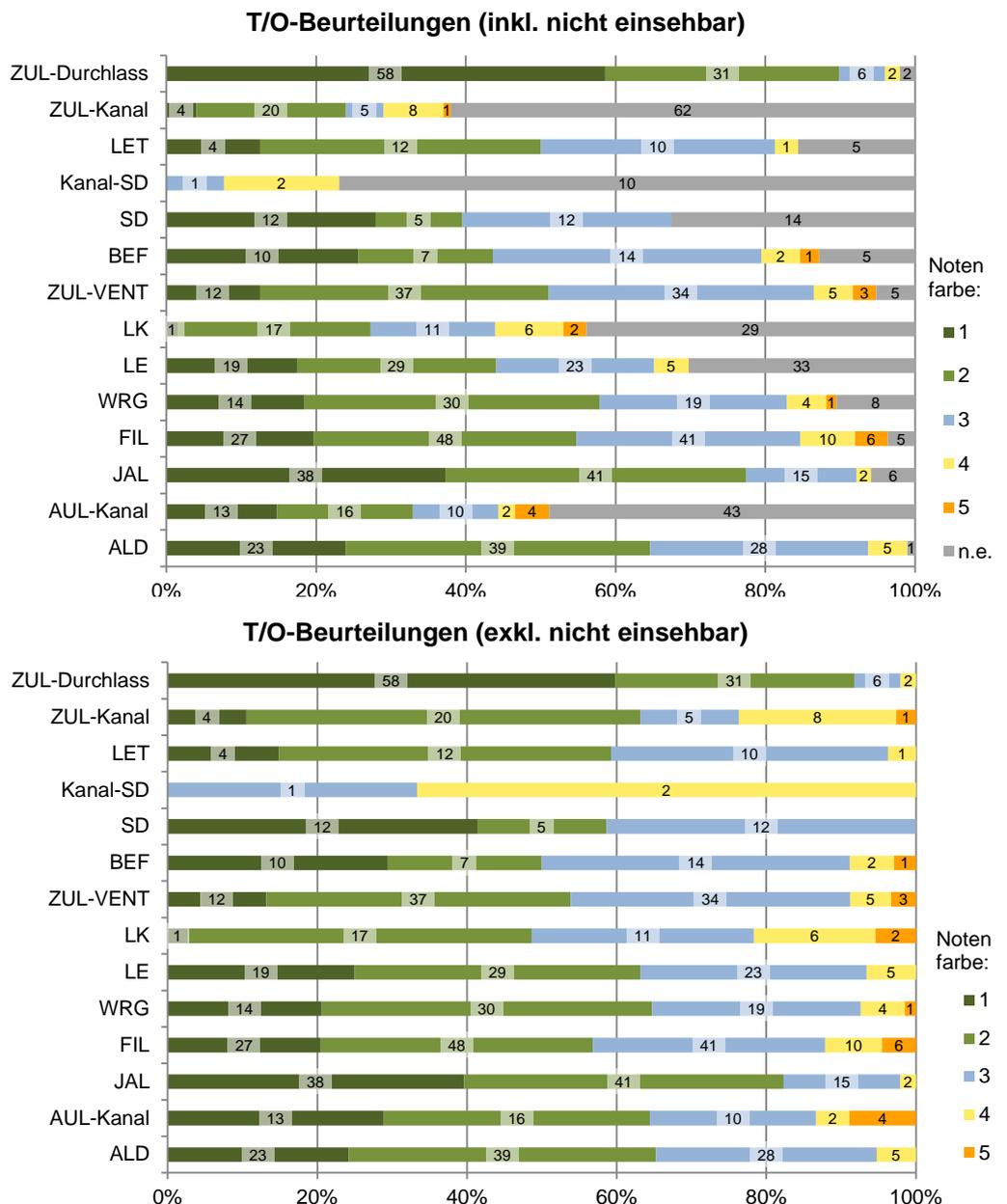


Abb. 10: Technisch-optische (T/O) Beurteilung der einzelnen Komponenten
 Oben: Beurteilung mit nicht einsehbaren Komponenten (n.e.), unten: Beurteilung nur einsehbarer Komponenten (ZUL: Zuluft; LET: Leerteil; SD: Schalldämpfer; BEF: Befeuchter; VENT: Ventilator; LK: Luftkühler; LE: Luftherhitzer; WRG: Wärmerückgewinnung; FIL: Filter; JAL: Jalousieklappe; AUL: Aussenluft; ALD: Aussenluftdurchlass)

Der Zuluftdurchlass wird bei über 90 % der Anlagen mit einer Note besser als 3 bewertet. Bei 6 weiteren Komponenten (nur zugängliche) liegt der Anteil mit Note < 3 bei über 60 % (Aussenluftdurchlass, Aussenluftkanal, Jalousieklappe, WRG, Lufterhitzer, Zuluftkanal). Beim Luftkühler liegt dieser Anteil bei unter 50 %.

5.3. Mikrobiologische Beurteilung

5.3.1. Oberflächenkeime

Bei den untersuchten Schalldämpfern liegt kein unzureichender Befund vor. Am Häufigsten werden unzureichende Befunde im Luftbefeuchter (33 %) und in der ZUL-Ventilator (32 %) nachgewiesen. In den Bauteilen Filterkammer 1 und ZUL-Ventilator liegt der Anteil mit gutem bis sehr gutem Befund mit 47 bzw. 48 % am Tiefsten.

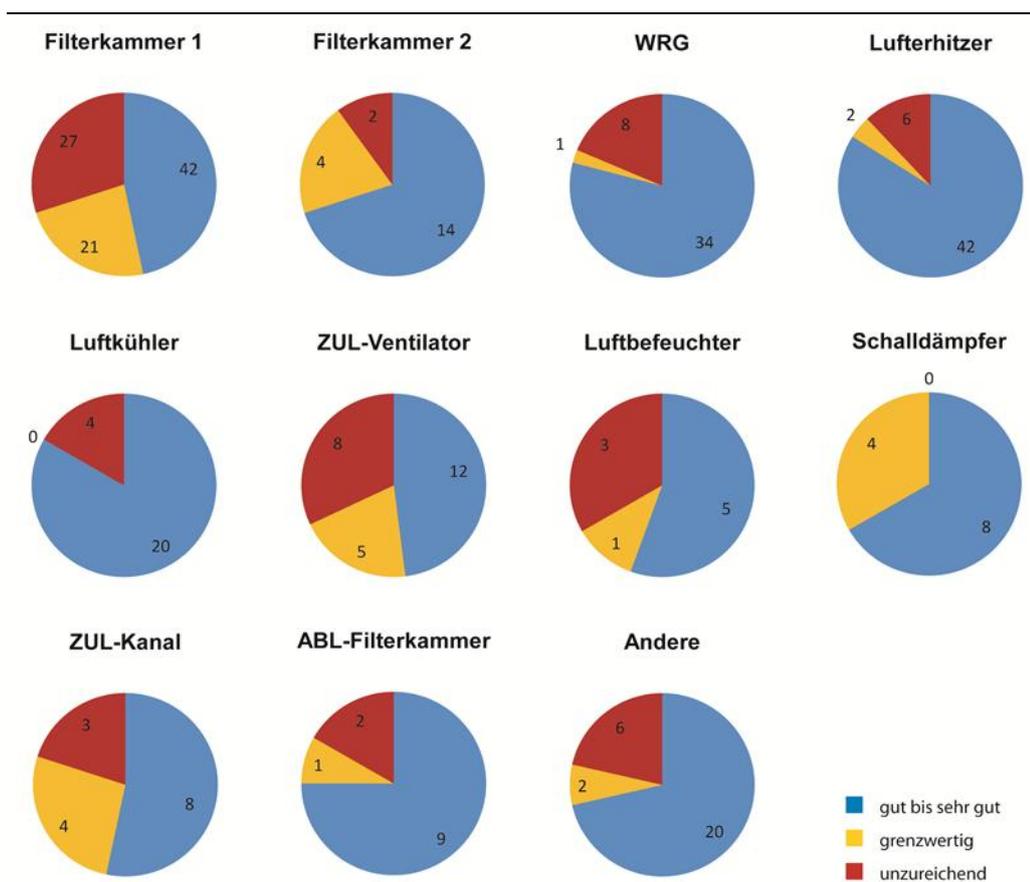


Abb. 11: Beurteilung der Oberflächenkeimuntersuchungen (Beurteilungsschema siehe Anhang)
 (Andere: weitere Oberflächenkeimuntersuchungen in Zuluftfilter 3, Nachkühler, an Tropfenabscheider etc.)

5.3.2. Wasseranalysen

Das Speisewasser erfüllt bei allen untersuchten Befeuchtern die Anforderungen bezüglich Gesamtkeimzahl (GKZ) und Legionellen. Beim Umlaufwasser werden in 5 von 9 Proben erhöhte Keimzahlen nachgewiesen (Abb. 12). Legionellen überschreiten den Richtwert auch im Umlaufwasser nicht.

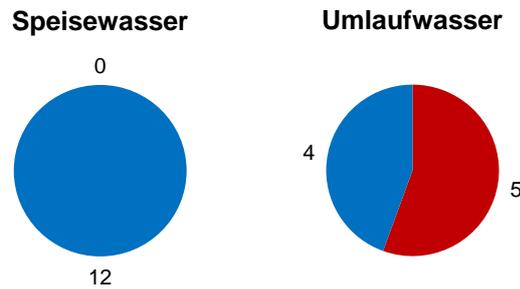


Abb. 12: Beurteilung der Wasseranalysen (Beurteilungsschema siehe Anhang)
(blau: unterhalb Richtwert; rot: oberhalb Richtwert)

5.3.3. Luftkeime

Das Schutzziel bezüglich Gesamtkeimzahl wird bei allen 100 Anlagen eingehalten. Bezüglich Bakterien wird es bei 5 Anlagen, bezüglich Schimmelpilze bei 1 Anlage nicht erreicht (Abb. 13).

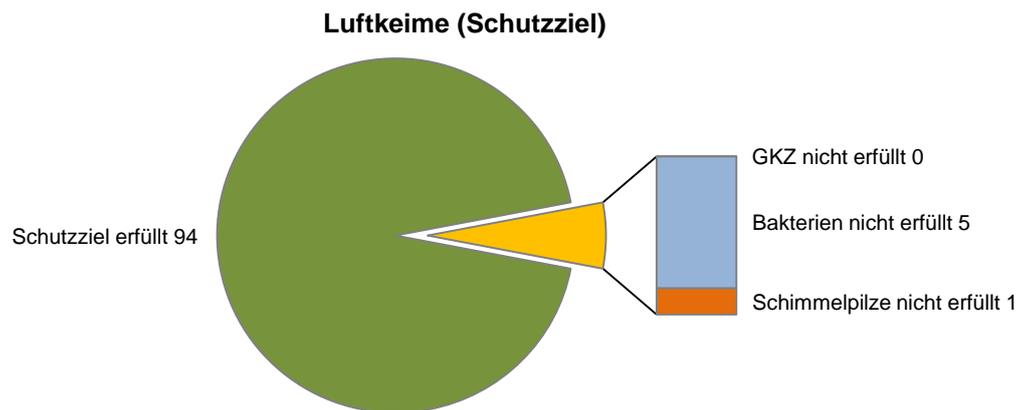


Abb. 13: Beurteilung Schutzziel (Anforderung: ZUL gleich/besser als Vergleichsluft)

5.4. Fragebogen

5.4.1. Allgemeines

Von den 100 Fragebogen wurden 92 beantwortet. Bei 8 RLT-Anlagen fehlen die entsprechenden Angaben bzw. der Fragebogen wurde nicht ausgefüllt.

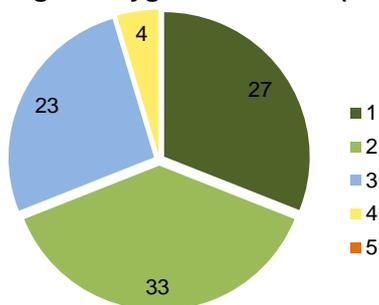
5.4.2. Zweck der RLT-Anlage (Frage 1.1)

91 Anlagenbetreiber kennen den Zweck und die Nutzung ihrer RLT-Anlage. 1 Betreiber beantwortete die Frage nicht.

5.4.3. Hygienezustand der eigenen Anlage (Frage 1.2 und 1.3)

69 % der Anlagenbetreiber beurteilen den Hygienezustand ihrer Anlage als gut bis sehr gut (Abb. 14). Die meisten Betreiber stützen ihre Beurteilung auf optische Kontrollen (61 Nennungen).

Beurteilung des Hygienezustands (n=87)



Grundlage der Beurteilung

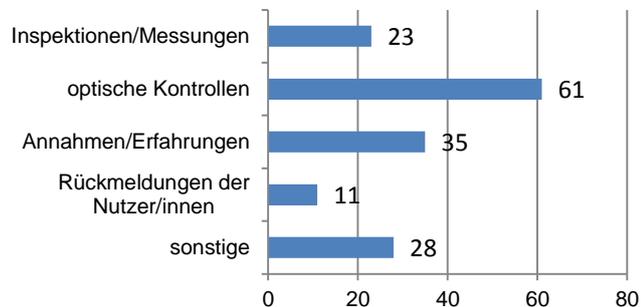


Abb. 14: Beurteilung des Hygienezustands durch Anlagenbetreiber (1=sehr gut; 5=schlecht) und die Grundlage, worauf sich die Beurteilung stützt (Anzahl Nennungen⁹)

5.4.4. Motivation zur Unterstützung des Projekts (Frage 1.4)

Als Hauptmotivation, das vorliegende Projekt zu unterstützen, wird von den Anlagenbetreibern das Kennenlernen des Zustands ihrer Anlage angegeben. Die Möglichkeit, möglichst günstig eine Hygieneinspektion zu erhalten, ist mit 3 Nennungen kaum relevant.

⁹ Mehrfachnennungen möglich

Motivation

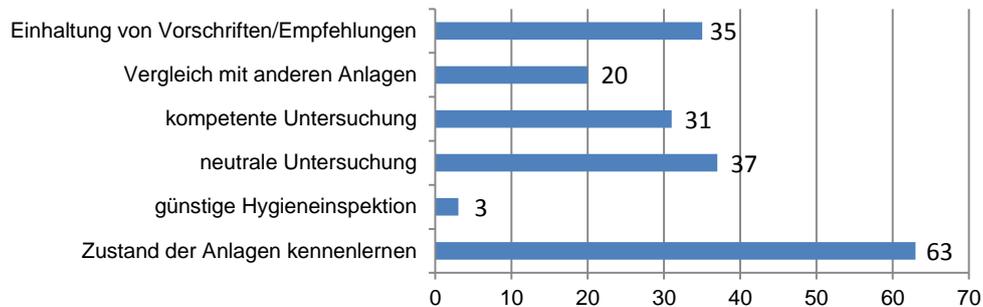


Abb. 15: Angabe von Gründen zur Motivation am Projekt mitzuwirken (Anzahl Nennungen)

5.4.5. Stellenwert der Anlagenhygiene (Frage 1.5)

Der Stellenwert der Anlagenhygiene wird am Höchsten bezüglich Gesundheit der Nutzer/innen bewertet. Der Stellenwert bezüglich Kosteneinsparung wird am Tiefsten beurteilt.

Stellenwert der Anlagenhygiene (n=91 bzw. 90)

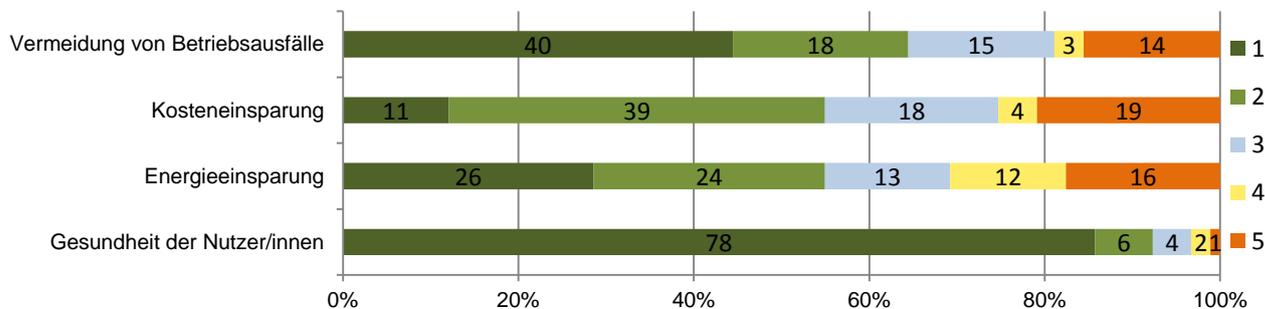


Abb. 16: Beurteilung des Stellenwerts der Anlagenhygiene bezüglich der Vermeidung von Betriebsausfällen, der Möglichkeit zur Kosteneinsparung, der Möglichkeit der Energieeinsparung und der Gesundheit der Nutzer/innen (1=hoch; 5=niedrig).

5.4.6. Instandhaltung (Fragen 2.1 bis 2.8)

76 Anlagenbetreiber verfügen über ein Instandhaltungskonzept. 40 Betreiber vergeben Instandsetzungsarbeiten externen Firmen, 32 besitzen dafür einen Servicevertrag. 73 Betreiber verfügen über qualifiziertes Personal (Abb. 17).

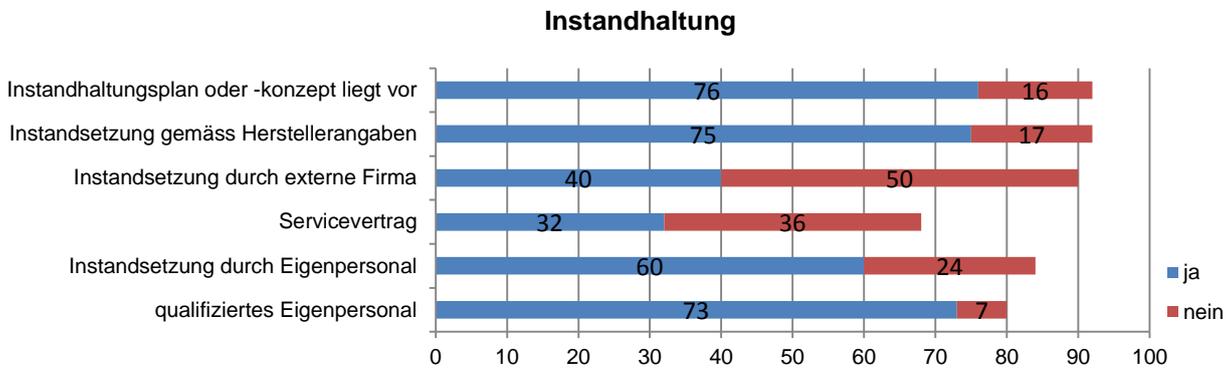


Abb. 17: Ja/nein-Antworten bezüglich der Instandhaltung

Die Instandhaltung geschieht bei 44 Anlagenbetreibern nach anerkanntem Standard. Die SWKI-Richtlinie VA104-01 verwenden 17 Betreiber, die SWKI 95-2 18 Betreiber, die VDMA 24186-1 11 Betreiber und sonstige Standards 25 Betreiber. 61 Anlagenbetreiber geben an, dass die Instandsetzungsdokumente und -protokolle vorhanden sind (Abb. 18).

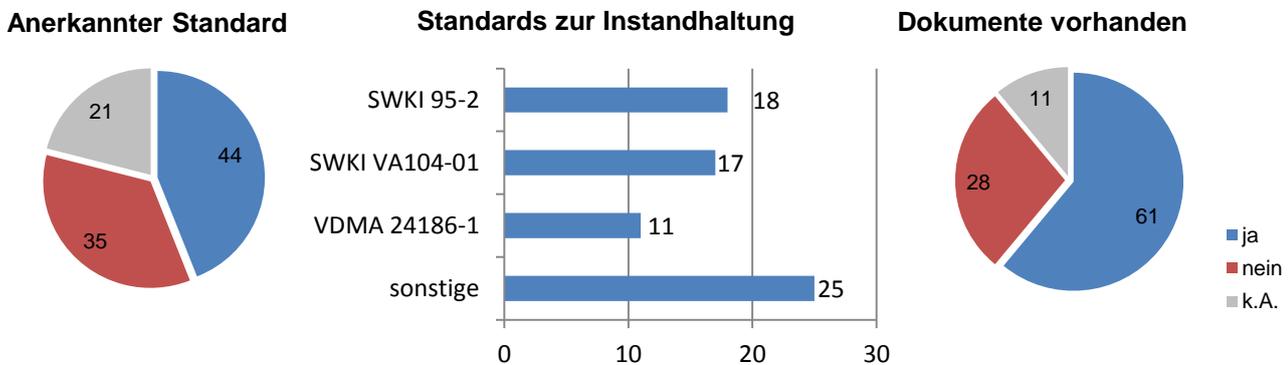


Abb. 18: Angaben zur Instandhaltung: nach anerkanntem Standard (links), welcher (Mitte), sind die Instandsetzungsdokumente vorhanden (rechts)

k.A.: keine Angaben; bei der Frage Standards zur Instandhaltung sind Mehrfachnennungen möglich

6. Interpretation

6.1. Status quo

6.1.1. Übersicht

In Bezug auf das Schutzziel werden bei 6 % aller untersuchten Anlagen höhere Bakterien- oder Schimmelpilzkonzentrationen in der Zuluft gefunden als in der Vergleichsluft¹⁰. Die Gesamtkeimzahl (Bakterien und Schimmelpilze zusammen) in der Zuluft liegt bei allen Anlagen unterhalb der Referenzkonzentration (vergleiche Abb. 13 Seite 25).

Wenn die Keimkonzentrationen der Zuluft diejenigen der Aussenluft überschreiten, geschieht dies ausschliesslich bei tiefen Aussenluftkonzentrationen (Abb. 19). Bei Bakterien liegt die maximale Aussenluftkonzentration bei den fünf Überschreitungen bei 200 KBE/m³, bei Schimmelpilzen wird die Anforderung nur einmal bei einer Aussenluftkonzentration von 0 KBE/m³ überschritten.

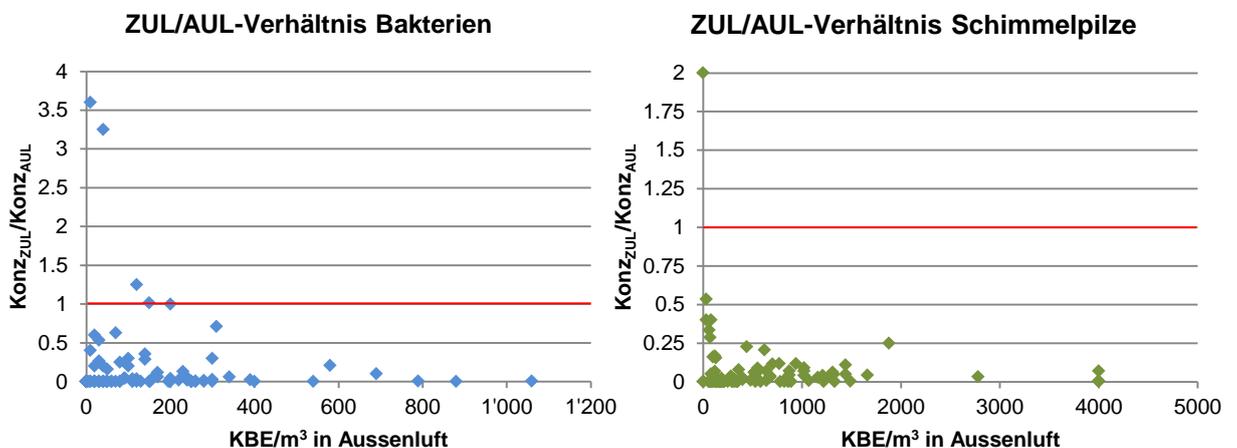


Abb. 19: Verhältnis Zuluft- zu Aussenluftkonzentration bezüglich Bakterien und Schimmelpilzen in Abhängigkeit von der jeweiligen Aussenluftkonzentration dargestellt mit Anforderung (rote Linie) gemäss SWKI VA104-01 (Zuluft gleich/besser Aussenluft)

Bezüglich Oberflächenkeime liegt bei 50 von 98 untersuchten Anlagen mindestens eine Probe im unzureichenden Bereich (Abb. 20). Bei 2 RLT-Anlagen konnten aufgrund fehlender Zugänglichkeit keine Bauteile beprobt werden. Sie werden deshalb in der Beurteilung nicht berücksichtigt. Da aufgrund einer Oberflächenprobe noch nicht auf einen ungenügenden Hygienestatus geschlossen werden kann, ist interessant zu wissen, bei wie vielen Anlagen der Anteil beanstandeter Oberflächen bei 50 % und mehr liegen.

¹⁰ Bei Umluftanlagen ist die Vergleichsluft die Raumluft, bei allen anderen die Aussenluft.

Dies ist bei 19 von 98 mit Abklatschen und/oder Tupfer untersuchten RLT-Anlagen der Fall. Bei 9 Anlagen liegt dieser Anteil bei mehr als 75 % oder mehr.

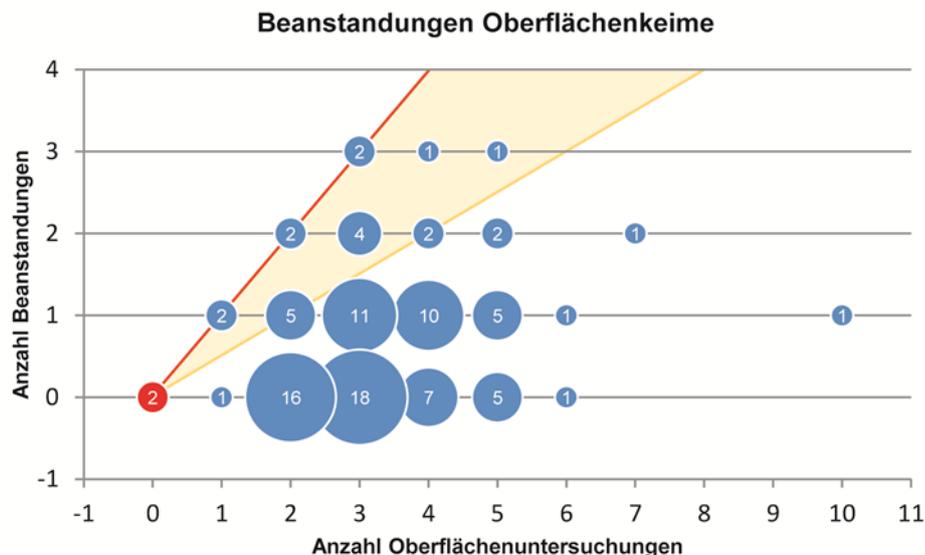


Abb. 20: Anzahl Beanstandungen bezüglich Oberflächenkeimen (Abklatsche und Tupferproben) zur Gesamtzahl der Messorte der entsprechenden RLT-Anlage.

Die Blasenfläche entspricht der Anzahl Anlagen mit gleicher Paarung. Orange hinterlegt: Anlagen, deren Oberflächen zu 50 % und mehr beanstandet wurden. Roter Punkt: Anlagen, die aufgrund fehlender Zugänglichkeit nicht beprobt werden konnten.

Bei der technisch-optischen (T/O) Beurteilung der einzelnen Bauteile interessiert die Anzahl, wie viele Komponenten eine Benotung gleich oder grösser drei erhalten. Die Noten eins und zwei entsprechen einem neuwertigen Zustand mit maximal kleineren Mängel (z.B. leicht verschmutzt). Ab Note drei sind entweder mehrfache Mängel erkennbar oder der Mangel ist relevant (z.B. starke Verschmutzung).

Bei 12 der 100 inspizierten Anlagen weisen keine Bauteile (nur zugängliche und hygienerelevante¹¹) eine T/O-Beurteilung gleich oder grösser drei auf (Abb. 21). Bei 31 Anlagen liegt der Anteil Komponenten mit T/O ≥ 3 bei 50 % und mehr, bei 11 Anlagen liegt er bei 75 % und mehr.

Nur bei 11 Anlagen sind alle hygienerelevanten Komponenten zugänglich, das heisst für die Inspektion einsehbar. Bei 9 RLT-Anlagen ist mindestens die Hälfte der Komponenten nicht zugänglich, bei 3 Anlagen sind mindestens 75 % nicht einsehbar. Nicht zugänglich heisst nicht, dass die Komponente einen hygienisch bedenklichen Zustand aufweist. Allerdings ist sie

¹¹ Als hygienerelevant wurden für dieses Projekt folgende Komponenten definiert: Aussenluftkanal; Zuluftfilter; WRG; Tropfenabscheider WRG; Luftheritzer; Luftkühler; Tropfenabscheider Luftkühler; Zuluftventilator; Befeuchter; Tropfenabscheider Befeuchter; Zuluftschalldämpfer, Zuluftkanalschalldämpfer; Nacherhitzer; Nachkühler; Tropfenabscheider Nachkühler; Zuluftkanal; Zuluftdurchlass

nicht regelmässig kontrollierbar (Wartung) und deshalb auch nicht beurteilbar. Je nach Art der Komponente ist dieser Zustand aus hygienischer Sicht mehr oder weniger akzeptabel (siehe Diskussion Beurteilung Handlungsbedarf weiter unten).

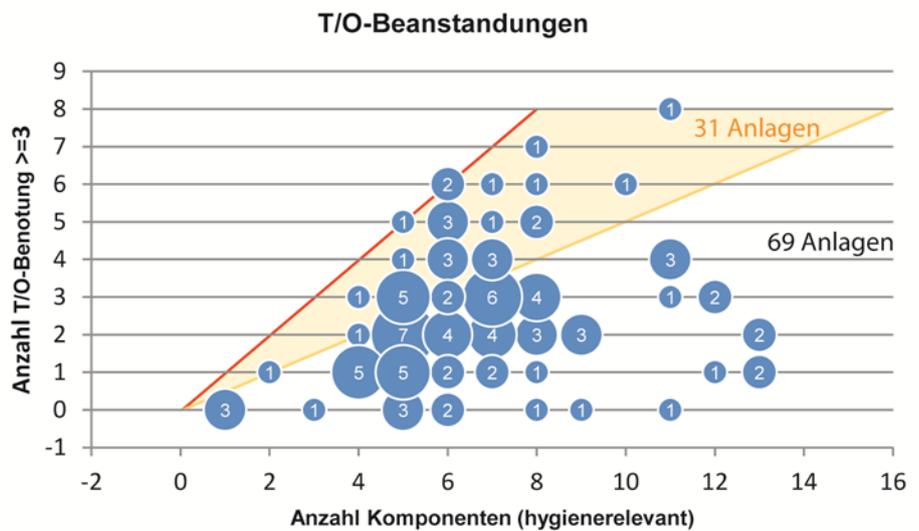


Abb. 21: Anzahl technisch-optische Beanstandungen (ohne unzugängliche Komponenten) zur Gesamtzahl der hygienerlevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage.
Die Blasenfläche entspricht der Anzahl Anlagen mit gleicher Paarung. Orange hinterlegt: Anlagen, deren T/O-Note zu 50 % und mehr beanstandet wurden.

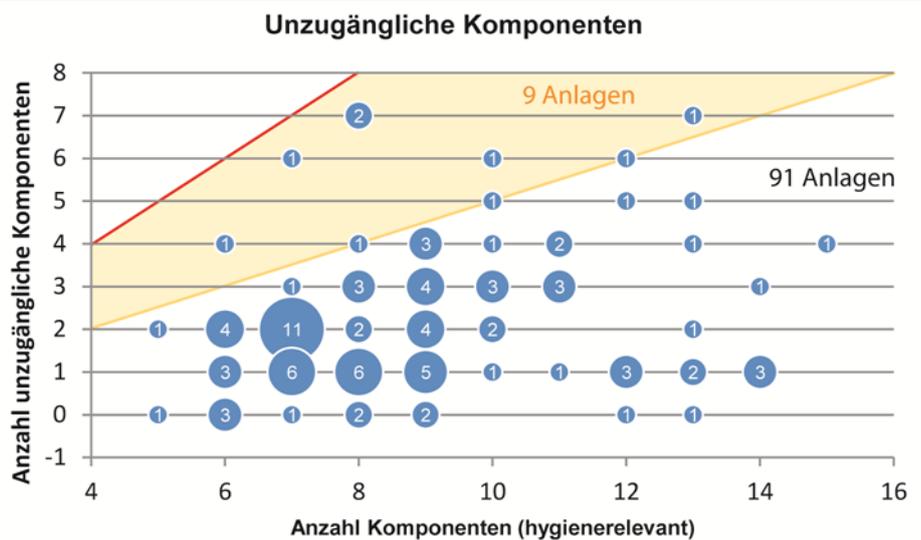


Abb. 22: Anzahl unzugängliche Komponenten zur Gesamtzahl der hygienerlevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage.
Die Blasenfläche entspricht der Anzahl Anlagen mit gleicher Paarung. Orange hinterlegt: Anlagen, deren Anteil unzugänglicher Bauteile 50 % und mehr beträgt.

6.1.2. Oberflächenproben

In Abb. 23 sind die Häufigkeiten der nachgewiesenen Oberflächenkeimkonzentrationen (Abklatschproben) pro Bauteile zusammengefasst.

Am meisten Abklatsche wurden in der Filterkammer der 1. Filterstufe (88) und in der Zuluftventilator-kammer (24) entnommen. In der Häufigkeitsverteilung an diesen zwei Messorten zeigt sich kein grosser Unterschied. Etwas mehr als 1/3 der nachgewiesenen Konzentrationen¹² liegen zwischen 0 und 0.5 KBE/cm² und etwa 1/3 liegt über 4 KBE/cm². Die Messungen in der Filterkammer 1 entspricht in den meisten Fällen dem reinluftseitig erst möglichen Ort für Abklatschproben, die Messung in der Ventilator-kammer meist dem Ort, der am weitesten vom ersten Messort entfernt liegt und auch zugänglich ist. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Messorte innerhalb des Monoblocks (zuluftseitig) weit möglichst auseinander liegen. Dieser Befund kann deshalb als Indiz gewertet werden, dass grundsätzlich keine Ab- oder Zunahme der Keimkonzentrationen an den inneren Oberflächen im Monoblock stattfindet.

Ist eine 2. Filterstufe eingebaut, zeigen Messungen an der Kammeroberfläche der 2. Filterstufe im Vergleich zur 1. Filterstufe eine andere Verteilung. 2/3 der nachgewiesenen Konzentrationen liegen unterhalb von 0.5 KBE/cm², nur 11 % liegen über 4 KBE/cm². Weitere Ergebnisse bezüglich Korrelationen von Oberflächenkeimen und Filtern finden sich in Kapitel 4.5 Einfluss Luftfilter ab Seite 54.

Bei einigen Bauteilen wurden nur wenige Abklatschproben entnommen (WRG: 8; Luftbefeuchter: 6; ZUL-Schalldämpfer: 10; ZUL-Kanal: 13). Aufgrund der geringen Stichprobe sind allgemeine Aussagen zu diesen Bauteilen nicht möglich.

Tupferproben sind nach der SWKI-Richtlinie VA104-02 zur Beurteilung von Oberflächenkeimen nicht vorgesehen. Trotzdem werden sie bei Hygieneinspektionen gerne eingesetzt, da die Probenahme beispielsweise zwischen Lamellen von Luftkühlern, Lufterhitzern und WRG mittels Abklatschen nicht möglich ist oder nicht erwünscht wird, da Rückstände von Nährmedien (z.B. zwischen Lamellen) nicht entfernt werden können. Da die Richtlinie keine Erfahrungswerte vorgibt, wurden für das Projekt von den beteiligten Inspektionsfirmen eigene Werte vorgeschlagen und die Oberflächen dementsprechend beurteilt. Auf das Thema Tupfer wird vertieft im Kapitel 4.11.4 Tupferproben ab Seite 84 eingegangen.

¹² Da standardisierte RODAC-Abklatschplatten mit einer Fläche von 23 cm² bei den Messungen verwendet wurden, werden die Konzentrationen von Oberflächenkeimen in dieser Arbeit mit KBE/cm² angegeben, obwohl die Erfahrungswerte aus der SWKI VA104-02 in KBE/25cm² vorliegen.

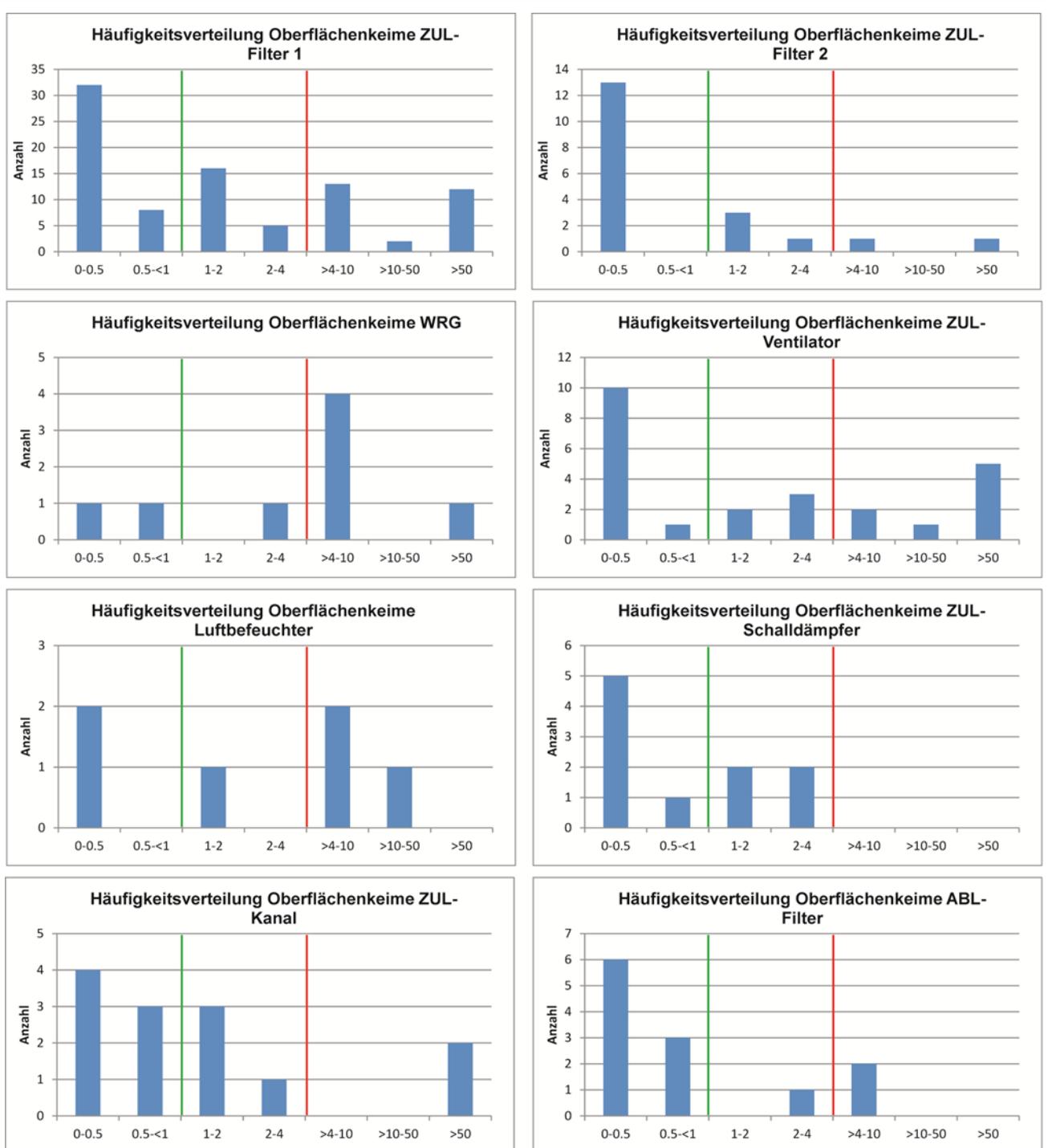


Abb. 23: Häufigkeitsverteilung der nachgewiesenen Oberflächenkeime (GKZ in KBE/cm²) von Abklatschproben in den jeweiligen Bauteilen.
 Rote Linie: Erfahrungswerte zur Beurteilung gemäss SWKI VA104-02 (rechts → unzureichend), grüne Linie: Erfahrungswerte (links → gut bis sehr gut)

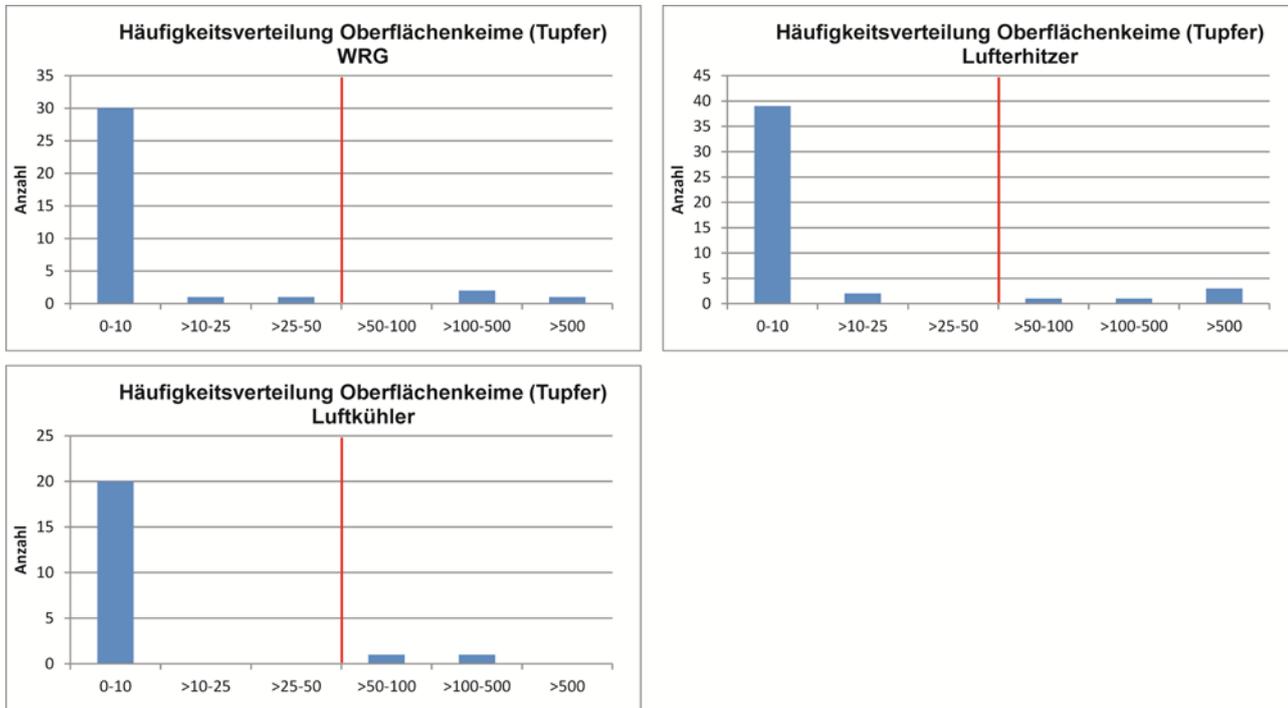


Abb. 24: Häufigkeitsverteilung der nachgewiesenen Oberflächenkeime (GKZ) von Tupferproben in den jeweiligen Bauteilen.

Rote Linie: Erfahrungswerte zur Beurteilung (rechts → unzureichend)

In Abb. 24 sind die Häufigkeiten der nachgewiesenen Oberflächenkeimkonzentrationen der Tupferproben für WRG, Lufterhitzer und –kühler dargestellt.

Bei allen drei mit Tupfern untersuchten Oberflächen werden in den meisten Fällen Konzentrationen unter 10 KBE/cm² nachgewiesen. Der Anteil an Proben über 50 KBE/cm² liegt zwischen 9 und 13 %. Die Konzentrationen liegen teilweise über 500 KBE/cm².

6.1.3. T/O-Beurteilung

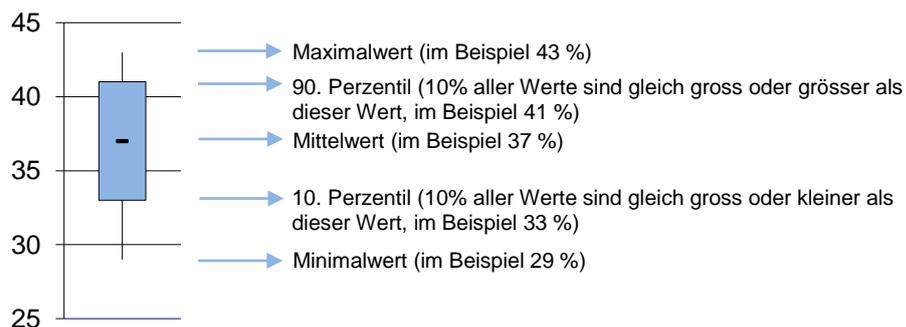
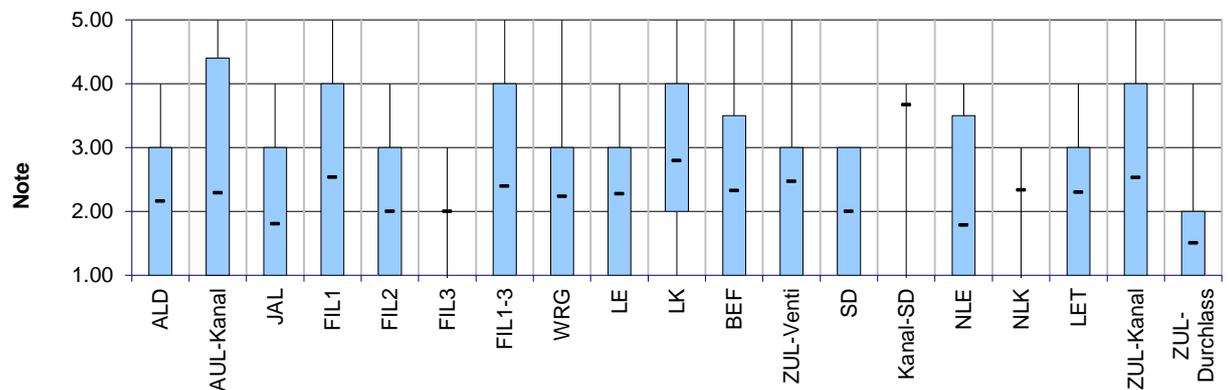


Abb. 25: Interpretationshilfe für statistische Auswertungen (Boxplots)

Die höchsten Mittelwerte in der T/O-Beurteilung (technisch-optische Beurteilung) ohne Note sechs (= nicht einsehbar) erhalten die Komponenten Kanalschalldämpfer (3.67), Luftkühler (2.79), 1. Filterstufe (2.54) und Zuluftkanal (2.53). Das 90. Perzentil liegt beim Aussenluftkanal (4.4) sowie den Komponenten 1. Filterstufe, Luftkühler, Zuluftkanal (je 4.0) am Höchsten. Das 10. Perzentil liegt beim Luftkühler am Höchsten (Abb. 26).

Die beste T/O-Note erhält der Zuluftdurchlass mit einem Mittelwert von 1.51, einer 10. Perzentile von 1.0 und einer 90. Perzentile von 2.0.

T/O-Benotungen Einzelkomponenten (exkl. nicht einsehbar)



T/O-Benotungen Einzelkomponenten (inkl. nicht einsehbar)

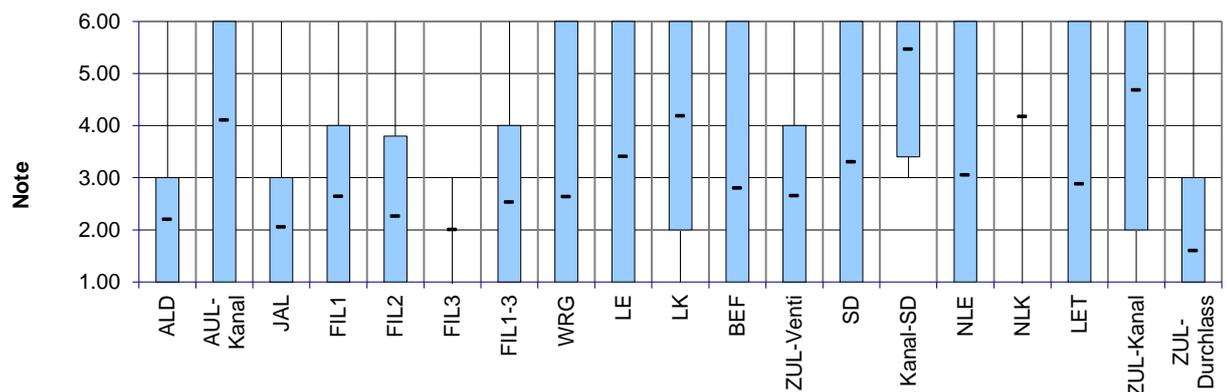


Abb. 26: Statistische Auswertung der T/O-Komponentenbenotung (oben ohne unzugängliche, unten mit unzugänglichen Komponenten).

Die Box entspricht dem 10. bzw. 90. Perzentil, die Strichenden dem Minimal- bzw. Maximalwert und der Querstrich dem arithmetischen Mittelwert (bei den Komponenten 3. Filterstufe, Kanalschalldämpfer und Nachluftkühler ist die Perzentilbildung aufgrund zu geringer Stückzahl nicht möglich).

Wird die Note sechs in die statistische Auswertung miteinbezogen, interessieren vor allem hohe 90. Perzentile. Sie weisen auf eine hohe Anzahl unzugänglicher, das heisst nicht einsehbarer Komponenten hin. Bei insgesamt 10 Komponenten beträgt das 90. Perzentil 6.0. Dies bedeutet, dass die jeweilige Komponente in mehr als 10 % der RLT-Anlagen nicht zugänglich ist.

Aus den statistischen Daten wurde eine Liste mit den jeweils fünf höchsten Mittelwerten (T/O-Bewertungen mit und ohne Note sechs) zusammengestellt (Tab. 4). Daraus lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Kanalschalldämpfer werden am schlechtesten beurteilt. Allerdings ist die Anzahl einsehbarer Komponenten gering (nur 3 Anlagen) und dagegen die Anzahl nicht einsehbarer Komponenten im Verhältnis hoch (10 Anlagen).
- Luftkühler erhalten die zweit schlechteste Beurteilung.
- Die 1. Filterstufe und der Zuluftkanal werden am dritt schlechtesten bewertet. Die schlechte Bewertung der Zuluftkanäle steht in Zusammenhang mit der mangelnden Zugänglichkeit (hoher T/O-Mittelwert mit Note 6).
- Der Aussenluftkanal weist die höchste 90.-Perzentile auf (Beurteilung ohne Note 6). Der Grund liegt darin, dass prozentual gesehen diese Komponente am meisten mit Note 5 bewertet wird.

Komponente	T/O-Note ohne 6				T/O-Note mit 6			
	n	Mittelwert	10.-P	90.-P	n	Mittelwert	10.-P	90.-P
Kanalschalldämpfer	3	3.67	-	-	13	5.46	3.4	6.0
Luftkühler	34	2.79	2.0	4.0	60	4.18	2.0	6.0
1. Filterstufe	97	2.54	1.0	4.0	100	2.64	1.0	4.0
Zuluftkanal	38	2.53	1.0	4.0	100	4.68	2.0	6.0
Zuluftventilator	90	2.47	1.0	3.0	95	2.65	1.0	4.0
Nachluftkühler	3	2.33	-	-	6	4.17	-	-
Aussenluftkanal	45	2.29	1.0	4.4	88	4.10	1.0	6.0

Tab. 4: Zusammenstellung von hygienerlevanten Komponenten mit den höchsten T/O-Mittelwerten (rot: höchster Wert; orange: 2. Höchster Wert; gelb: 3. Höchster Wert der jeweiligen Kategorie)

Die Hauptgründe, die zu einer Abwertung bei Komponenten mit einer T/O-Note gleich/grösser drei führen, sind Schmutz/Korrosion (47 %) und konstruktive Mängel (38 %). Zusammen sind sie für 85 % aller Abwertungen verantwortlich. Beschädigungen führen bei 8 % der Komponenten zu einer Abwertung, Feuchte bei 5 % und Innendämmung bei 2 % (Abb. 27).

Mit wenigen Ausnahmen sind die Schutz/Korrosion und konstruktive Mängel bei jedem Komponententyp für den Grossteil der Abwertungen verantwortlich. Die wenigen Ausnahmen sind der Aussenluft- und der Zuluftkanal. Hier werden vermehrt auch Feuchte und Innendämmungen bemängelt (Abb. 29).

Gründe für Abwertungen (alle Komponenten)

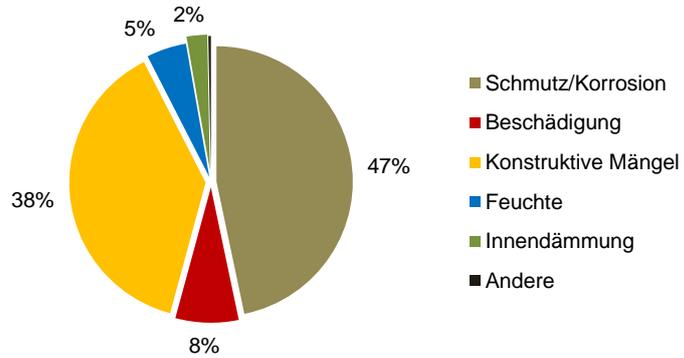


Abb. 27: Zusammenstellung der Gründe für eine Abwertung bezogen auf alle hygiene relevanten Komponenten mit einer T/O-Note von ≥ 3 .

19 % aller hygiene relevanten Komponenten können aufgrund fehlender Zugänglichkeit nicht beurteilt werden. Bei 21 % ist der Zugang eingeschränkt, bei 58 % ist der Zugang für eine Inspektion gewährleistet (Abb. 28).

Zwischen den Komponententypen besteht bezüglich der Zugänglichkeit ein grosser Unterschied. Wenig zugänglich sind Kanalschalldämpfer (77 %), Zuluftkanäle (62 %), Nachkühler (50 %), Aussenluftkanäle (48 %) und Luftkühler (43 %). Zuluftdurchlass mit 92 %, Filterkammern mit 92 %, Aussenluftdurchlass mit 85 % und Befeuchterkammer mit 75 % sind dagegen gut zugänglich (Abb. 30).

Zugänglichkeit - alle Komponenten

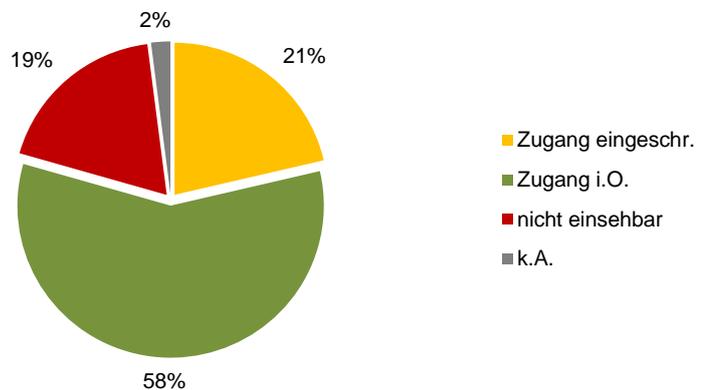


Abb. 28: Beurteilung der Zugänglichkeit bezogen auf alle hygiene relevanten Komponenten

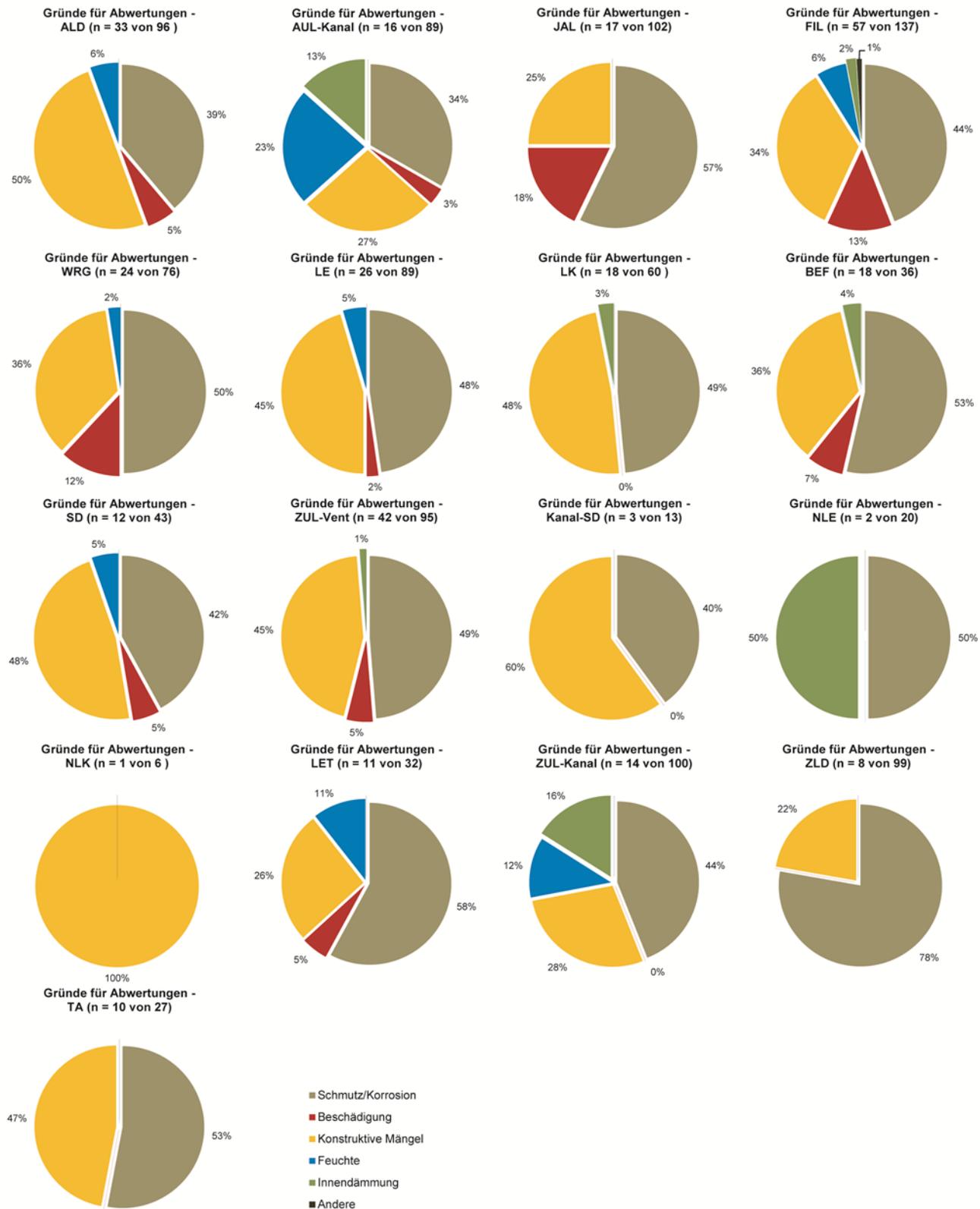


Abb. 29: Zusammenstellung der Gründe für Abwertung der T/O-Note (Komponenten mit Note ≥ 3)

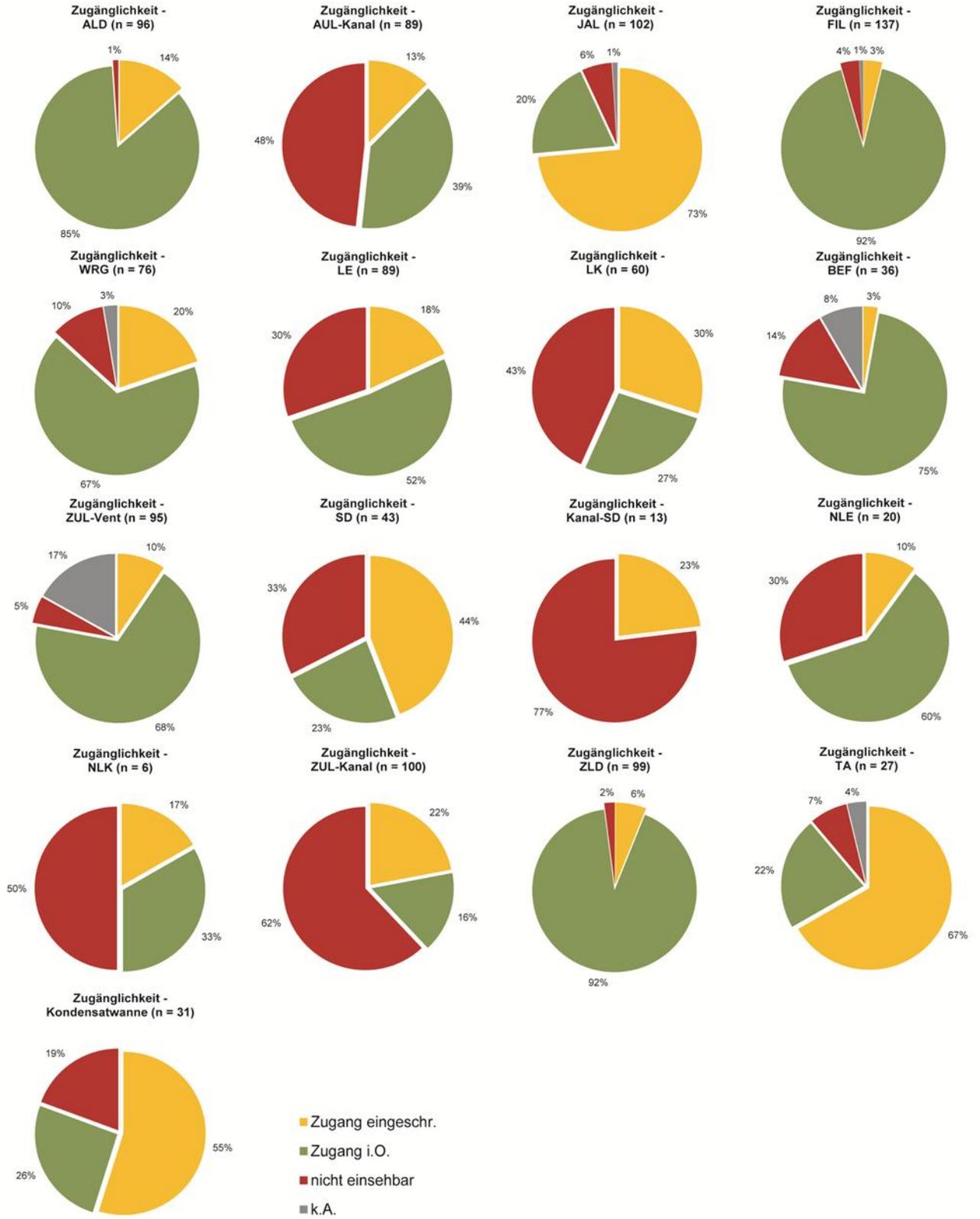


Abb. 30: Zusammenstellung der Zugänglichkeit

6.2. Schutz von Personen (Arbeitsplatz und Wohnbereich)

6.2.1. Gesamtkeimzahl

Die Gesamtkeimzahl der Zuluft liegt bei allen untersuchten Anlagen unterhalb der Vergleichsluft (in der Regel die Aussenluft). Damit ist die Mindestanforderung, wie sie in der SWKI-Richtlinie VA104-01¹³ definiert ist, bei allen untersuchten RLT-Anlagen erfüllt.

6.2.2. Bakterien

In fünf Fällen überschreitet die Bakterienkonzentration der Zuluft die Konzentrationen in der Vergleichsluft. Bei den RLT-Anlagen handelt es sich um RLT-34, 45, 49, 64 und 90 (siehe Schemata im Anhang). Darunter befinden sich keine Anlagen mit Umluft. Die Vergleichsluft ist in jedem Fall die Aussenluft. Die fünf Anlagen sind in Nichtwohnbauten lokalisiert.

RLT-Anlage	ZUL/AUL-Verhältnis	ZUL-Konzentration [KBE/m ³]	T/O-Gesamtnote	Filterklasse	Kühler	Befeuchter	Innen-dämmung	Haupt-Abwertungsgründe
34	1.25	150	3.9	F7	ja	nein	nein	Feuchte Schmutz
45	4	290	2.5	G4	nein	nein	nein	Feuchte Schmutz
49	1.01	152	2.3	-	nein	nein	ja (Styropor)	Schmutz
64	3.25	130	2	F9	ja	nein	nein	Schmutz
90	3.6	36	4	G?	nein	nein	nein	Feuchte Schmutz

Tab. 5: Anlagencharakteristika bei erhöhten Bakterienkonzentrationen in der Zuluft

Bei drei RLT-Anlagen sind Feuchte und Schmutz vorhanden, die zusammen Keimwachstum fördern (Tab. 5). Bei zwei dieser Anlagen entspricht zudem die Filterklasse nicht der Anforderung gemäss SWKI-Richtlinie VA104-01. RLT-49 weist gar keinen Partikelfilter auf, weshalb die Bakterienkonzentration in etwa der Aussenluftkonzentration entspricht (ZUL/AUL-Verhältnis 1.01). Bei der RLT-Anlage 64 finden sich keine Indizien für mögliche Gründe einer erhöhten Bakterienkonzentration. Die Komponenten weisen zwar vereinzelt Schmutz auf, die T/O-Gesamtnote liegt allerdings bei 2.0 und damit unterhalb des Mittelwerts aller untersuchten Anlagen von 2.24.

¹³ Soweit gesundheitsrelevante Richtwerte oder technische Kontrollwerte nicht vorliegen, gilt als Mindestanforderung, dass die Luftqualität durch RLT-Anlagen in keinem Bereich verschlechtert wird (SWKI VA104-01 Seite 9)

Die Bakterienkonzentrationen liegen deutlich unterhalb von üblichen Werten, die in Bürogebäuden gemessen werden. Gemäss einer deutschen Untersuchung [ProKlima, 2003] liegt der Mittelwert der Bakterienkonzentrationen in der Raumluft von Bürogebäuden bei 188 KBE/m³, das 95. Perzentil bei 670 KBE/m³. Bei fehlenden toxikologisch begründeten Richtwerten wird häufig zur Orientierung auf statistische Werte, in der Regel das 90. oder 95. Perzentil zurückgegriffen. Dies erlaubt eine Einschätzung, ob die gefundenen Werte als auffällig zu beurteilen sind. Gesundheitliche Aussagen lassen sich daraus allerdings nicht ableiten. Die SUVA hat für Bakterien zum Schutz von Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern ein Orientierungswerte¹⁴ für Luftkeime publiziert [SUVA, 2012]. Für gramnegative Bakterien liegt er bei 1'000 KBE/m³. Unter diesen Gesichtspunkten sind die in der Zuluft gefundenen Bakterienkonzentrationen als nicht auffällig zu bewerten.

6.2.3. Schimmelpilze

Eine einzige Anlage (RLT-63) weist in der Zuluft eine höhere Schimmelpilzkonzentration auf als in der Vergleichsluft. Dabei handelt es sich um eine Umluftanlage, die Vergleichsluft ist in diesem Fall die Raumluft.

Die SWKI-Richtlinie VA104-01 sagt klar aus, dass es in der Zuluft zu keiner Verschlechterung kommen darf. Im konkreten Fall werden in der Raumluft keine Schimmelpilzsporen nachgewiesen, in der Zuluft 4 KBE/m³ (was bei einem Probenvolumen von 0.25 m³ exakt einem Keim entspricht). Hier stellt sich grundlegend die Frage nach der statistischen Relevanz dieses Unterschieds. Oder anders gesagt, wie gross muss der Unterschied sein, damit aus statistischer Sicht sowohl bezüglich Zuluft-/Aussenluft-Verhältnis als auch bezüglich einer Keimspektrumsverschiebung von einem Nichterfüllen der Anforderung gesprochen werden kann. Hier besteht weiterer Abklärungsbedarf.

Aus gesundheitlicher Sicht sind 4 KBE/m³ irrelevant. Der Mittelwert der Schimmelpilzkonzentration in der Aussenluft liegt bei 790 KBE/m³ (Daten aus dieser Untersuchung) und der Orientierungswert gemäss SUVA liegt bei 1'000 KBE/m³.

¹⁴ Die SUVA weist darauf hin, dass zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine wissenschaftlich begründete Grenzwerte für luftgetragene biologische Arbeitsstoffe festgelegt werden können.

6.3. Vergleich mit anderen Ländern

Daten aus diesem Projekt werden mit publizierten Daten aus zwei grösseren Studien [ProKlimA und BASE] sowie mit Erfahrungen aus Deutschland [VDI Berichte 2003] verglichen. Die Schwierigkeit besteht grundsätzlich in der unterschiedlichen Datenerhebung. Die amerikanische Studie beruht auf einer Erhebung aus den Jahren 1994 bis 1998 in 100 Bürogebäuden mit insgesamt 141 RLT-Anlagen. Die ProKlimA-Studie umfasst 40 RLT-Anlagen aus 8 Gebäuden, die zwischen 1995 bis 1998 untersucht wurden. Der Ichnenkatalog der Hygieneinspektionen beider Studien unterscheidet sich hinsichtlich Detailierungsgrad und Anknüpfung an die Hygienerichtlinie, die erst 1998 in Deutschland erschienen ist [VDI 6022]. Bei den in den VDI-Berichten publizierten Daten handelt es sich um Erfahrungswerte von Praktikern.

Hinsichtlich des Vergleichs von Resultaten dieser Untersuchung mit andern Studien wird ausdrücklich auf die Unterschiede hingewiesen, die bei der Interpretation berücksichtigt werden müssen:

- Bei den zwei grösseren Studien handelt es sich um ältere Daten. 2/3 der untersuchten Gebäude der BASE-Studie weisen ein Baujahr älter als 1980 auf. Alle untersuchten RLT-Anlagen der ProKlimA-Studie wurden vor der Veröffentlichung der ersten Hygienerichtlinie VDI 6022 1998 untersucht.
- Die RLT-Anlagen aus der ProKlimA-Studie weisen praktisch alle eine Befeuchtung auf (95 %). Sowohl in der BASE-Studie als auch in dieser Untersuchung ist der grösste Teil der untersuchten RLT-Anlagen ohne Befeuchter ausgestattet (Abb. 31).

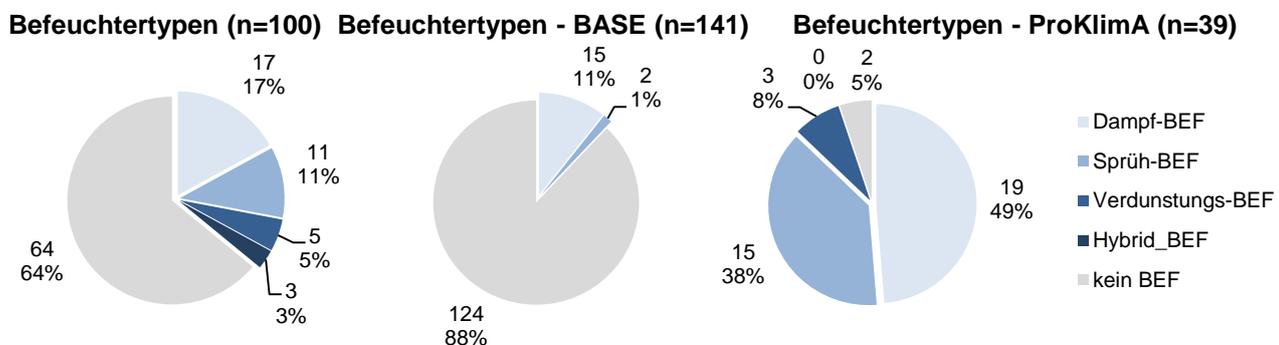


Abb. 31: Befeuchtertypen der untersuchten RLT-Anlagen dieser Untersuchung (links), der BASE-Studie (Mitte) und der ProKlimA-Studie (rechts).

- Bei den untersuchten Gebäuden der BASE- wie auch der ProKlimA-Studie handelt es sich ausnahmelos um Bürogebäude. In dieser Unter-

suchung sind alle Gebäudetypen vertreten.

- Die Daten lassen sich nur allgemein miteinander vergleichen, da andere Beurteilungsmassstäbe bzw. –grundlagen angewendet wurden. Inwiefern sie im Detail übereinstimmen, sprengt den Rahmen dieses Projekt.
- Am besten vergleichbar sind die Daten aus den VDI Berichten, da die Inspektionen nach der VDI 6022 durchgeführt wurden. Allerdings handelt es sich um Kundenaufträge und nicht um Projektspezifisch ausgewählte Objekte. Zudem sind nur allgemeine Teilergebnisse publiziert.

In Abb. 32 und Abb. 33 sind die T/O-Beurteilungen von Aussenluftdurchlass, Zuluftfilter, Schalldämpfer, Heiz-/Kühlregister, Befeuchter und Zuluftkanal der Base-Studie denjenigen dieser Untersuchung gegenübergestellt. Auffallend ist die grosse Übereinstimmung vor allem bei der Beurteilung schlecht. Mit Ausnahme der Zuluftkanäle liegt der Anteil als schlecht beurteilter Komponenten zwischen 8 und 14 % (BASE) bzw. zwischen 5 und 12 % (diese Untersuchung). Für gut befunden werden bei der Base-Studie zwischen 50 und 66 % der Komponenten, in dieser Untersuchung liegt dieser Anteil zwischen 50 und 65 %.

Der Unterschied zwischen den beiden Untersuchungen bezüglich Zuluftkanälen lässt sich einerseits im Fragenkatalog, andererseits in der geringen Anzahl untersuchter Zuluftkanäle in dieser Untersuchung erklären. Mehr als 60 % der Zuluftkanäle sind nicht einsehbar und können deshalb auch nicht beurteilt werden. Warum in der BASE-Studie praktisch alle Kanäle zugänglich scheinen, kann nicht erklärt werden. Allenfalls wurde die Zugänglichkeit verschieden interpretiert bzw. aufwändigere Inspektionsverfahren (Öffnen von Anlagenteilen, Schneiden von Revisionsöffnungen) angewendet.

In Abb. 34 sind die Gesamtnoten der technisch-optischen Beurteilung aus der ProKlima-Studie (Wartung und Planung) der Noten aus dieser Untersuchung gegenübergestellt. Die Ergebnisse bzw. Noten sind im Mittel etwas besser bei der aktuellen Untersuchung (2.24 gegenüber 2.62). Ebenfalls tiefer fallen das 10. und 90. Perzentil aus.

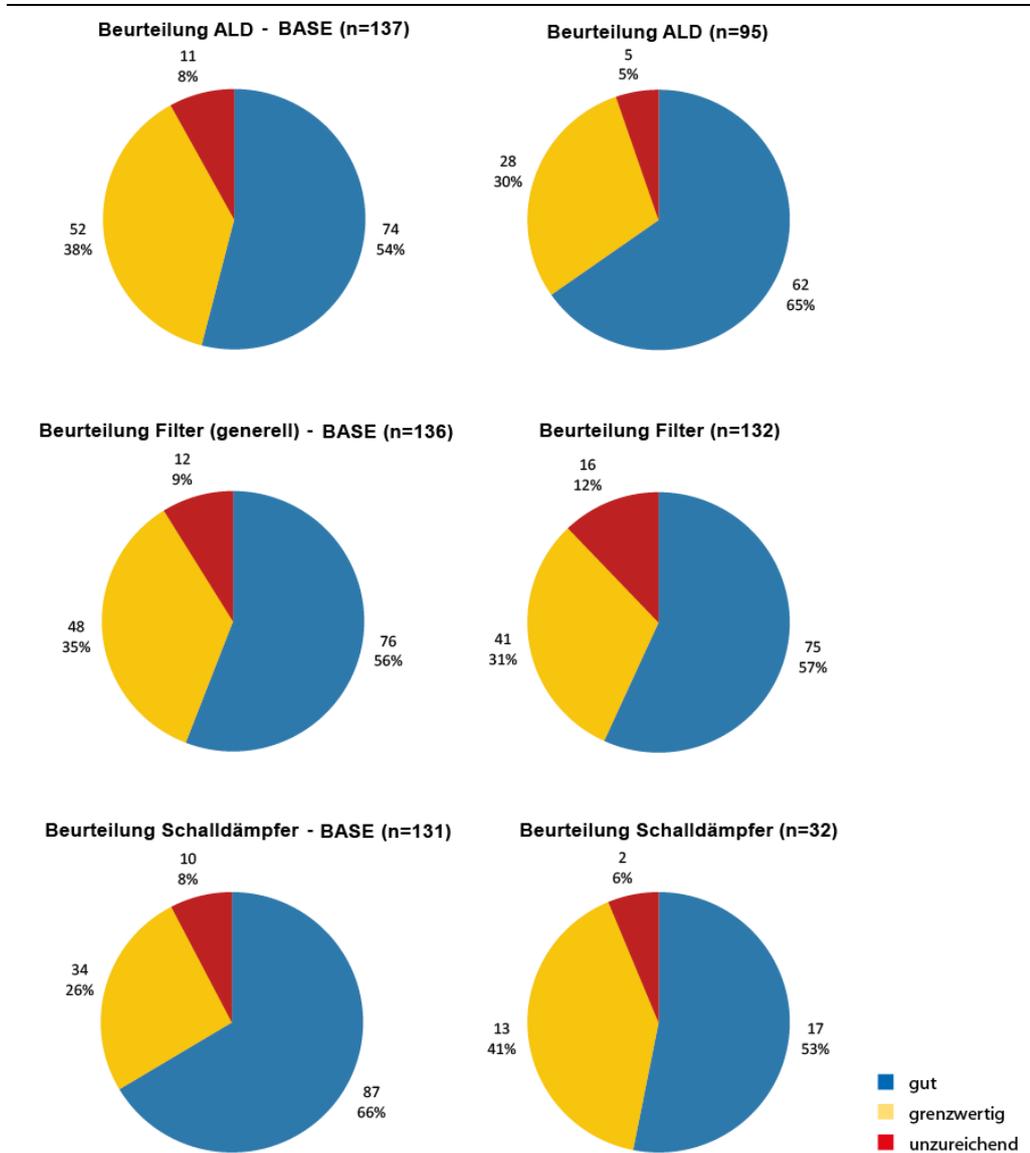


Abb. 32: Vergleich der T/O-Bewertungen von Aussenluftdurchlass (ALD); Zuluffiltern (FIL) und Schalldämpfern der BASE-Studie (linke Kreisdiagramme) mit der vorliegenden Untersuchung (rechte Kreisdiagramme).

Die Beurteilung in der BASE-Studie bezüglich ALD beruht auf Schmutz, Schaden und offene Schalldämpfer; bezüglich Filter auf Filter und Filterrahmenzustand; bezüglich Schalldämpfer auf Zustand und Position. Unzugängliche Komponenten sind in den Grafiken dieser Untersuchung nicht enthalten. Die Beurteilung von Komponenten dieser ergibt sich aus der 5-skalgigen Benotung (gemäss Kapitel Technisch-optische Beurteilung Seite 17), wobei 1+2=gut, 3=befriedigend, 4+5=schlecht.

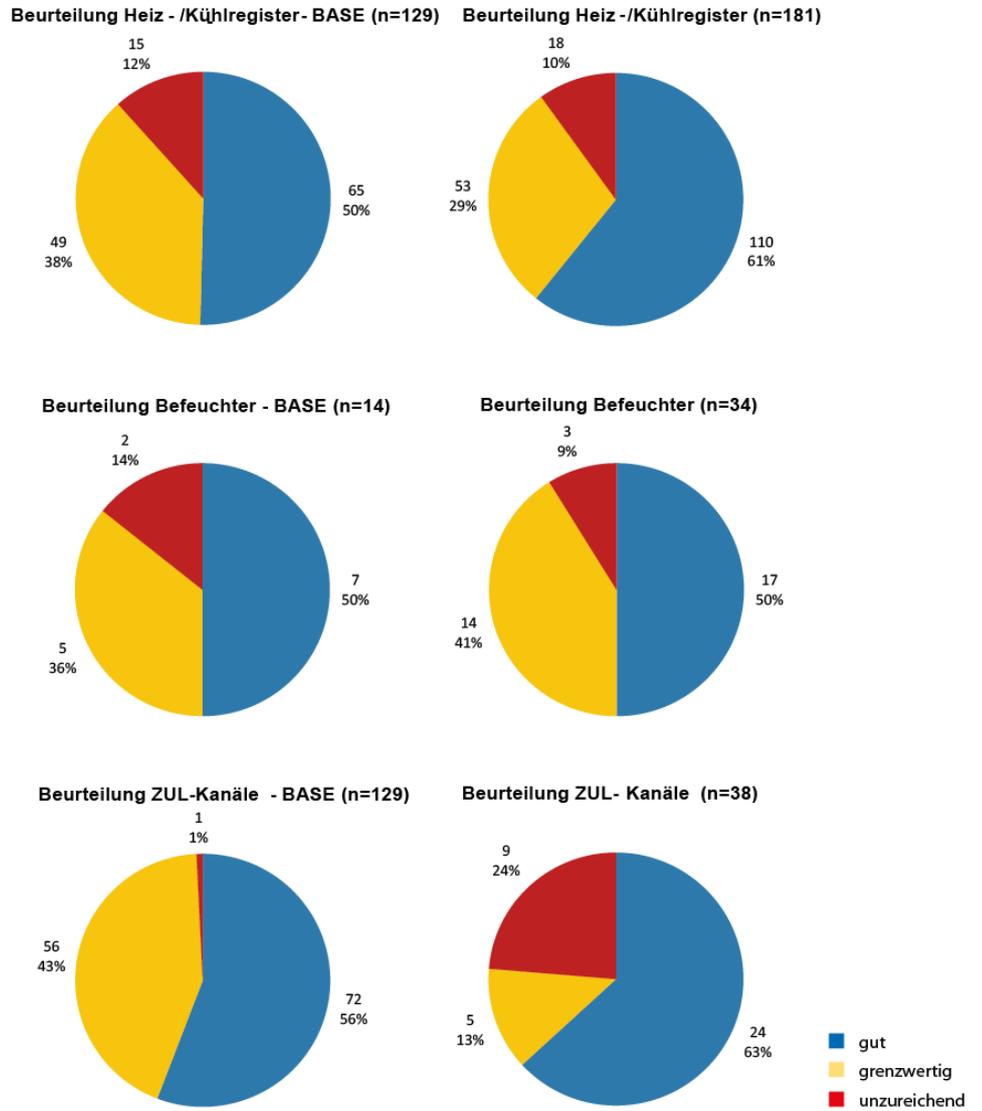


Abb. 33: Vergleich der Beurteilungen von Heiz-Kühlregistern, Befeuchtern und Zuluftkanälen der BASE-Studie (linke Kreisdiagramme) mit der vorliegenden Untersuchung (rechte Kreisdiagramme). Die Beurteilung in der BASE-Studie bezüglich Heiz-Kühlregistern beruht auf Schmutz; bezüglich Befeuchtern auf Schmutz, Korrosion und Zustand; bezüglich Zuluftkanälen auf Schmutz, Befestigung und Beschriftung. Unzugängliche Komponenten sind in den Grafiken dieser Untersuchung nicht enthalten. Die Beurteilung von Komponenten dieser ergibt sich aus der 5-skalgigen Benotung (gemäss Kapitel „Technisch-optische Beurteilung“ Seite 17), wobei 1+2=gut, 3=befriedigend, 4+5=schlecht.

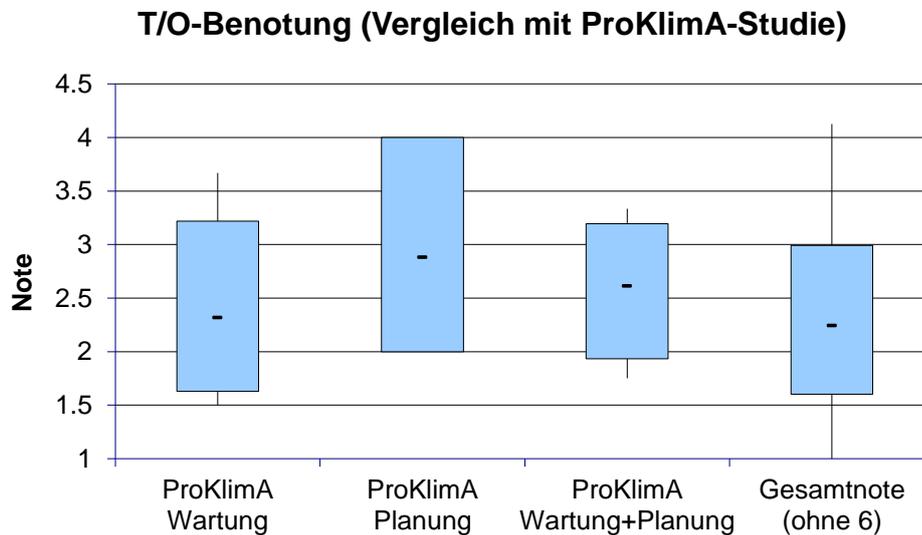


Abb. 34: Vergleich der technisch-optischen Beurteilung der untersuchten RLT-Anlagen der ProKlima-Studie mit der vorliegenden Untersuchung.

Die Notengebung der ProKlima-Studie wurde für den Wartungszustand (Schmutz, Korrosion, Beschädigung) und die Planung (Stand der Technik) separat durchgeführt. Zur Vergleichbarkeit mit den Resultaten dieser Untersuchung (Beurteilung von Wartungszustand und Planung zusammen, ohne Note 6 – nicht einsehbar) wurde aus den beiden Teilnoten ein Mittelwert gebildet. Die Box entspricht dem 10. bzw. 90. Perzentil, die Strichenden dem Minimal- bzw. Maximalwert und der Querstrich dem arithmetischen Mittelwert.

Eine Auswertung von Hygieneinspektionen des Instituts für Lufthygiene ILH in Berlin vor und nach Erscheinen der Hygienerichtlinie in Deutschland 1998 zeigte unter anderem, dass der Anteil unzugänglicher hygienerelevanter Anlagenkomponenten nach Erscheinen der Richtlinie sank [VDI Berichte 2003]. Die in dieser Untersuchung inspizierten RLT-Anlagen zeigen ab Erscheinen der CH-Richtlinie den gleichen Effekt (Abb. 35). Allerdings ist dabei folgendes zu bemerken:

- Bei RLT-Anlagen mit Baujahr vor 2004 liegt der Anteil von Wohngebäuden bei 9 %, ab 2004 bei 43 %.
- RLT-Anlagen aus Wohngebäuden weisen im Vergleich zu Nichtwohngebäuden einen tieferen Anteil unzugänglicher hygienerelevanter Komponenten auf (siehe Kapitel 4.4 Einfluss Wohn- / Nichtwohngebäude ab Seite 47).

Ob der Rückgang im Anteil unzugänglicher Komponenten auf das Erscheinen der Richtlinie zurückzuführen ist, bleibt zumindest fragwürdig.

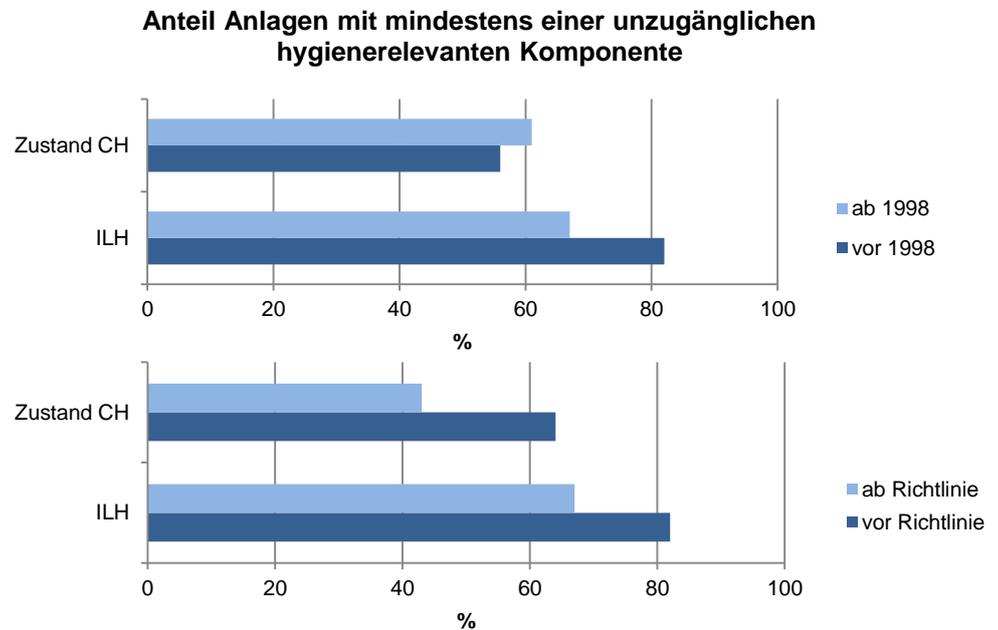


Abb. 35: Anteil Anlagen mit unzugänglichen hygienerlevanten Komponenten vor und nach Erscheinen der Deutschen (1998) und Schweizer Hygienerichtlinie (2004)

6.4. Einfluss Wohn-/Nichtwohngebäude

Seit vermehrt energieeffiziente Wohnbauten (z.B. Minergie®) erstellt werden, nimmt die Verbreitung von RLT-Anlagen in Wohnbauten zu. Vor allem in Einfamilienhäusern werden dazu kompakte Kleingeräte eingesetzt. Die Frage interessiert deshalb, ob und in welchem Ausmass Unterschiede zwischen Wohn- und Nichtwohnbauten bestehen und ob sich daraus ein Handlungsbedarf speziell für Wohnbauten ableiten lässt.

6.4.1. T/O-Beurteilung

Im Mittel liegen die T/O-Beurteilungen hygienerrelevanter Komponenten bei Wohn- und Nichtwohngebäuden bei beinahe identischen Werten (Abb. 36). Einzig in der Streuung der Werte ist ein leichter Unterschied erkennbar. Unter den Nichtwohngebäuden befinden sich RLT-Anlagen, die sowohl besser als auch schlechter wie die in Wohngebäuden beurteilt werden.

Interessant ist der Vergleich bezüglich Anzahl Komponenten, die eine Note von drei oder schlechter aufweisen. In Wohngebäuden liegt der Anteil an Anlagen, deren Einzelkomponenten fünfzig Prozent und mehr beanstandet

werden (T/O-Note liegt bei ≥ 3), bei 19 %. In Nichtwohngebäuden beträgt dieser Anteil 33 % (Abb. 37).

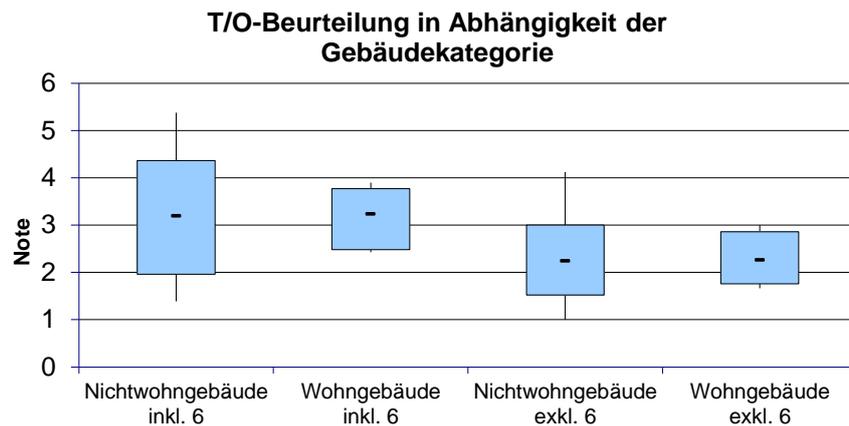


Abb. 36: Statistische Auswertung der T/O-Gesamtnote hygienerrelevanter Komponenten in Abhängigkeit vom Gebäudetyp (Wohnbauten/Nichtwohnbauten).
Die Box entspricht dem 10. bzw. 90. Perzentil, die Strichenden dem Minimal- bzw. Maximalwert und der Querstrich dem arithmetischen Mittelwert.

Ein weiterer Unterschied ist in Bezug auf unzugängliche Komponenten erkennbar. In Nichtwohngebäuden weisen 11 % der untersuchten Anlagen unzugängliche Bauteile auf, die einen Anteil von fünfzig Prozent bezüglich hygienerrelevanter Komponenten erreichen bzw. überschreiten (Abb. 38). In Wohngebäuden ist keine Anlage mit einem solch hohen Anteil unzugänglicher Komponenten vorhanden.

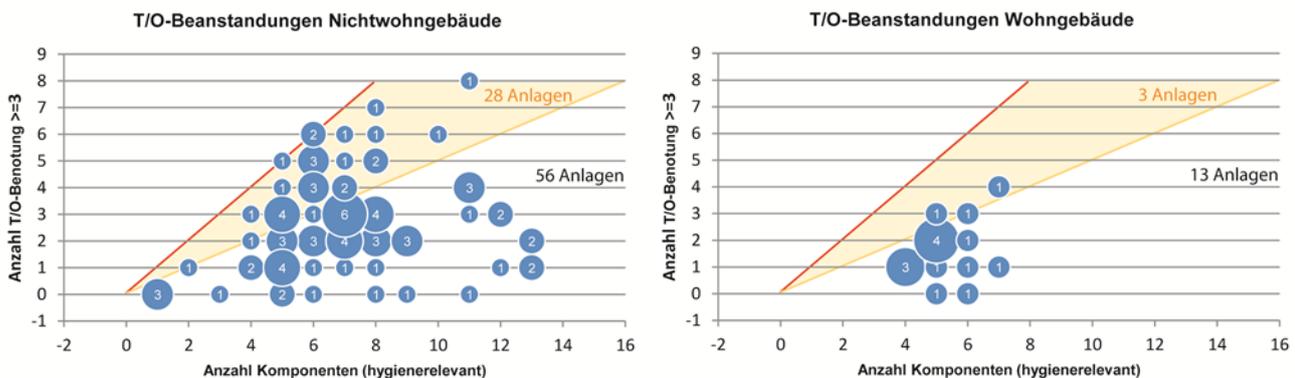


Abb. 37: Anzahl technisch-optische Beanstandungen (ohne unzugängliche Komponenten) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygienerlevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und der Gebäudekategorie.
Die Blasenfläche entspricht der Anzahl Anlagen mit gleicher Paarung. Orange hinterlegt: Anlagen, deren T/O-Note zu 50 % und mehr beanstandet wurden.

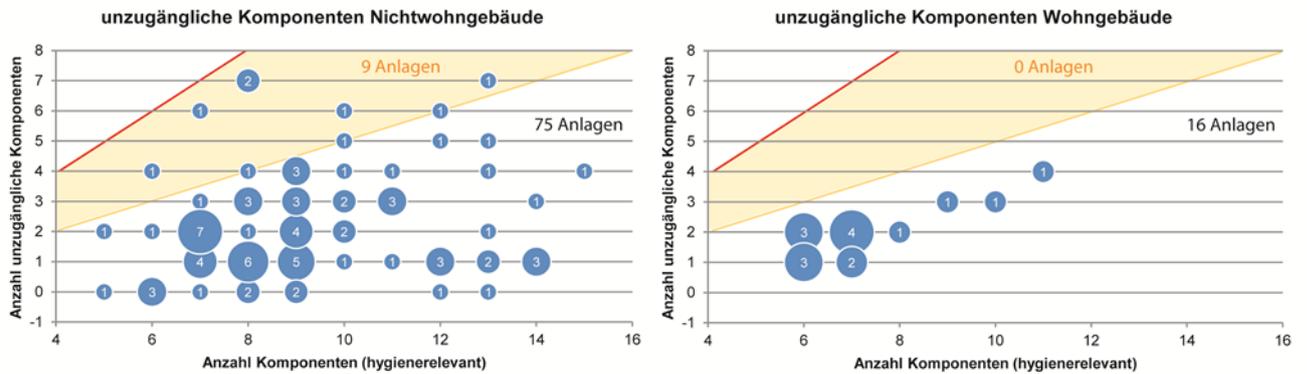


Abb. 38: Anzahl unzugängliche Komponenten in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygienerelevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und der Gebäudekategorie.
 Die Blasenfläche entspricht der Anzahl Anlagen mit gleicher Paarung. Orange hinterlegt: Anlagen, deren Anteil unzugänglicher Bauteile 50 % und mehr beträgt.

6.4.2. Oberflächenkeime

Auf dem Kammerboden abströmseitig der ersten Filterstufe werden bei RLT-Anlagen in Wohngebäuden im Mittel höhere Gesamtkeimkonzentrationen nachgewiesen als in Nichtwohngebäuden (Abb. 39). Dies liegt darin, dass der Anteil von Oberflächen mit einer sehr hohen Belastung (mehr als 50 KBE/cm²) bei Wohnbauten mit 21 % höher ist als bei Nichtwohnbauten mit 12 % (Abb. 40). Der Anteil von nicht zu beanstandenden Oberflächen der ersten Filterstufe liegt bei Wohn- und Nichtwohnbauten praktisch gleich hoch (45 % bzw. 43 %).

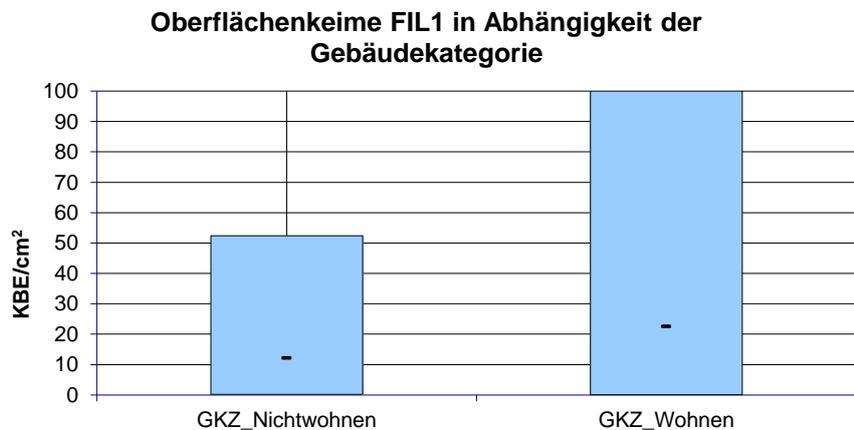
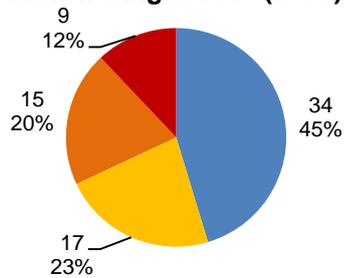


Abb. 39: Statistische Auswertung der Oberflächenkeime (GKZ) in Abhängigkeit vom Gebäudetyp (Wohnbauten/Nichtwohnbauten).
 Die Box entspricht dem 10. bzw. 90. Perzentil, die Strichenden dem Minimal- bzw. Maximalwert und der Querstrich dem arithmetischen Mittelwert.

**Oberflächenkeime FIL1
Nichtwohngebäude (n=75)**



**Oberflächenkeime FIL1
Wohngebäude (n=14)**

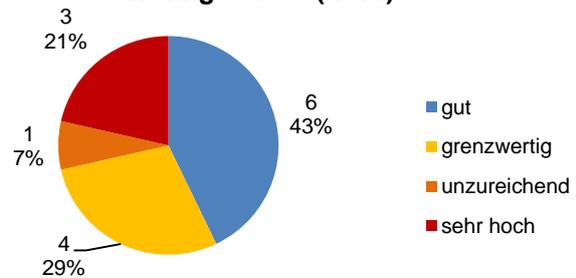


Abb. 40: Beurteilung¹⁵ der Oberflächenkeime der ersten Filterstufe in Abhängigkeit vom Gebäudetyp (Wohnbauten/Nichtwohnbauten).

In Abb. 41 sind RLT-Anlagen, in denen der Anteil beanstandeter Oberflächen bei 50 % und mehr liegt, sowohl für Wohn- als auch für Nichtwohngebäude zusammengestellt. Dieser Anteil liegt bei beiden Gebäudetypen bei 19 %.

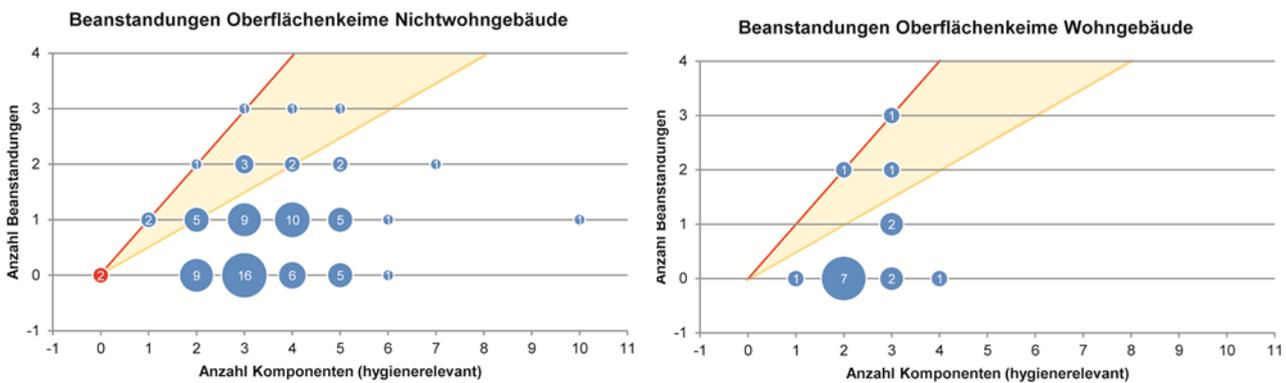


Abb. 41: Anzahl Beanstandungen bezüglich Oberflächenkeimen (Abklatsche und Tupferproben) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der Messorte der entsprechenden RLT-Anlage und zum Gebäudetyp. Die Blasenfläche entspricht der Anzahl Anlagen mit gleicher Paarung. Orange hinterlegt: Anlagen, deren Oberflächen zu 50 % und mehr beanstandet wurden. Roter Punkt: Anlagen, die aufgrund fehlender Zugänglichkeit nicht beprobt werden konnten.

6.4.3. Luftkeime

Sowohl bei Wohn- als auch bei Nichtwohngebäuden werden in der Zuluft im Vergleich zur Aussenluft deutlich tiefere Luftkeimkonzentrationen nachgewiesen. Das Verhältnis Zuluft- zu Aussenluftkonzentration liegt zu 69 % und mehr unter 0.1 (Abb. 42). Der Unterschied zwischen Wohn- und Nichtwohngebäuden ist klein. Überschreitungen des Schutzziels gemäss SWKI-Richtlinie VA104-01 (Zuluft darf in keiner Kategorie schlechter sein als Ver-

¹⁵ Beurteilung: gut <1 KBE/cm²; grenzwertig 1-4 KBE/cm²; unzureichend >4-50 KBE/cm²; sehr hoch >50 KBE/cm²

gleichsluft) sowie ein ZUL-/AUL-Verhältnis von mehr als 0.4 werden nur in Nichtwohngebäuden festgestellt.

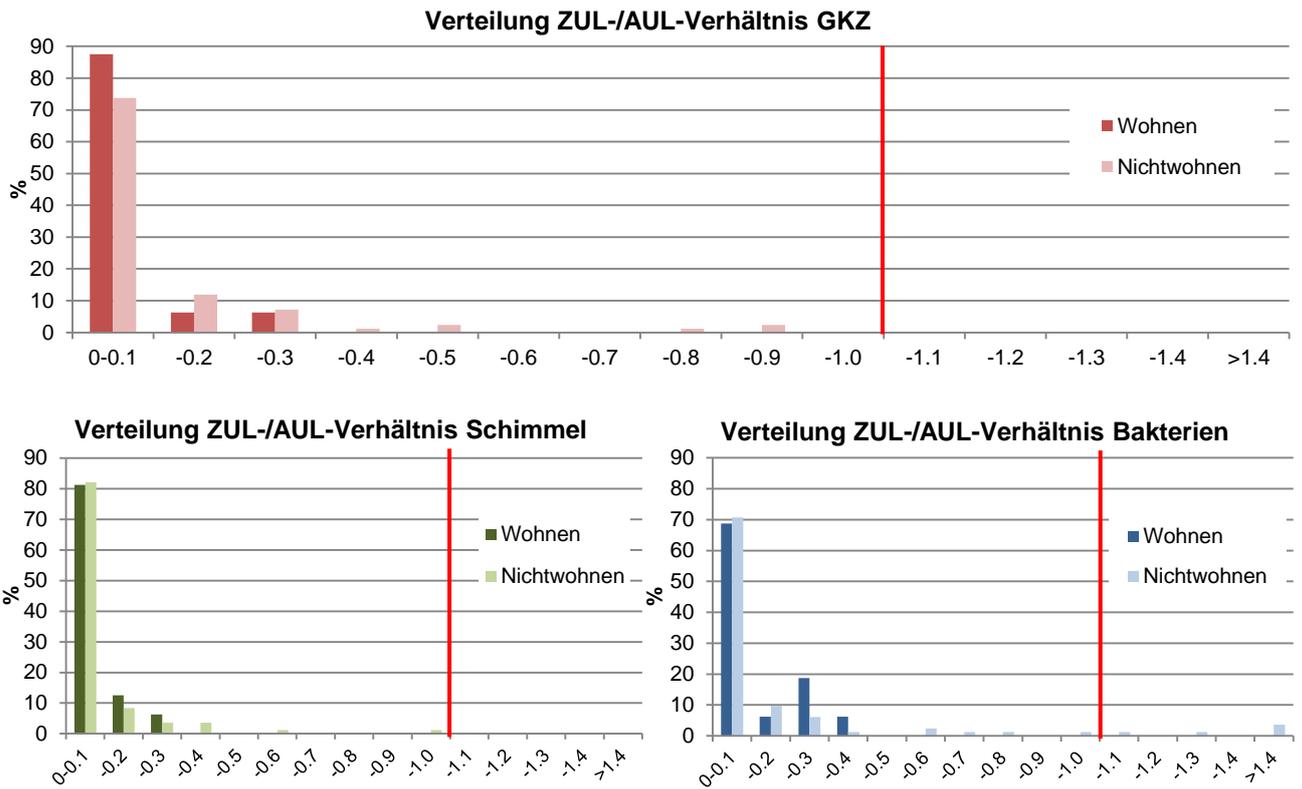
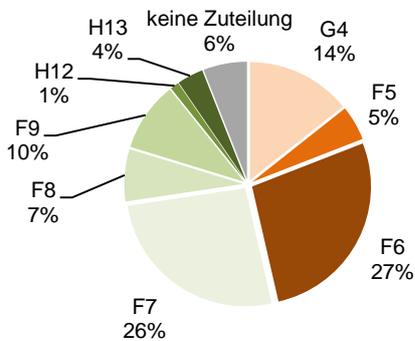


Abb. 42: Häufigkeitsverteilung des Verhältnisses Zuluft-/ Aussenluftkonzentration bezüglich Gesamtkeimzahl (GKZ), Schimmelpilzsporen und Bakterien bei Wohngebäuden (n=14) und Nichtwohngebäuden (n=86) mit Anforderung SWKI-Richtlinie VA104-01 (rote Linie)

6.4.4. Filterklasse

In Wohngebäuden weist die letzte Filterklasse höchstens F7 auf. Sie erreicht einen Anteil von 38 %. Die restlichen Filterstufen erfüllen die Anforderungen gemäss SWKI-Richtlinie VA104-01 (mindestens F7) nicht. In den Nichtwohngebäuden liegt der Anteil an den mit SWKI VA104-01 konformen Filterstufen bei 48 % (Abb. 43).

Filterklassen (letzter Filter) - Nichtwohngebäude



Filterklassen (letzte Filterstufe) - Wohngebäude

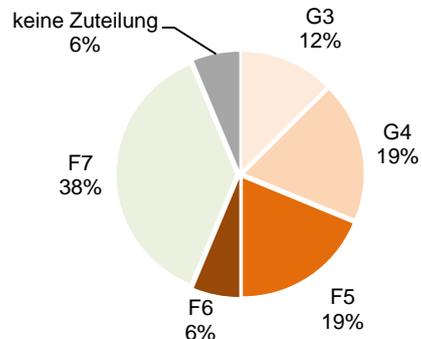


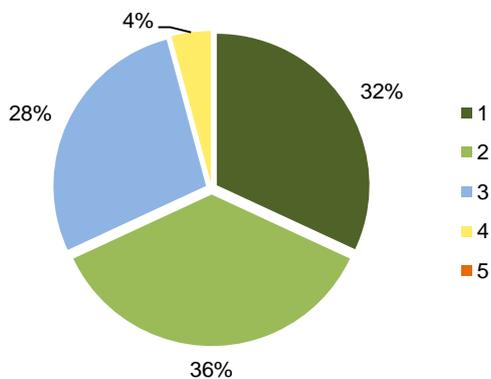
Abb. 43: Klassenverteilung der letzten Filterstufe bei Nichtwohn- und Wohngebäuden

6.4.5. Instandhaltung

Grundsätzlich beurteilen Anlagenverantwortliche von Wohn- und Nichtwohngebäude den Hygienezustand ihrer RLT-Anlagen in etwa gleich gut (Abb. 44). 68 % der Befragten von Nichtwohngebäuden und 73 % von Wohngebäuden beurteilen den Hygienezustand als gut bis sehr gut (Note eins bis zwei).

Bezüglich Instandhaltung sind Unterschiede zwischen den beiden Gebäudekategorien erkennbar. Während RLT-Anlagen von Nichtwohngebäuden zu 51 % nach einem anerkannten Standard instandgehalten werden, sind es bei Wohngebäuden nur 6 % (Abb. 45). Dazu sind nur 1/3 Instandsetzungsdokumente vorhanden. Bei Nichtwohngebäuden sind es 2/3. Die Hygiene-richtlinie SWKI VA104-01 wird bei Nichtwohngebäude von 19 % genutzt, bei Wohngebäude nur gerade von einer Person, was 6 % entspricht.

Beurteilung des Hygienezustands - Nichtwohngebäude



Beurteilung des Hygienezustands - Wohngebäude

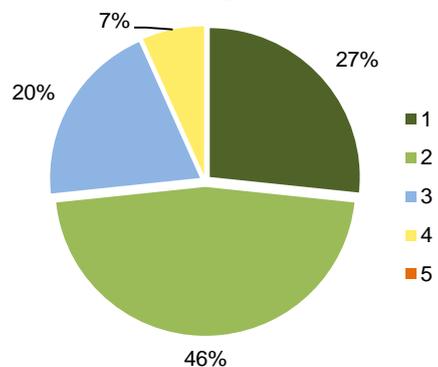


Abb. 44: Beurteilung des Hygienezustands durch Anlagenverantwortliche von Wohn- und Nichtwohngebäuden (1: gut bis 5: schlecht)

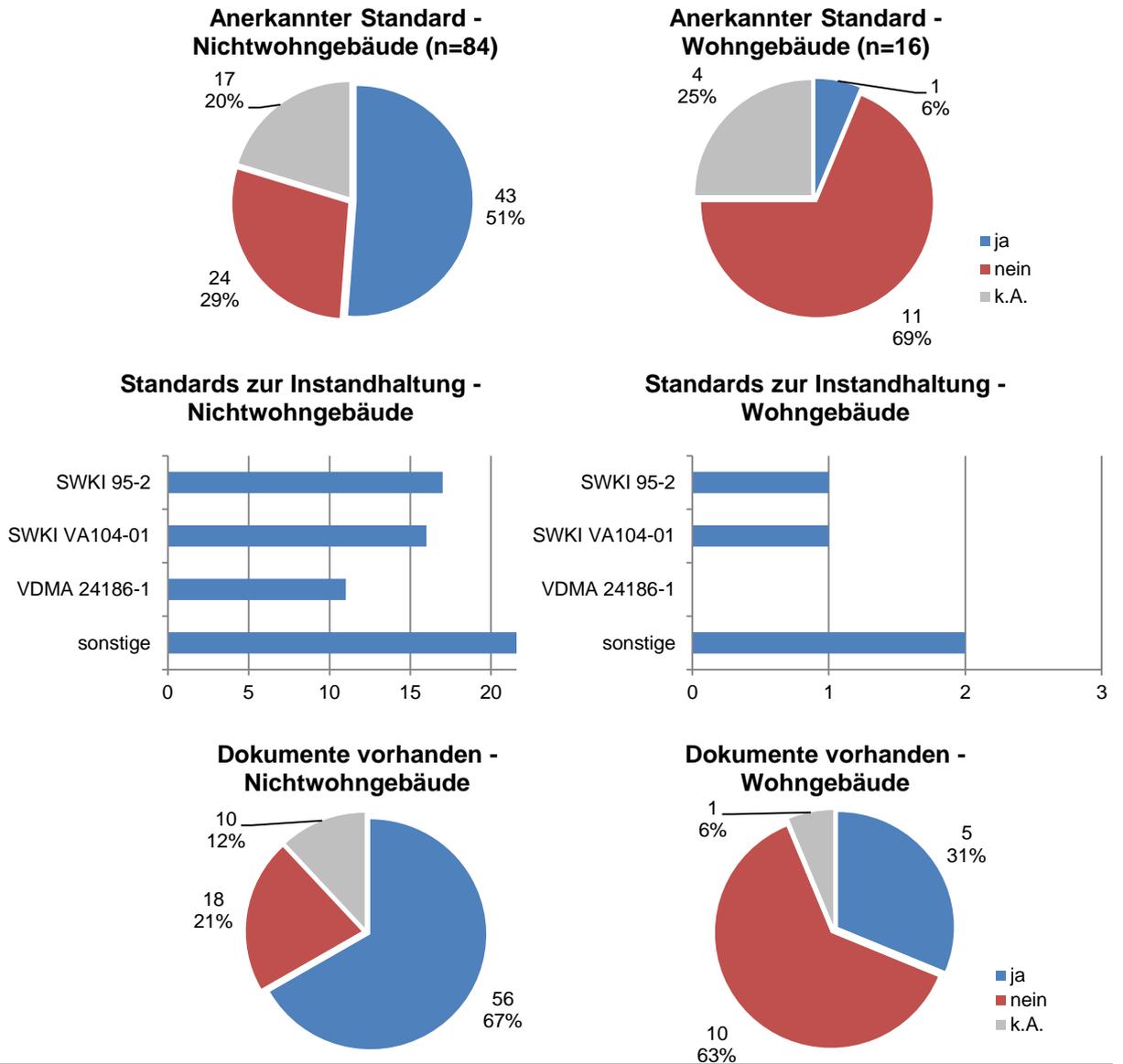


Abb. 45: Angaben zur Instandhaltung durch Anlagenverantwortliche von Wohn- und Nichtwohngebäuden

6.5. Einfluss Luftfilter

Seit der Einführung der Richtlinie SWKI 2003-5 (Abdruck VDI 6022 Bl. 1-3) im Jahr 2004 gelten die Empfehlungen bezüglich Mindestfilterklasse als Stand der Technik. Lässt sich bei nicht mit SWKI VA104-01 konformen Filterstufen allgemein ein Trend zu schlechterer Benotung erkennen und hat die Filterstufe konkret Einfluss auf die Keimbelastung von Oberflächen und Zuluft?

6.5.1. T/O-Beurteilung

Bei 40 % aller RLT-Anlagen mit nicht zu SWKI VA104-01 konformen Filterstufen werden mehr als die Hälfte aller hygienerlevanten Komponenten technisch-optisch beanstandet. Sind SWKI VA104-01 konforme Filterstufen vorhanden, liegt dieser Anteil bei 21 % (Abb. 46). Bei 6 % der RLT-Anlagen mit nicht konformen Filterstufen werden alle hygienerlevanten Komponenten beanstandet. Dieser Befund drückt sich auch im Mittelwert der T/O-Gesamtnoten aller RLT-Anlagen aus. Sind konforme Filterstufen vorhanden, liegt der Mittelwert bei 2.16, bei nicht konformen Filterstufen liegt er bei 2.32.

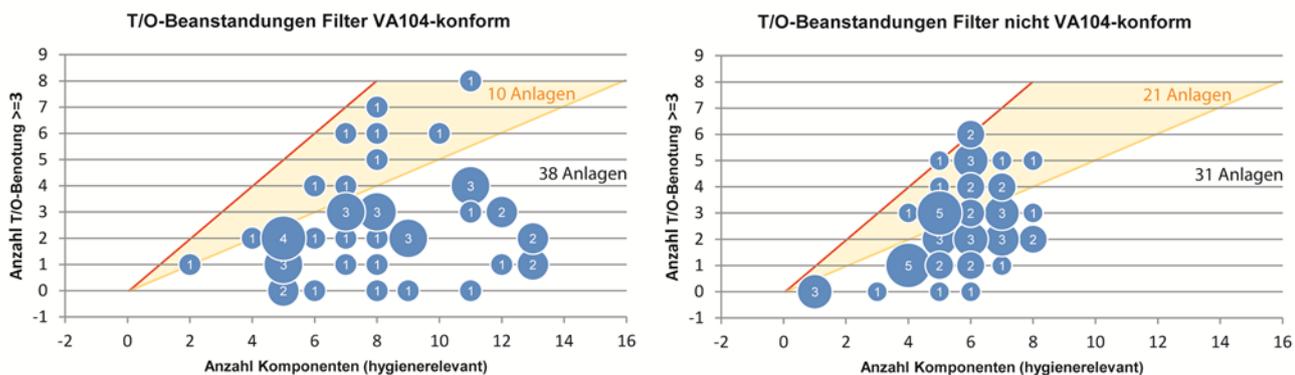


Abb. 46: Anzahl technisch-optische Beanstandungen (ohne unzugängliche Komponenten) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygienerlevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und der Frage, ob die Filterklasse Richtlinienkonform ist.

Die Blasenfläche entspricht der Anzahl Anlagen mit gleicher Paarung. Orange hinterlegt: Anlagen, deren T/O-Note zu 50 % und mehr beanstandet wurden.

Auch in der Zugänglichkeit werden Unterschiede zwischen RLT-Anlagen mit konformen und nicht konformen Filterstufen festgestellt. Sind die Filterstufen nicht mit SWKI VA104-01 konform, liegt der Anteil an Anlagen, deren hygienerrelevante Komponenten zu mehr als der Hälfte nicht zugänglich sind, bei 15 %. Nur 2 % sind es, wenn die Filterstufen mit SWKI VA104-01 konform sind (Abb. 47).

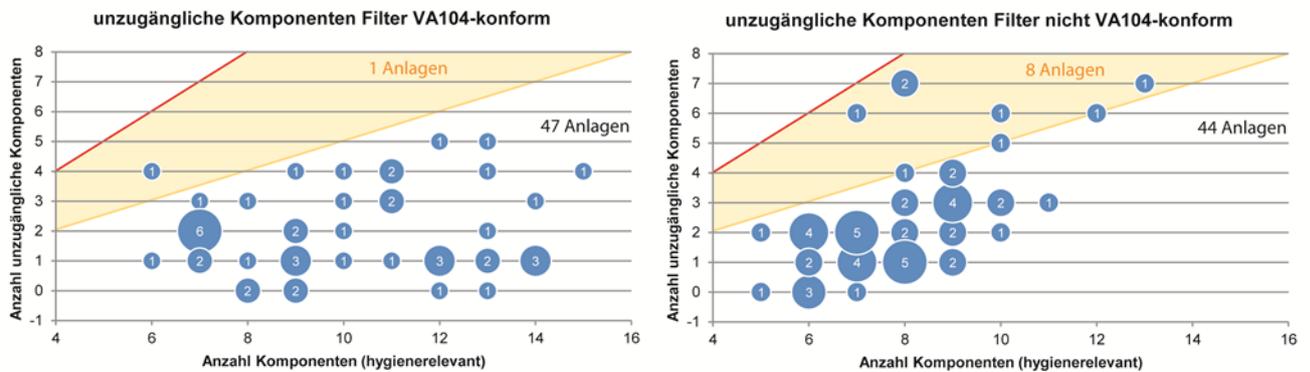


Abb. 47: Anzahl unzugängliche Komponenten in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygienerlevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und der Frage, ob die Filterklasse Richtlinienkonform ist.

Die Blasenfläche entspricht der Anzahl Anlagen mit gleicher Paarung. Orange hinterlegt: Anlagen, deren Anteil unzugänglicher Bauteile 50 % und mehr beträgt.

6.5.2. Oberflächenkeime

Die statistische Auswertung aller Keimkonzentrationen (GKZ) auf dem Kammerboden der ersten Filterstufe (abströmseitig) weist für RLT-Anlagen mit zu SWKI VA104-01 konformen¹⁶ im Vergleich zu nicht konformen Filterstufen einen tieferen Mittelwert (10.7 bzw. 16.8 KBE/cm²) nach (Abb. 62). Das 90. Perzentil liegt bei konformen Filterstufen ebenfalls tiefer.

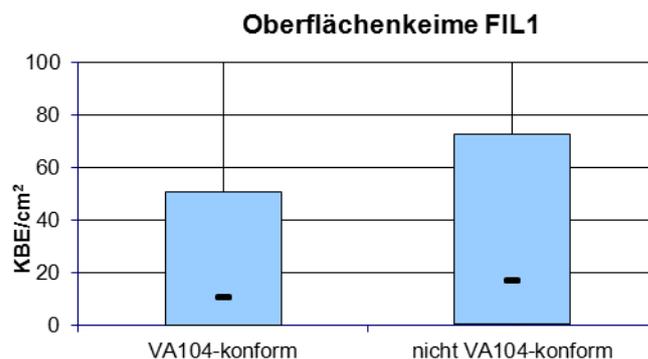


Abb. 48: Statistische Auswertung der Oberflächenkeime (GKZ) in Abhängigkeit der Frage, ob die Filterklasse grundsätzlich richtlinienkonform ist.

Die Box entspricht dem 10. bzw. 90. Perzentil, die Strichenden dem Minimal- bzw. Maximalwert und der Querstrich dem arithmetischen Mittelwert.

In Abb. 49 sind die Keimkonzentration im Detail für die effektiv vorhandenen Klassen der ersten Filterstufe statistisch ausgewertet. Sowohl bei Filterklassen gleich oder besser F5 als auch F7 werden tiefere Konzentrationen

¹⁶ In diesem Vergleich wird nicht unterschieden, welche Klasse die 1. Filterstufe aufweisen sollte. Die Konformität wird anhand der besten Filterstufe pro Anlage ermittelt.

auf dem Kammerboden gemessen. Beim Vergleich F5 ist der Effekt deutlicher als bei F7.

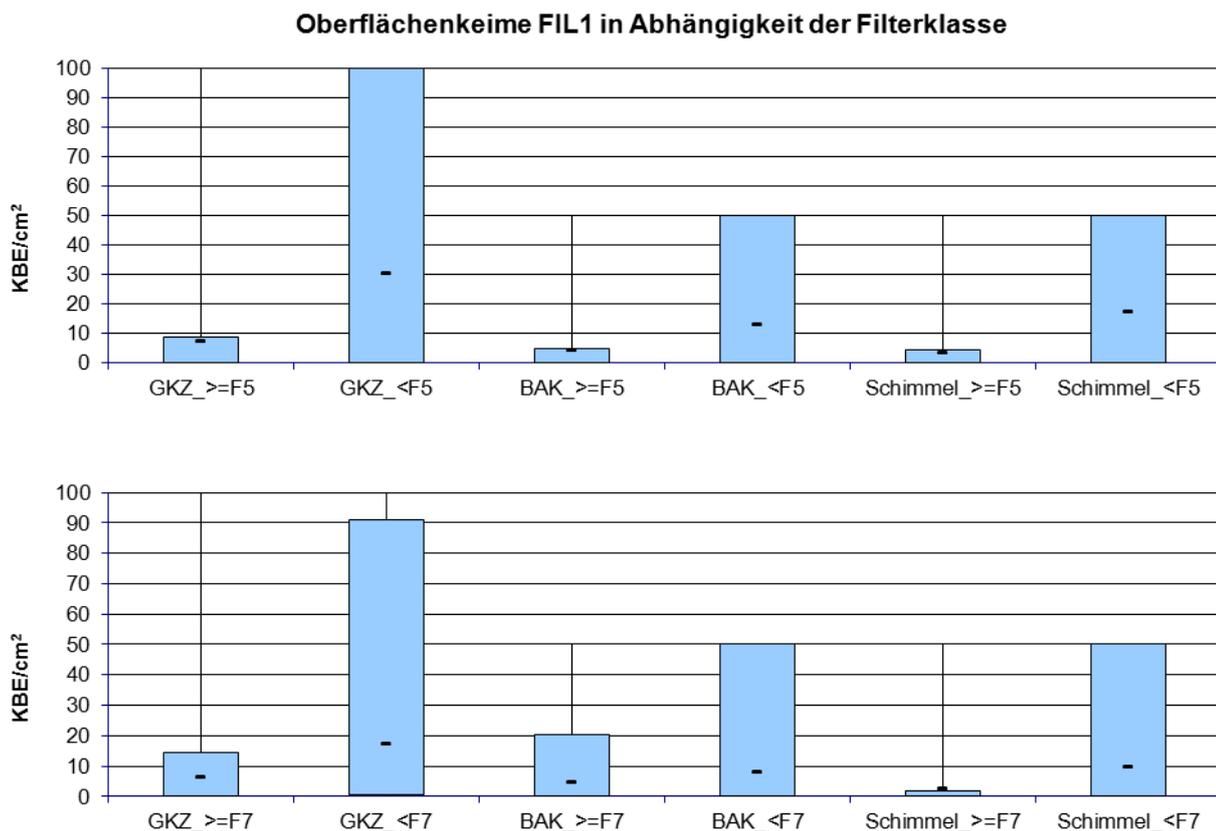


Abb. 49: Statistische Auswertung der Oberflächenkeime (GKZ, Bakterien und Schimmelpilze) in Abhängigkeit der Filterklasse.

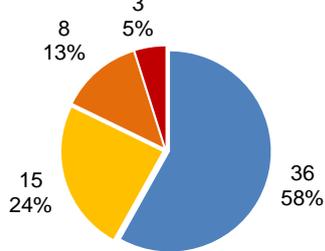
Die Box entspricht dem 10. bzw. 90. Perzentil, die Strichenden dem Minimal- bzw. Maximalwert und der Querstrich dem arithmetischen Mittelwert.

Neben der effektiven Keimkonzentration ist auch die Beurteilung der entsprechenden Oberfläche gemäss SWKI VA104-02 zentral. Ist die Filterklasse tiefer als F5, beträgt der Anteil an mit gut bewerteten Oberflächen (bezogen auf 1. Filterkammer) nur gerade 15 % (Abb. 65). 62 % weisen einen unzureichenden¹⁷ Hygienestatus auf. Bei einer Filterklasse gleich oder besser F7 werden 82 % der Oberflächen als gut beurteilt. Nur 11 % sind hygienisch unzureichend.

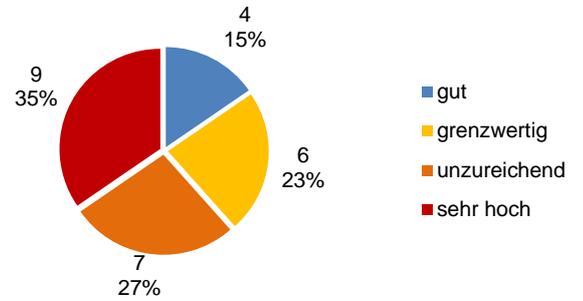
Die Filterklasse hat einen eindeutigen und messbaren Einfluss auf die Keimkonzentrationen auf dem abströmseitigen Kammerboden. Ein ähnliches Bild zeigt sich auch beim Einfluss der Filterklasse auf die Keimkonzentrationen in der Zuluftventilatorraum (Abb. 51).

¹⁷ Unzureichend gemäss SWKI VA104-02: >4 KBE/cm²

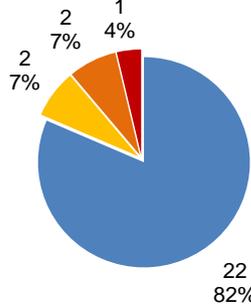
Oberflächenkeime FIL1 Filterklasse \geq F5 (n=62)



Oberflächenkeime FIL1 Filterklasse <F5 (n=26)



Oberflächenkeime FIL1 Filterklasse \geq F7 (n=27)



Oberflächenkeime FIL1 Filterklasse <F7 (n=61)

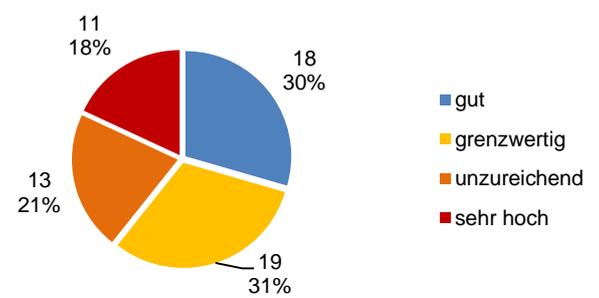
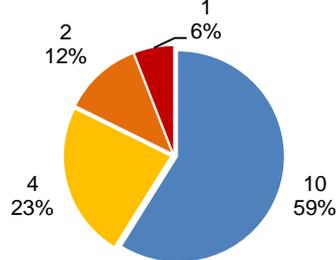
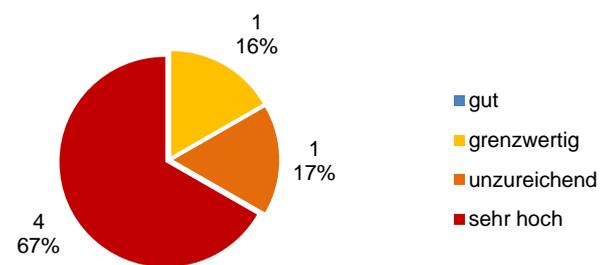


Abb. 50: Beurteilung der Oberflächenkeime in der 1. Filterkammer in Abhängigkeit der Filterklasse.

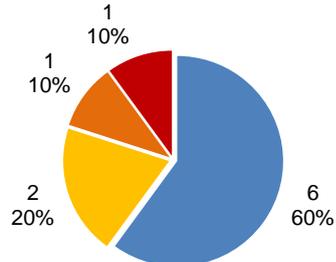
Oberflächenkeime Ventilator Filterklasse \geq F5 (n=17)



Oberflächenkeime Ventilator Filterklasse <F5 (n=6)



Oberflächenkeime Ventilator Filterklasse \geq F7 (n=10)



Oberflächenkeime Ventilator Filterklasse <F7 (n=14)

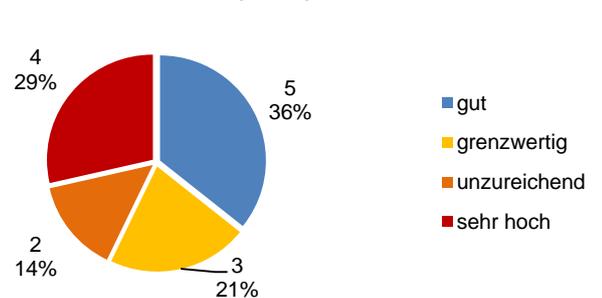


Abb. 51: Beurteilung der Oberflächenkeime in der Zuluftventilatorokammer in Abhängigkeit der Filterklasse

Wenn die Filterklasse nicht mit SWKI VA104-01 konform ist, weisen bei 27 % der RLT-Anlagen mehr als die Hälfte der untersuchten Oberflächen einen unzureichenden hygienischen Zustand auf. Ist die Filterklasse mit SWKI VA104-01 konform, liegt dieser Anteil bei 10 % (Abb. 52).

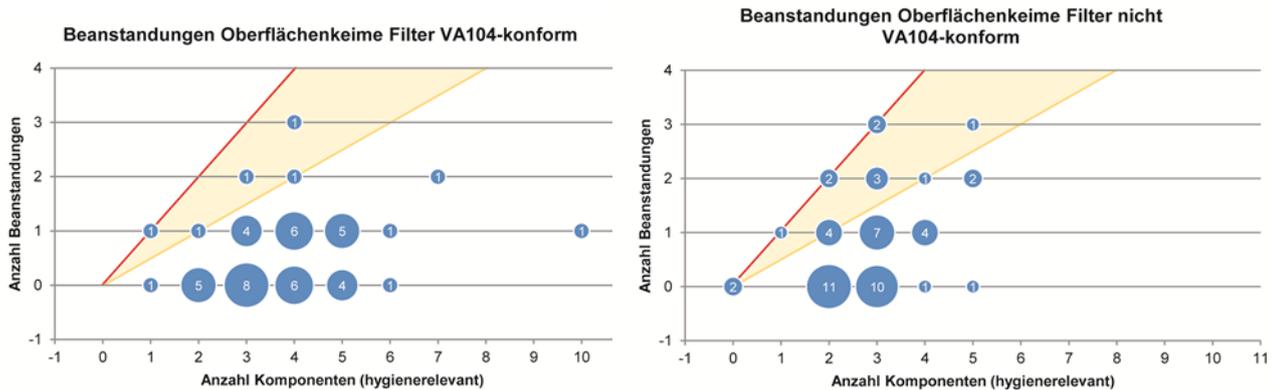


Abb. 52: Anzahl Beanstandungen bezüglich Oberflächenkeimen (Abklatsche und Tupferproben) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der Messorte der entsprechenden RLT-Anlage und der Frage, ob die Filterklasse Richtlinienkonform ist.

Die Blasenfläche entspricht der Anzahl Anlagen mit gleicher Paarung. Orange hinterlegt: Anlagen, deren Oberflächen zu 50 % und mehr beanstandet wurden. Roter Punkt: Anlagen, die aufgrund fehlender Zugänglichkeit nicht beprobt werden konnten.

6.5.3. Luftkeime

Die Anforderung, dass die Zuluft nicht schlechter sein darf als die Vergleichsluft, wird bei 6 RLT-Anlagen nicht erfüllt. 3 davon entfallen auf Anlagen mit zu SWKI VA104-01 konformen Filterstufen, 3 auf Anlagen mit nicht konformen Filterstufen.

Die Häufigkeitsverteilungen bezüglich des Zuluft-/Aussenluftverhältnisses von Gesamtkeimzahl, Bakterien- und Schimmelpilzkonzentration zeigen geringe Unterschiede zwischen konformen und nicht konformen Filterstufen. Der grösste Unterschied wird bei Bakterien festgestellt. Hier liegt der Anteil der kleinsten Klasse (Zuluft-/Aussenluftverhältnis zwischen 0 und 0.1) bei RLT-Anlagen mit zu SWKI VA104-01 konformen Filterstufen bei 76 %. Sind nicht mit SWKI VA104-01 konforme Filterstufen eingebaut, liegt dieser Anteil bei 67 % (Abb. 53).

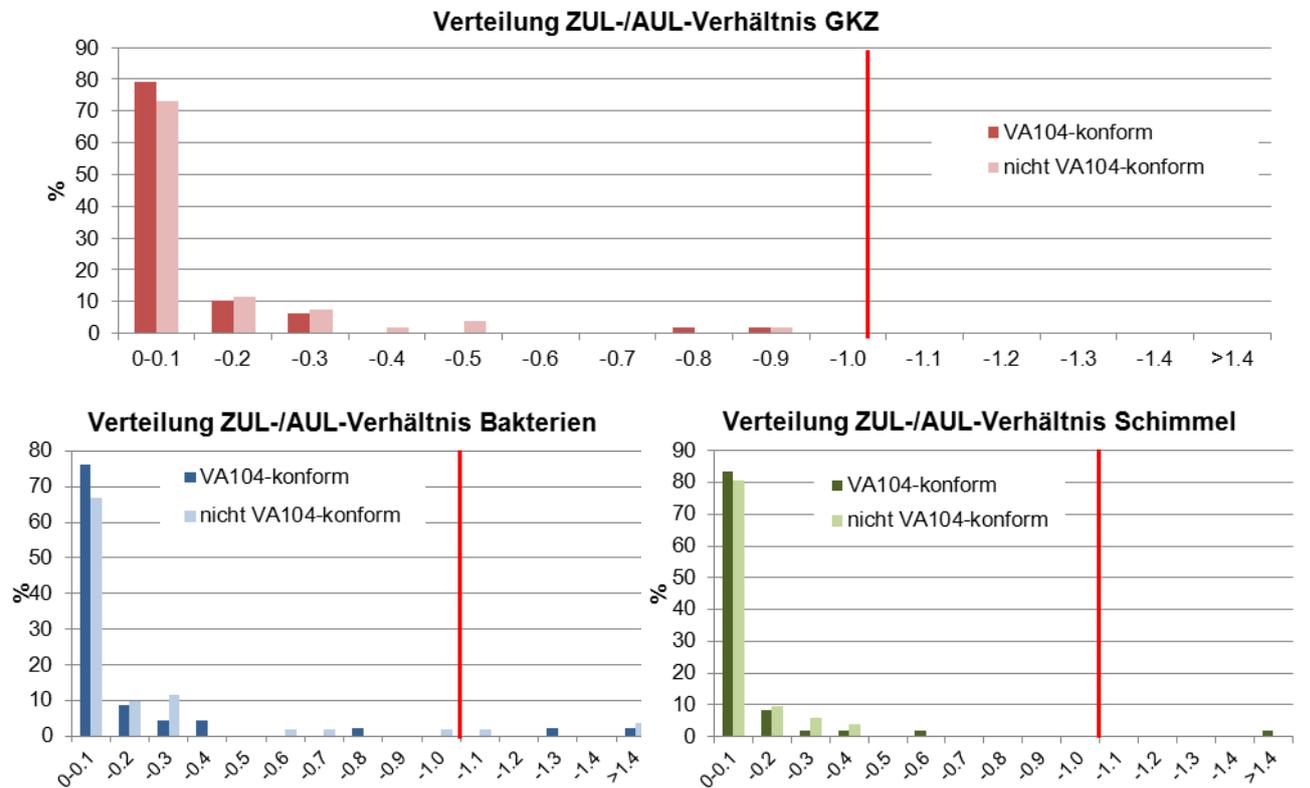


Abb. 53: Häufigkeitsverteilung des Verhältnisses Zuluft-/Aussenluftkonzentration bezüglich Gesamtkeimzahl (GKZ), Schimmelpilzsporen und Bakterien bei mit SWKI VA104-01 konformen und nicht konformen Filterstufen mit Anforderung SWKI-Richtlinie VA104-01 (rote Linie)

6.6. Einfluss fraktionaler Wirkungsgrad (Partikel)

Luftfilter werden standardisiert geprüft und in Klassen eingeteilt [SN EN 779]. Die Filter werden dazu im Neuzustand untersucht. Doch wie verhält sich ein Filter bezüglich Abscheidegrad während der Nutzungsdauer? Sind Unterschiede erkennbar? Im Teilprojekt 4 wird auf diese Fragen detailliert eingegangen. Hier werden die Filterwirkungsgrade¹⁸ auf ihre mögliche Korrelation mit Ergebnissen der Hygieneinspektionen untersucht.

6.6.1. Messwerte

Die tatsächlich gemessenen Abscheidegrade gebrauchter Filter unterschieden sich innerhalb einer Klasse zum Teil beträchtlich (Abb. 54). Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass Filter ab der Klasse F7 bei grösseren Partikeln (ab 2.5 µm) hohe Wirkungsgrade von mehr als 90 % aufweisen. Dies ist relevant für Luftkeime. Schimmelpilzsporen weisen Sporendurchmesser ab ca. 2.5 µm auf [LGA Baden-Württemberg 2001]. Bakterien können kleiner sein als Schimmelpilzsporen. Sie weisen Durch-

¹⁸ Die Daten wurden von der Firma Unifil AG erhoben und zur Verfügung gestellt (siehe Teilprojekt 4).

messer ab 0,4 bis ca. 10 µm auf [Czihak 1992]. Aufgrund der unten dargestellten Abscheidegrade und des Durchmessers von Schimmelpilzsporen kann davon ausgegangen werden, dass bei mit SWKI VA104-01 konformen Filterstufen (mindestens F7) in der Regel 90 % und mehr der Sporen zurückgehalten werden. Bei Filterstufen der Klasse G4 sind es nur noch 60 bis 70 %, die abgeschieden werden (für mehr Details siehe Teilprojekt 4).

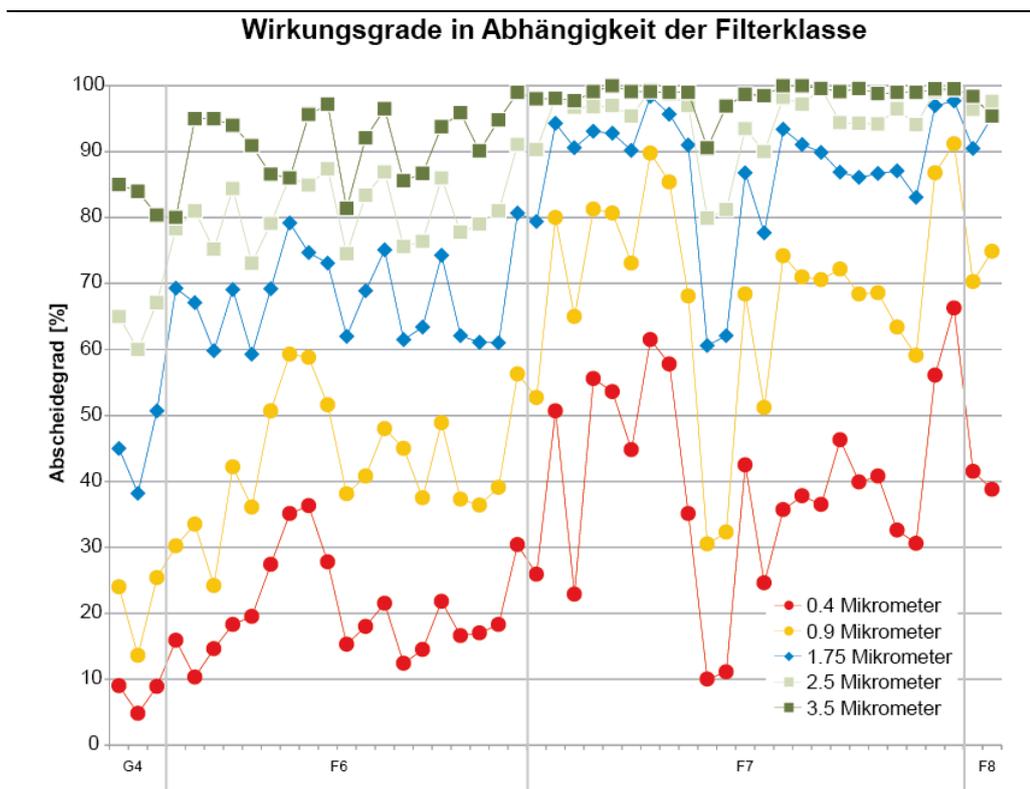


Abb. 54: Gemessene Wirkungsgrade von gebrauchten Filtern

6.6.2. T/O-Beurteilung

In der technisch-optischen Beurteilung hygienerelevanter Komponenten sind bei Anlagen mit einem gemessenen Abscheidegrad des Zuluftfilters von weniger bzw. mehr als 80 % nur geringe Unterschiede feststellbar (Abb. 55). Der Mittelwert der Gesamtnoten liegt bei RLT-Anlagen mit einem Abscheidegrad von weniger als 80 % etwas tiefer (2.31) im Vergleich mit Anlagen mit einem Abscheidegrad von mehr als 80 % (2.42). Die Anzahl von Anlagen ist allerdings für statistische Aussagen etwas gering. Ein weiterer Grund für fehlende Unterschiede liegt in der Tatsache, dass es sich beim untersuchten Filter nicht unbedingt um die erste Filterstufe handeln muss.

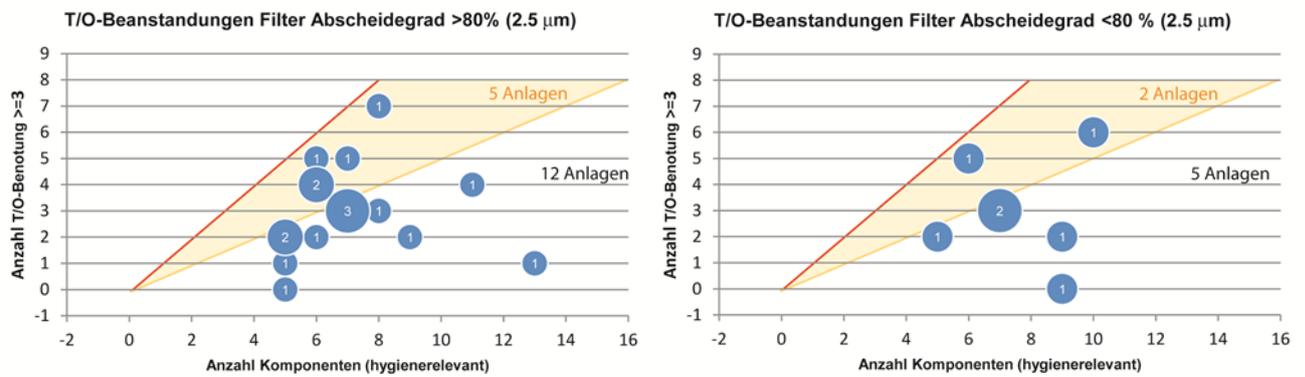


Abb. 55: Anzahl technisch-optische Beanstandungen (ohne unzugängliche Komponenten) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygienerlevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und zum Abscheidegrad.

Die Blasenfläche entspricht der Anzahl Anlagen mit gleicher Paarung. Orange hinterlegt: Anlagen, deren T/O-Note zu 50 % und mehr beanstandet wurden.

6.6.3. Oberflächenkeime

Beim Vergleich von RLT-Anlagen mit einem Abscheidegrad von mehr bzw. weniger als 80 % ist bezüglich Oberflächenkeimen auch keine klare Tendenz erkennbar. Die Anzahl von Anlagen ohne eine Beanstandung der inneren Oberflächen ist bei einem Abscheidegrad von mehr als 80 % höher (53 vs. 29 %). Dagegen ist der Anteil an Anlagen, in denen $\frac{3}{4}$ und mehr der Oberflächen beanstandet wird, höher. Als Gründe für die mangelnde Korrelation werden die gleichen wie oben erwähnt (T/O-Beurteilung) angeführt.

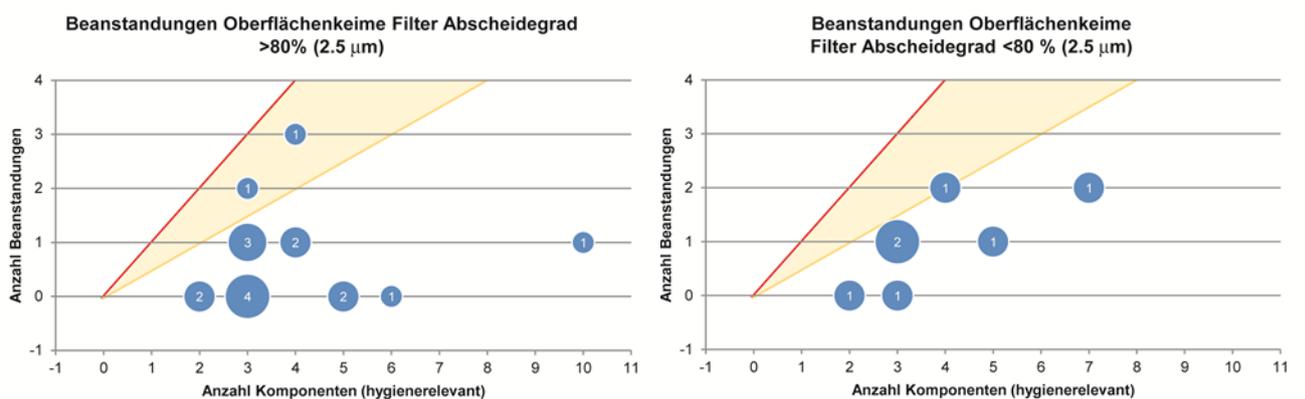


Abb. 56: Anzahl Beanstandungen bezüglich Oberflächenkeimen (Abklatsche und Tupferproben) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der Messorte der entsprechenden RLT-Anlage und zum Abscheidegrad.

Die Blasenfläche entspricht der Anzahl Anlagen mit gleicher Paarung. Orange hinterlegt: Anlagen, deren Oberflächen zu 50 % und mehr beanstandet wurden. Roter Punkt: Anlagen, die aufgrund fehlender Zugänglichkeit nicht beprobt werden konnten.

6.6.4. Luftkeime

Aufgrund der Grösse von Schimmelpilzsporen (>2.5 µm) und Bakterien (0.4 bis ca. 10 µm) wird in Abb. 57 und Abb. 58 der Einfluss des Abscheidegrads für Partikelgrösse 0.9 und 2.5 µm auf das Zuluft-/Aussenluftkonzentrationsverhältnis bezüglich Schimmelpilzen und Bakterien untersucht. Die orange Linie in den Grafiken entspricht dabei dem Zuluft-/Aussenluft-Mindestverhältnis, das sich aus dem Abscheidegrad berechnen lässt. Neben den erwähnten Grössen sind auch die Anzahl Filterstufen der entsprechenden RLT-Anlage, die Klasse der letzten Filterstufe und die tatsächlich untersuchte Filterstufe dargestellt.

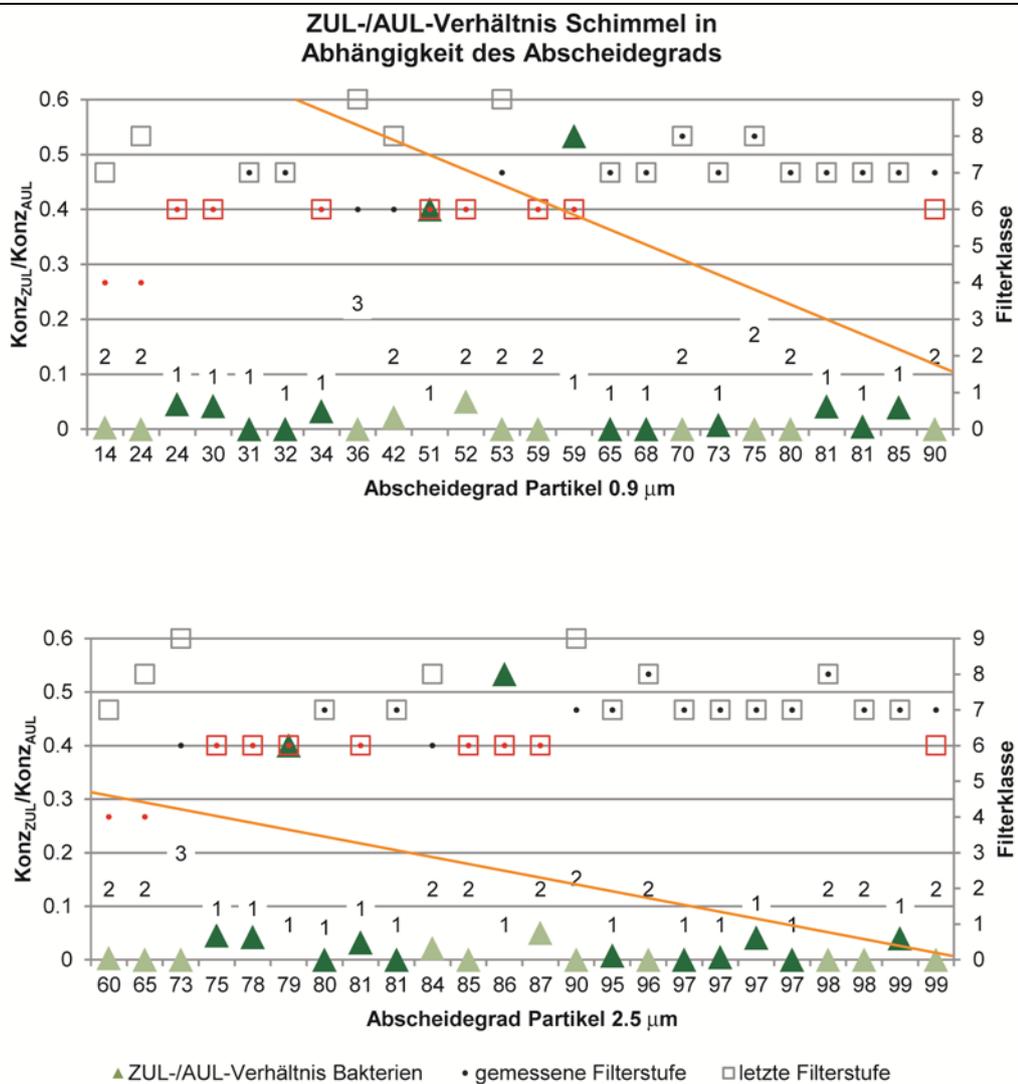


Abb. 57: Zuluft-/Aussenluftverhältnis der Schimmelpilzkonzentration in Abhängigkeit vom Abscheidegrad

Dunkelgrüne Dreiecke: Verhältnis bei RLT-Anlagen mit einer Filterstufe; hellgrüne Dreiecke: Verhältnis bei RLT-Anlagen mit mehreren Filterstufen; Quadrat: letzte Filterstufe in der RLT-Anlage; Punkt: gemessene Filterstufe (Abscheidegrad); Rot: nicht mit SWKI VA104-01 konform; orange Linie: berechnetes ZUL/AUL-Mindestverhältnis aufgrund Abscheidegrad für Partikel 0.9 µm (oben) bzw. 2.5 µm (unten).

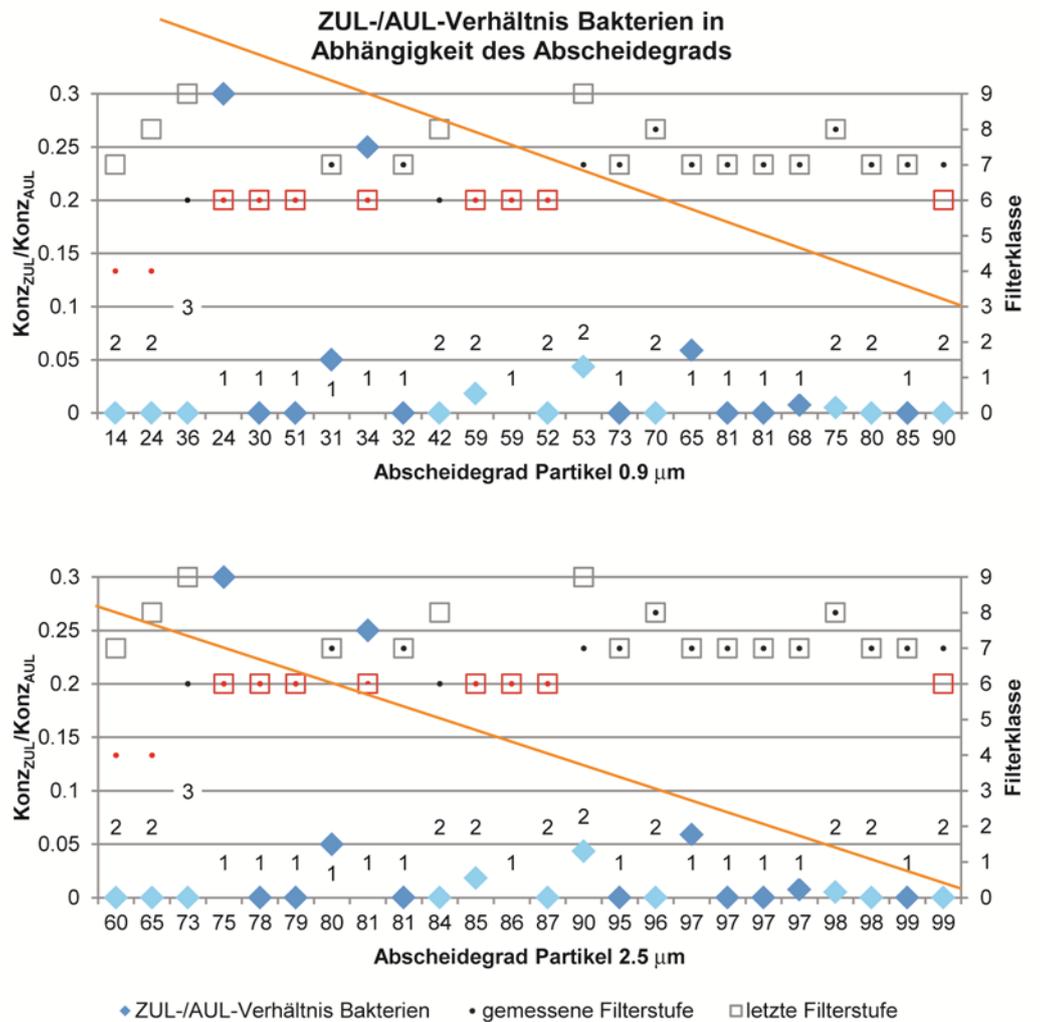


Abb. 58: Zuluft-/Aussenluftverhältnis der Bakterienkonzentration in Abhängigkeit vom Abscheidegrad
 Dunkelblaue Karos: Verhältnis bei RLT-Anlagen mit einer Filterstufe; hellblaue Karos: Verhältnis bei RLT-Anlagen mit mehreren Filterstufen; Quadrat: letzte Filterstufe in der RLT-Anlage; Punkt: gemessene Filterstufe (Abscheidegrad); Rot: nicht mit SWKI VA104-01 konform; orange Linie: berechnetes ZUL-/AUL-Mindestverhältnis aufgrund Abscheidegrad für Partikel 0.9 µm (oben) bzw. 2.5 µm (unten).

Aus den Zusammenstellungen lässt sich Folgendes aussagen:

- Die Partikelgröße 2.5 µm eignet sich sowohl für Schimmelpilze als auch für Bakterien gut zur Beurteilung des Luftkeimverhältnisses.
- 2 RLT-Anlagen weisen für Bakterien und 2 Anlagen für Schimmelpilze Zuluft-/Aussenluftverhältnisse über dem berechneten Mindestverhältnis aufgrund des Abscheidegrads auf.

- Diese Überschreitungen sind nur in RLT-Anlagen feststellbar, die einerseits nur eine Filterstufe und andererseits eine zu tiefe Filterklasse aufweisen.

Aufgrund dieser Tendenz kann plädiert werden, dass die Anforderung Zuluft nicht schlechter als Vergleichsluft bezüglich Luftkeimen zu wenig weit geht. Als Instrument zum Aufspüren von Hygieneproblemen wäre als Grenze für ein Zuluft-/Aussenluftverhältnis ein Wert, der sich an einem durchschnittlichen Wirkungsgrad eines F7 für Partikel 2.5 µm orientiert, aufgrund der vorliegenden Resultate sinnvoller. In 3 der 4 RLT-Anlagen sind Hygieneprobleme vorhanden (Tab. 6). Dies bedarf allerdings einer genaueren Untersuchung mit einer grösseren Datenmenge. Hier besteht weiterer Abklärungsbedarf.

RLT-Anlage	ZUL/AUL-Verhältnis	ZUL-Konzentration	T/O-Note	Filterklasse	Kühler	Befeuchter	Innendämmung	Abwertungsgründe Filter
37	0.25	20	2.71	F6	ja	nein	nein	Schaden Schmutz
41	0.4	12	1.78	F6	ja	ja	nein	i.O.
42	0.53	16	2.0	F6	ja	ja	nein	Schaden Konstruktiv
84	0.3	30	2.43	F6	ja	nein	nein	Schaden Schmutz

Tab. 6: Anlagencharakteristika bei Luftkeimkonzentrationen in der Zuluft über dem Mindestverhältnis

6.7. Einfluss Luftkeimverhältnis

Im vorangegangenen Kapitel wird aufgezeigt, dass der Abscheidegrad Luftkeim-relevanter Partikelgrössen (2.5 µm) bei Richtlinien-konformen Filterklassen in der Regel mehr als 90 % beträgt. Aus diesem Grund wird in diesem Kapitel der Einfluss des Luftkeimverhältnisses (Zuluft-/Aussenluftkonzentration) für Werte >0.1 und ≤0.1 (entspricht 90% Abscheidung) untersucht.

6.7.1. T/O-Beurteilung

Zwischen RLT-Anlagen mit einem Zuluft-/Aussenluftverhältnis bis 0.1 und grösser 0.1 sind bezüglich der technisch-optischen Beurteilung nur wenig Unterschiede erkennbar (Abb. 59). Der Anteil an Anlagen mit einem hohen Prozentsatz bemängelter Einzelkomponenten ist bei einem ZUL/AUL-Verhältnis von mehr als 0.1 etwas grösser. Zudem ist das 90. Perzentil der

Geamnote höher im Vergleich zu RLT-Anlagen mit einem ZUL/AUL-Verhältnis von bis 0.1.

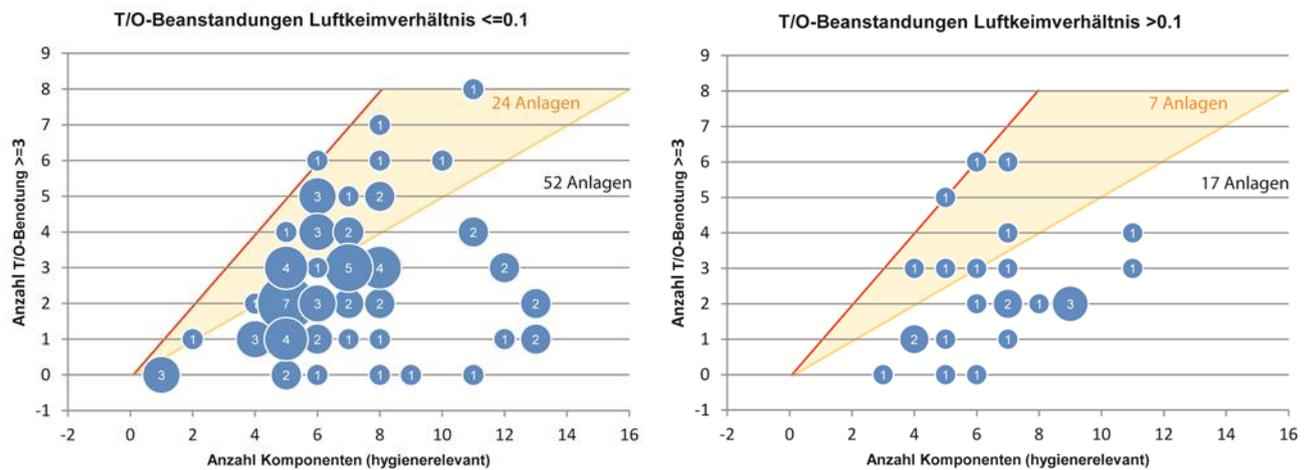


Abb. 59: Anzahl technisch-optische Beanstandungen (ohne unzugängliche Komponenten) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygienerlevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und des Luftkeimverhältnisses.

Die Blasenfläche entspricht der Anzahl Anlagen mit gleicher Paarung. Orange hinterlegt: Anlagen, deren T/O-Note zu 50 % und mehr beanstandet wurden.

Theoretisch könnte sich die Zuluftqualität bezüglich Luftkeimen mit steigender Anzahl unzugänglicher und somit nicht kontrollierbarer hygienerrelevanter Komponenten erhöhen. Aus Abb. 60 ist erkennbar, dass auch hier der Unterschied gering ist und sich etwas bessere Werte für RLT-Anlagen mit einem ZUL/AUL-Verhältnis von über 0.1 ableiten lassen.

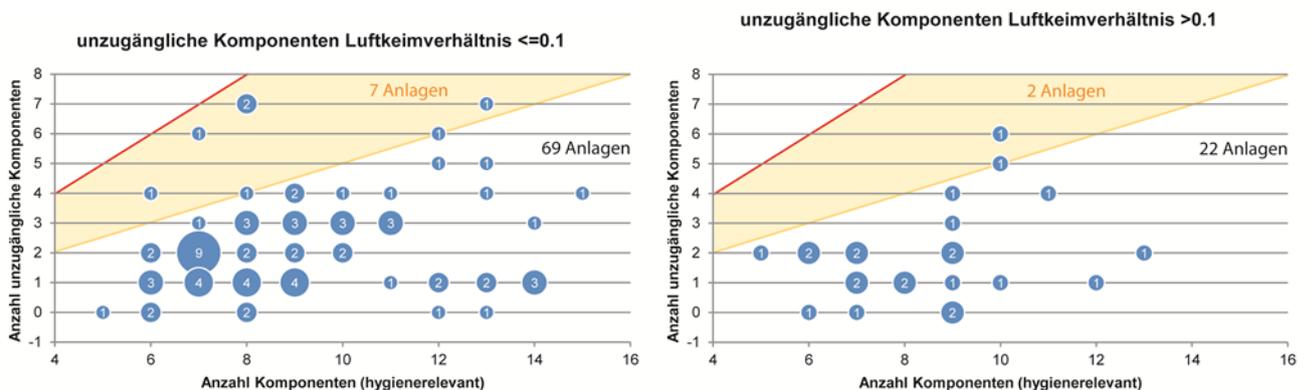


Abb. 60: Anzahl unzugängliche Komponenten in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygienerlevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und des Luftkeimverhältnisses.

Die Blasenfläche entspricht der Anzahl Anlagen mit gleicher Paarung. Orange hinterlegt: Anlagen, deren Anteil unzugänglicher Bauteile 50 % und mehr beträgt.

6.7.2. Oberflächenkeime

Der Mittelwert und das 90. Perzentil der Keimkonzentrationen in der ersten Filterkammer liegen bei RLT-Anlagen mit einem tiefen Luftkeimverhältnis mit 14.4 KBE/cm^2 bzw. 100 KBE/cm^2 höher als bei Anlagen mit einem Verhältnis von über 0.1 (11.7 KBE/cm^2 bzw. 53 KBE/cm^2).

Demgegenüber liegt der Anteil an RLT-Anlagen, in denen 50 % und mehr aller untersuchter Oberflächen beanstandet werden, bei Anlagen mit einem Luftkeimverhältnis von mehr als 0.1 höher (Abb. 61).

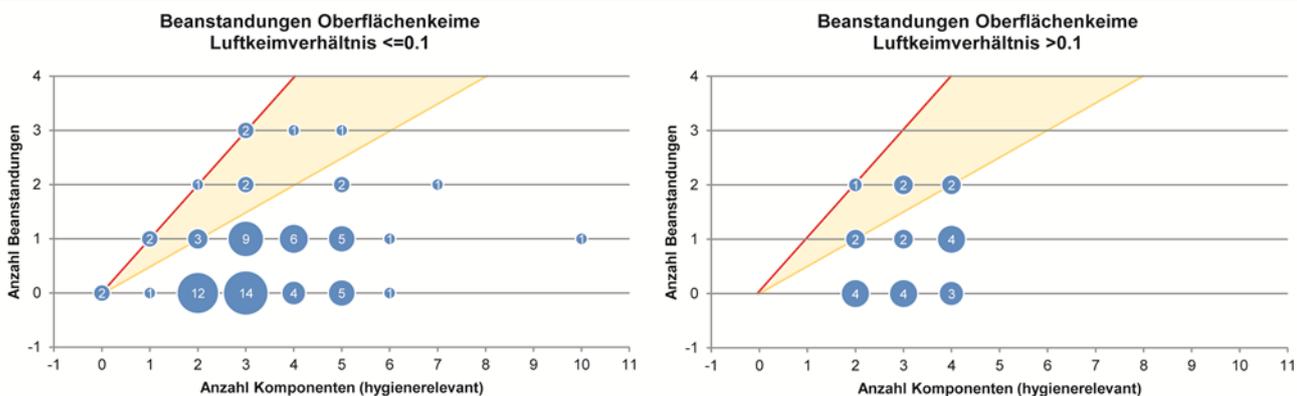


Abb. 61: Anzahl Beanstandungen bezüglich Oberflächenkeimen (Abklatsche und Tupferproben) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der Messorte der entsprechenden RLT-Anlage und des Luftkeimverhältnisses.

Die Blasenfläche entspricht der Anzahl Anlagen mit gleicher Paarung. Orange hinterlegt: Anlagen, deren Oberflächen zu 50 % und mehr beanstandet wurden. Roter Punkt: Anlagen, die aufgrund fehlender Zugänglichkeit nicht beprobt werden konnten.

6.8. Einfluss Anlagenalter

Die Hauptkomponenten einer RLT-Anlagen weisen eine technische Lebensdauer von durchschnittlich 20 Jahren auf [SIA 382/1]. In diesem Kapitel wird der Frage nachgegangen, ob ältere RLT-Anlagen einen Einfluss auf die Hygiene haben. Da mehr als 70 % der Hygieneinspektionen, die in diese Untersuchung miteinbezogen wurden, im Jahr 2009 durchgeführt wurden, wird als Grenze zur Beurteilung des Einflusses des Anlagenalters 1989 bestimmt.

6.8.1. T/O-Beurteilung

Im Mittel liegen die T/O-Beurteilungen (ohne Note 6) hygienerrelevanter Komponenten bei RLT-Anlagen mit Baujahr vor 1989 mit 2.52 höher als bei Anlagen mit Baujahr ab 1989 mit 2.14 (Abb. 62). Auch das 10. Perzentil und das 90. Perzentil liegen bei Bauten mit Baujahr vor 1989 im Vergleich zu Bauten mit Baujahr ab 1989 höher.

T/O-Beurteilung in Abhängigkeit des Anlagenalters

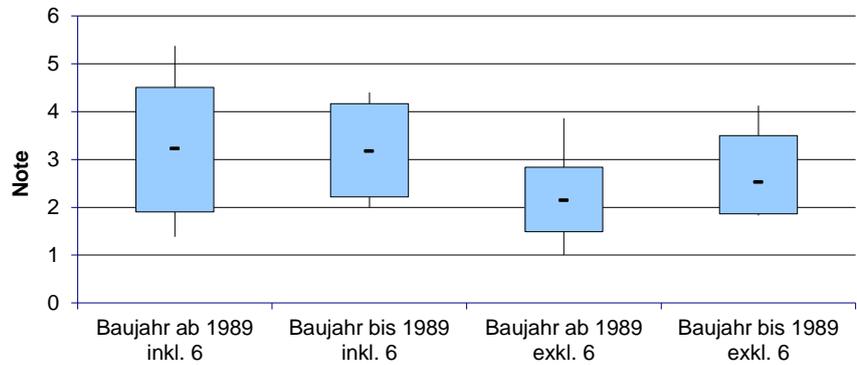


Abb. 62: Statistische Auswertung der T/O-Gesamtnote hygienerelevanter Komponenten in Abhängigkeit vom Anlagenalter (bis 1989/ab1989).

Die Box entspricht dem 10. bzw. 90. Perzentil, die Strichenden dem Minimal- bzw. Maximalwert und der Querstrich dem arithmetischen Mittelwert.

Die statistische Auswertung der T/O-Beurteilung wird auch durch den Vergleich der Anzahl Komponenten, die mit Note drei oder schlechter beurteilt werden, gestützt. In RLT-Anlagen mit Baujahr vor 1989 beträgt der Anteil an Anlagen, deren Einzelkomponenten fünfzig Prozent und mehr beanstandet werden, bei 46 %. In Anlagen mit Baujahr ab 1989 beträgt dieser Anteil 31 % (Abb. 63). Zudem gibt es keine RLT-Anlagen mit Baujahr vor 1989, in denen keine Komponenten beanstandet werden. In jüngeren Anlagen beträgt dieser Anteil 16 %. Es wird auch keine RLT-Anlagen vor 1989 mit einer Gesamtnote besser 1.8 bewertet (Abb. 64). Der Grund für die schlechtere Bewertung älterer RLT-Anlagen ist unklar. Sie kann sowohl mit einem schlechteren Allgemeinzustand als auch mit einer strengeren Bewertung aufgrund des nicht mehr neuen Zustands (optischer Eindruck) in Verbindung stehen.

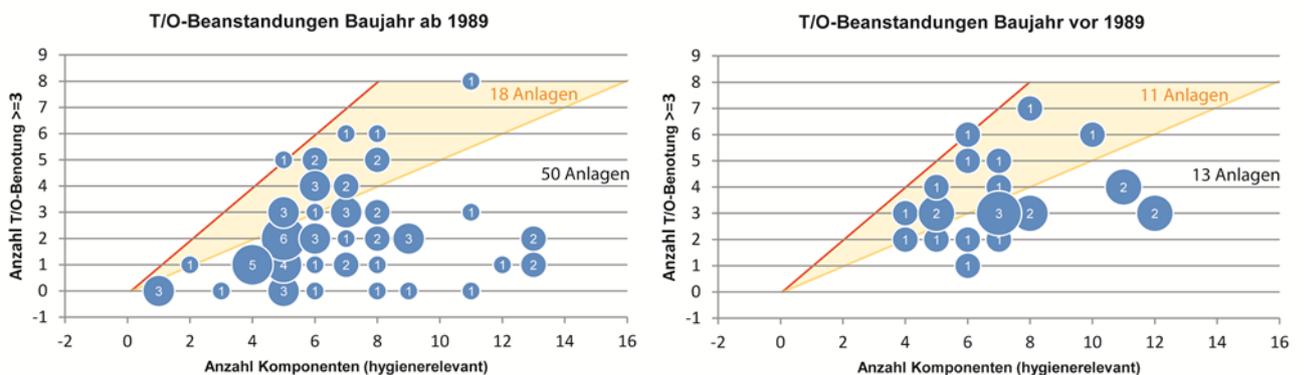


Abb. 63: Anzahl technisch-optische Beanstandungen (ohne unzugängliche Komponenten) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygienerelevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und des Anlagenalters.

Die Blasenfläche entspricht der Anzahl Anlagen mit gleicher Paarung. Orange hinterlegt: Anlagen, deren T/O-Note zu 50 % und mehr beanstandet wurden.

T/O-Beurteilung (Gesamtnote) in Abhängigkeit des Anlagenalters

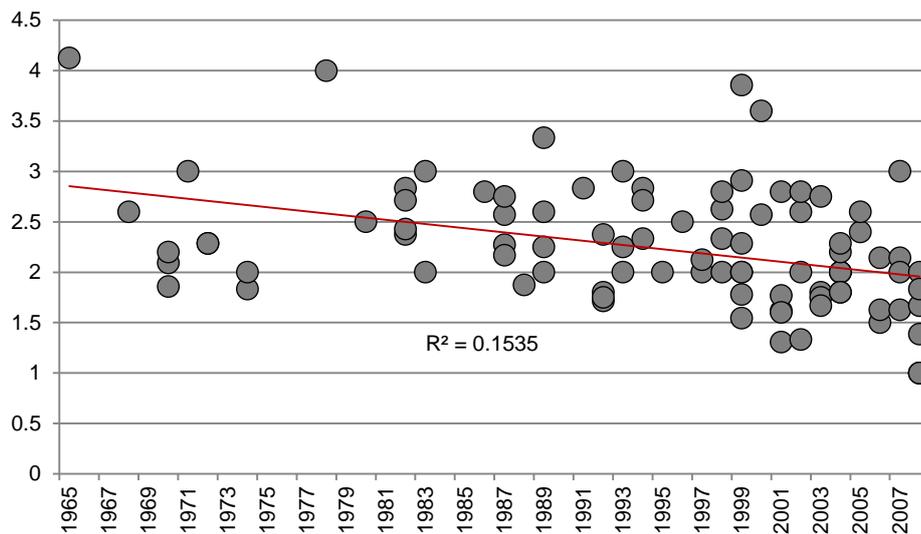


Abb. 64: Technisch-optische Beurteilung aller untersuchter RLT-Anlagen in Abhängigkeit des Baujahrs

In den untersuchten RLT-Anlagen mit Baujahr vor 1989 weist nur eine (entspricht 4%) unzugängliche Bauteile auf, die einen Anteil von fünfzig Prozent bezüglich hygienerrelevanter Komponenten erreichen (Abb. 65). In Anlagen mit Baujahr ab 1989 sind es acht Anlagen bzw. 12 %.

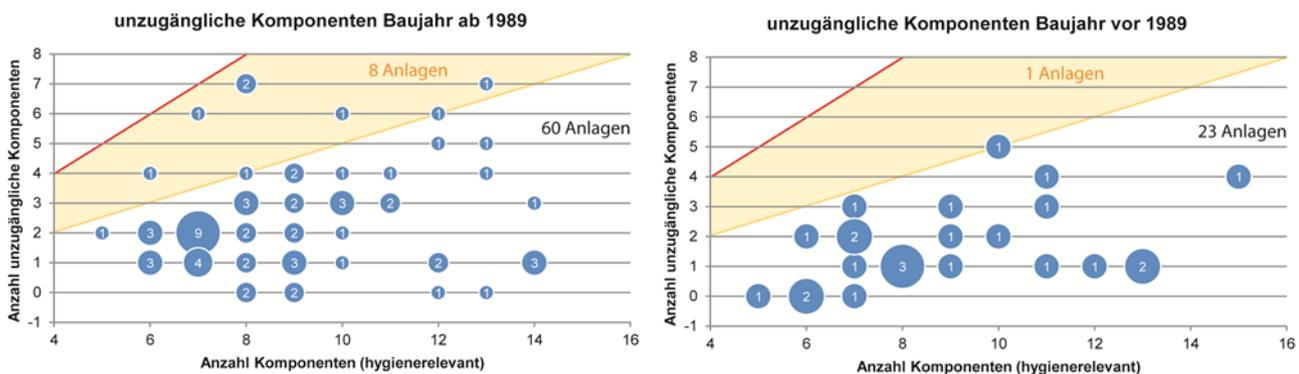


Abb. 65: Anzahl unzugängliche Komponenten in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygienerlevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und des Anlagenalters.

Die Blasenfläche entspricht der Anzahl Anlagen mit gleicher Paarung. Orange hinterlegt: Anlagen, deren Anteil unzugänglicher Bauteile 50 % und mehr beträgt.

6.8.2. Oberflächenkeime

Auf dem Kammerboden abströmseitig der ersten Filterstufe werden bei RLT-Anlagen mit Baujahr ab 1989 im Mittel höhere Gesamtkeimkonzentrationen

nachgewiesen als in Anlagen mit Baujahr vor 1989 (Abb. 66). Auch das 90. Perzentil liegt bei jüngeren RLT-Anlagen höher.

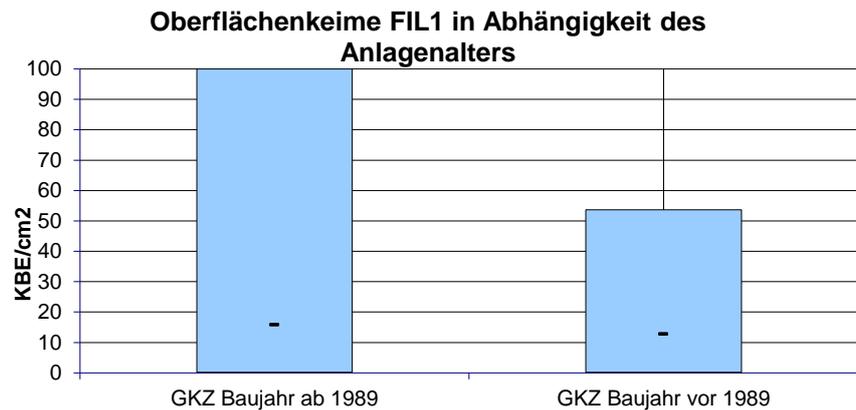


Abb. 66: Statistische Auswertung der Oberflächenkeime (GKZ) in Abhängigkeit vom Gebäudetyp (Wohnbauten/Nichtwohnbauten).

Die Box entspricht dem 10. bzw. 90. Perzentil, die Strichenden dem Minimal- bzw. Maximalwert und der Querstrich dem arithmetischen Mittelwert (siehe Interpretationshilfe).

Im Gegensatz zur statistischen Auswertung der effektiven Konzentrationen liegt der Anteil von nicht zu beanstandenden Oberflächen der ersten Filterstufe bei RLT-Anlagen jüngeren Datums höher (Abb. 67). 49 % der Oberflächen von ersten Filterstufen werden bei diesen Anlagen als gut bis sehr gut beurteilt, der Anteil an unzureichenden und sehr hohen Oberflächen liegt bei 29 %. Bei älteren RLT-Anlagen mit Baujahr bis 1989 liegt der Anteil an gut bis sehr gut beurteilten Oberflächen bei 32 %, an unzureichend bis sehr hoch bewerteten bei 45 %.

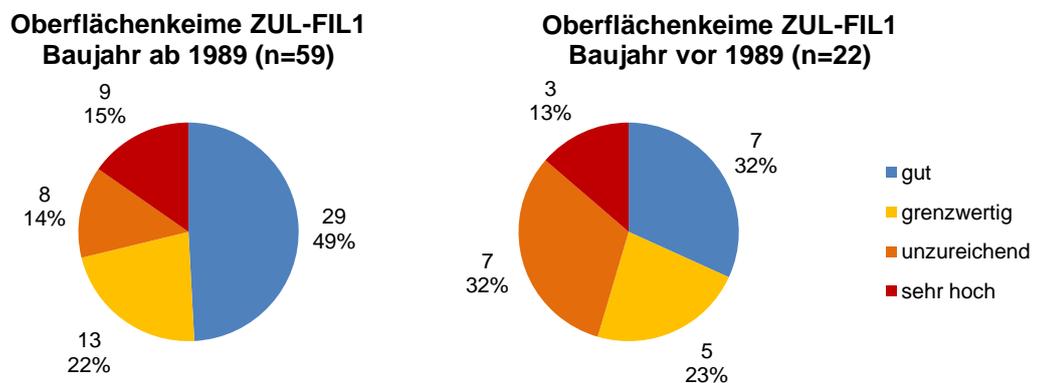


Abb. 67: Beurteilung¹⁹ der Oberflächenkeime in Abhängigkeit des Anlagensalters.

¹⁹ Beurteilung: gut <1 KBE/cm²; grenzwertig 1-4 KBE/cm²; unzureichend >4-50 KBE/cm²; sehr hoch >50 KBE/cm²

In 25 % älterer RLT-Anlagen wird die Hälfte bzw. mehr als die Hälfte der untersuchten Oberflächenproben bemängelt. Bei jüngeren Anlagen liegt dieser Anteil bei 18 % (Abb. 71).

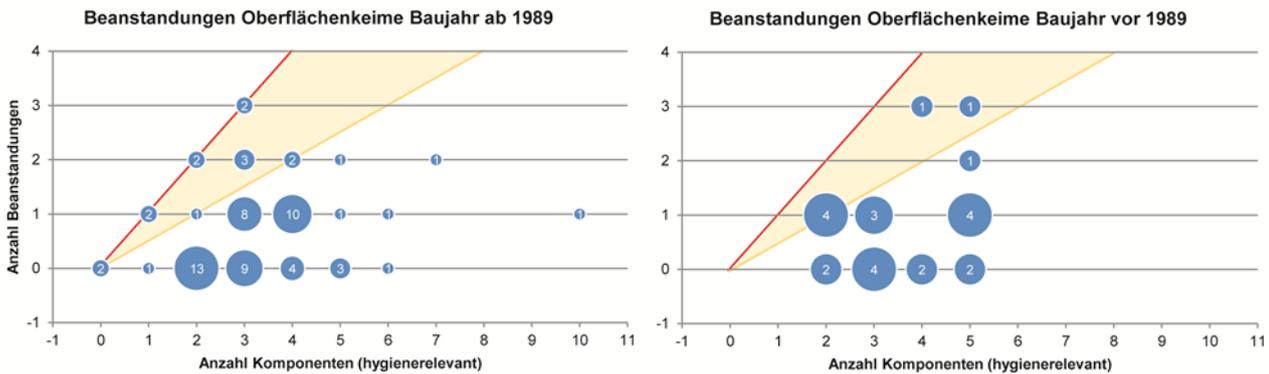


Abb. 68: Anzahl Beanstandungen bezüglich Oberflächenkeimen (Abklatsche und Tupferproben) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der Messorte der entsprechenden RLT-Anlage und zum Anlagenalter. Die Blasenfläche entspricht der Anzahl Anlagen mit gleicher Paarung. Orange hinterlegt: Anlagen, deren Oberflächen zu 50 % und mehr beanstandet wurden. Roter Punkt: Anlagen, die aufgrund fehlender Zugänglichkeit nicht beprobt werden konnten.

6.8.3. Luftkeime

Hinsichtlich des Verhältnisses von Zuluft- zu Aussenluftkonzentration (Luftkeime) lässt sich keine Abhängigkeit vom Baujahr der entsprechenden RLT-Anlage erkennen. Sowohl bei älteren Anlagen wie auch bei jüngeren sind Werte über 0.1.²⁰ vorhanden. Das Schutzziel bezüglich Bakterien wird vereinzelt sowohl bei älteren als auch jüngeren RLT-Anlagen nicht erreicht, bezüglich Schimmelpilzen nur bei einer jüngeren RLT-Anlage.

²⁰ Ein Zuluft-/Aussenluftverhältnis von 0.1 sollte rein rechnerisch bei VA104-01-konformen Filterstufen erreicht werden.

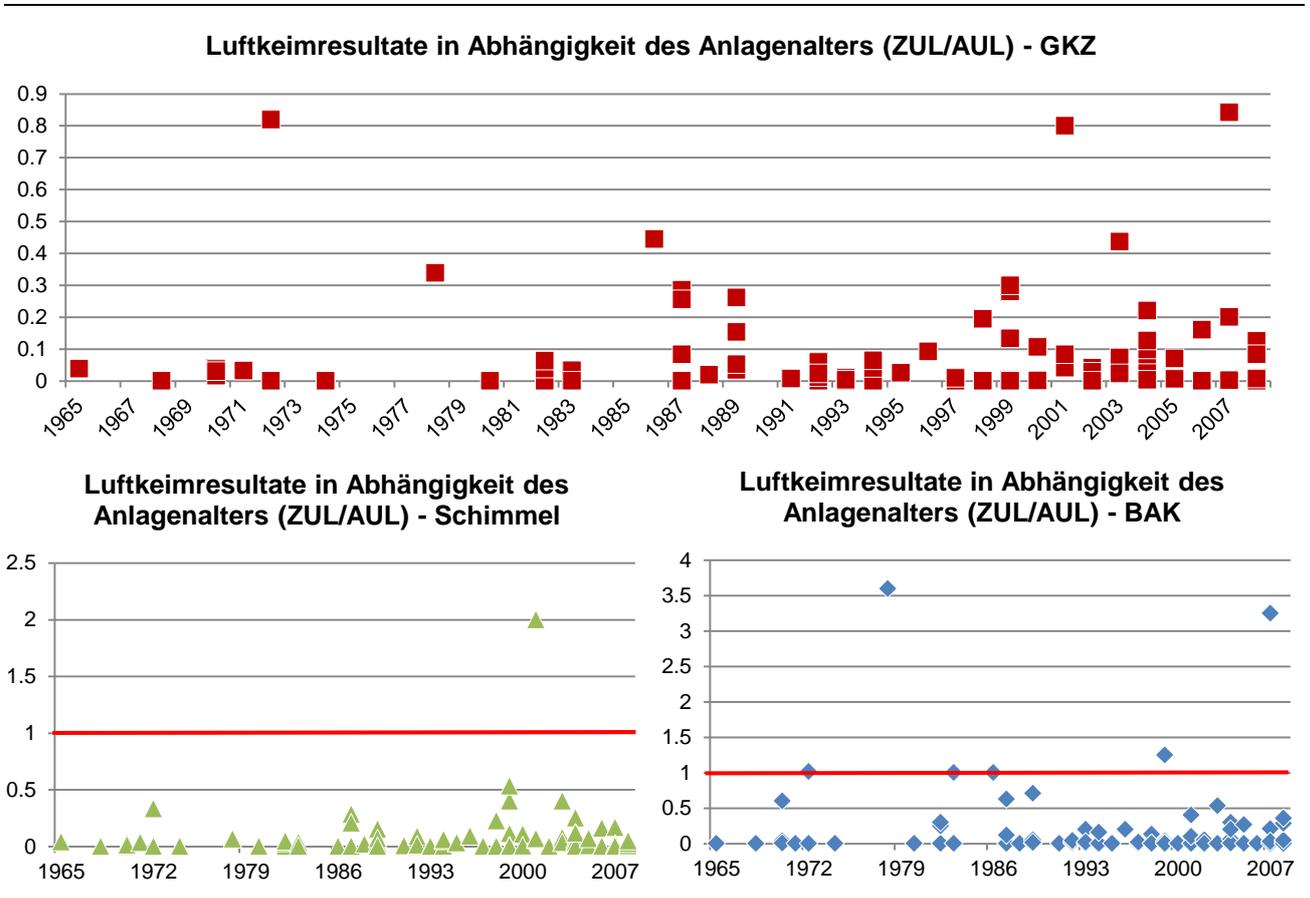


Abb. 69: Verhältnis Zuluft-/Aussenluftkonzentration bezüglich Gesamtkeimzahl (GKZ), Schimmelpilzsporen und Bakterien in Abhängigkeit vom Anlagenalter mit Anforderung SWKI-Richtlinie VA104-01 (rote Linie)

6.9. Einfluss letzte Wartung

Die Zeitspanne zwischen der letzten Wartung (in der Regel der letzte Filterwechsel) und der Hygieneinspektion könnte einen Einfluss auf die Resultate haben. Zur Beantwortung dieser Frage werden RLT-Anlagen mit unterschiedlichen Zeitspannen miteinander verglichen.

6.9.1. T/O-Beurteilung

Die statistische Auswertung der technisch-optischen Gesamtnote zeigt nur geringe Unterschiede (Daten in Tab. 12 zusammengestellt).

Bezüglich RLT-Anlagen, die 50 % und mehr beanstandete Einzelkomponenten aufweisen, steigt der Anteil mit zunehmenden Dauer zwischen Wartung und Inspektion (Abb. 70). Bei RLT-Anlagen, in denen weniger als drei Monate zuvor eine Wartung durchgeführt wurde, liegt dieser Anteil bei 25 %,

bei Anlagen, in denen die letzte Wartung mehr als zwölf Monate zurückliegt, liegt der Anteil bei 43 %.

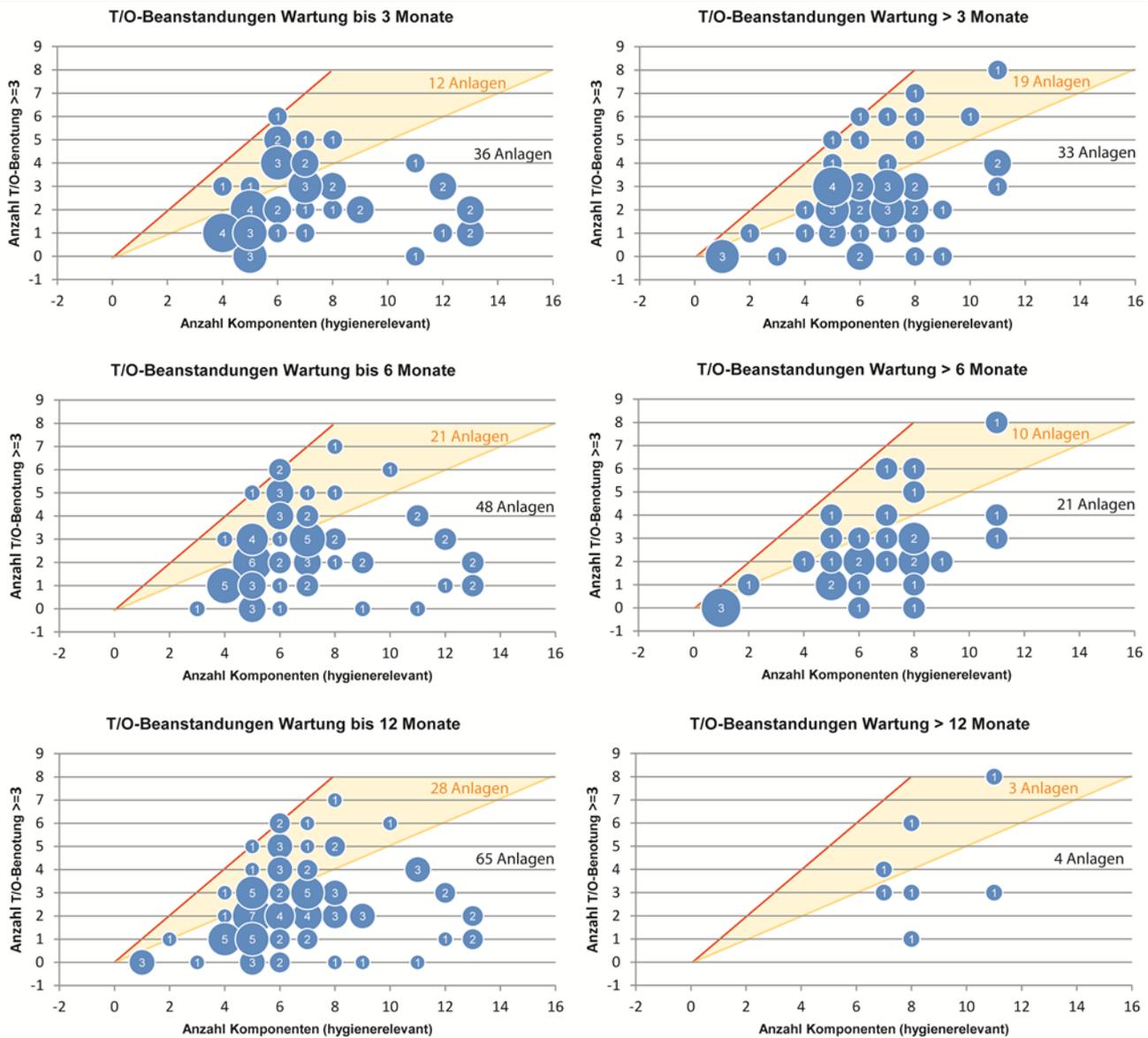


Abb. 70: Anzahl technisch-optische Beanstandungen (ohne unzugängliche Komponenten) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygienerlevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und der letzten Wartung.

Die Blasenfläche entspricht der Anzahl Anlagen mit gleicher Paarung. Orange hinterlegt: Anlagen, deren T/O-Note zu 50 % und mehr beanstandet wurden.

6.9.2. Oberflächenkeime

In Bezug auf die Oberflächenkeimbelastung zeigt sich ein etwas anderes Bild wie bei der T/O-Beurteilung. Entgegen der Erwartung weisen die sieben RLT-Anlagen, bei denen die letzte Wartung mehr als zwölf Monate zurück-

liegt, mit 2.9 KBE/cm^2 einen deutlich tieferen Mittelwert der Gesamtkeimkonzentration in der ersten Filterstufe auf als die restlichen RLT-Anlagen (14.8 KBE/cm^2 bzw. Anlagen, in den die letzte Wartung vor weniger als drei Monaten stattfand (13.2 KBE/cm^2)).

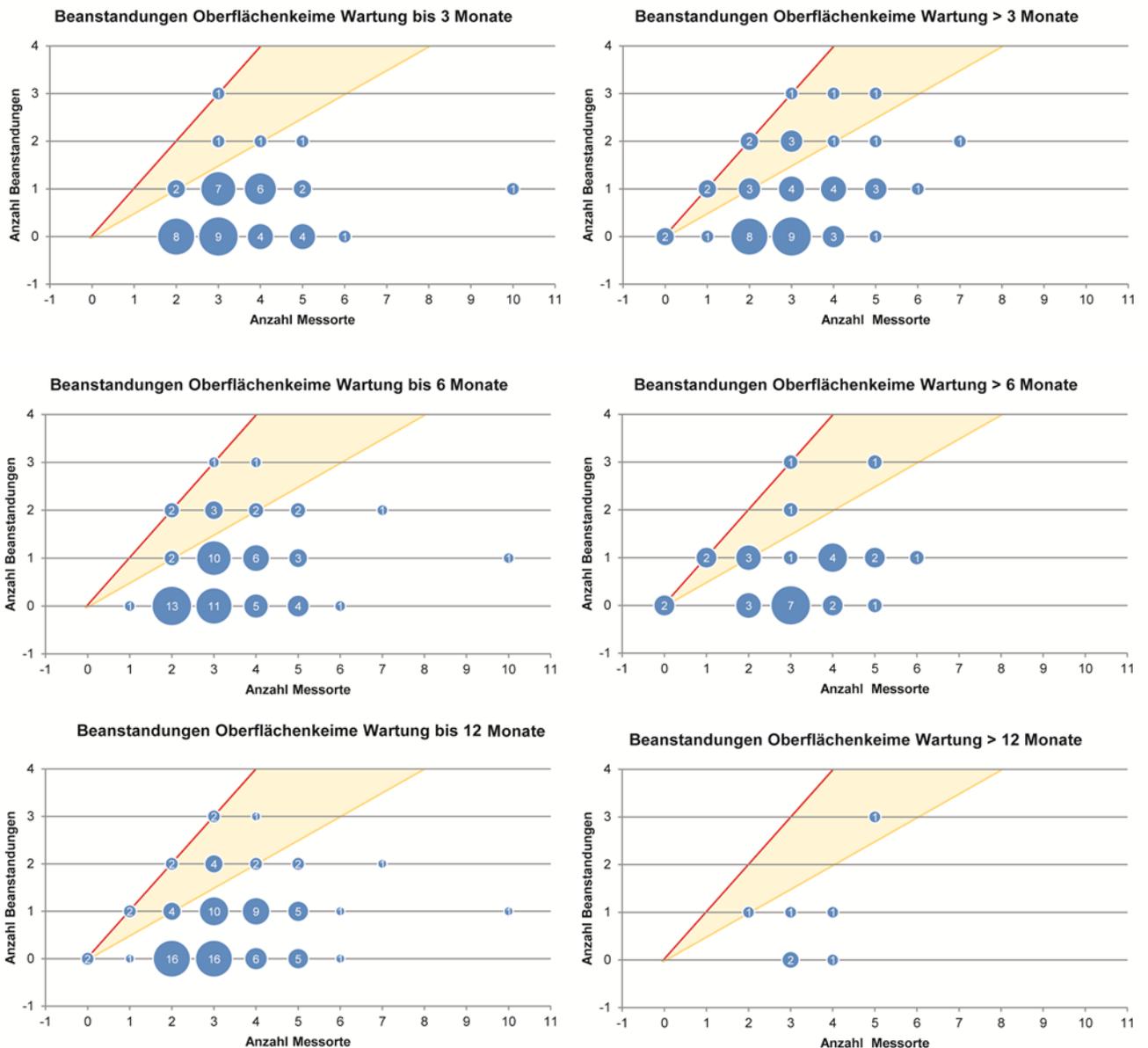


Abb. 71: Anzahl Beanstandungen bezüglich Oberflächenkeimen (Abklatsche und Tupferproben) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der Messorte der entsprechenden RLT-Anlage und der letzten Wartung.

Die Blasenfläche entspricht der Anzahl Anlagen mit gleicher Paarung. Orange hinterlegt: Anlagen, deren Oberflächen zu 50 % und mehr beanstandet wurden. Roter Punkt: Anlagen, die aufgrund fehlender Zugänglichkeit nicht beprobt werden konnten.

Betrachtet man den Anteil an RLT-Anlagen, in denen mindestens die Hälfte aller untersuchter Oberflächen bezüglich Keimgehalt beanstandet werden, sind bei längerem Abstand zur Wartung mit 29 % deutlich mehr Anlagen betroffen als mit 10 % bei kurzem Abstand (Abb. 71).

6.9.3. Luftkeime

Die Zeitspanne zur letzten Wartung einer RLT-Anlage weist keine Korrelation zum Zuluft-/Aussenluftverhältnis der Luftkeimkonzentration auf (Abb. 72). Das Nichterreichen des Schutzziels (Verhältnis höchstens eins) wird in allen untersuchten Zeitspannen festgestellt.

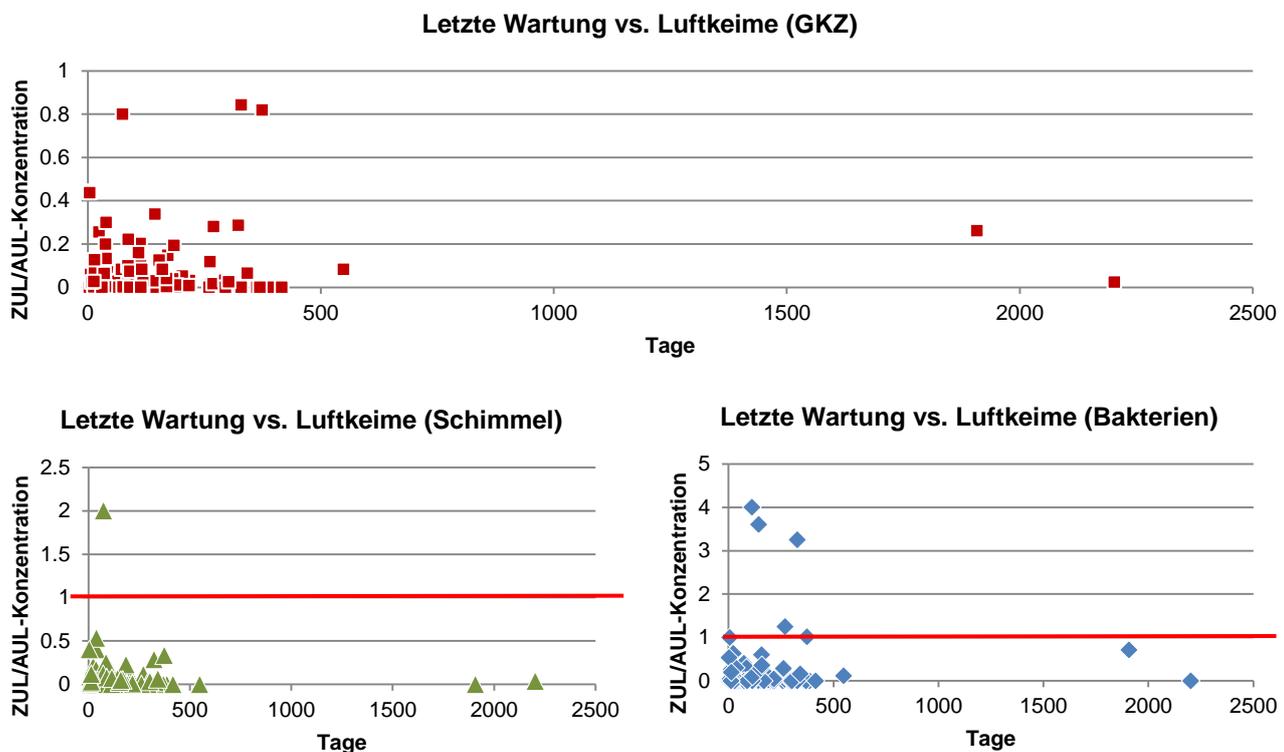


Abb. 72: Verhältnis Zuluft-/Aussenluftkonzentration bezüglich Gesamtkeimzahl (GKZ), Schimmelpilzsporen und Bakterien in Abhängigkeit der letzten Wartung mit Anforderung SWKI-Richtlinie VA104-01 (rote Linie)

6.10. Einfluss Instandhaltung

Grundsätzlich könnte die persönliche Einstellung des Anlagenverantwortlichen oder die Anwendung von Standards einen Einfluss auf die Anlagenhygiene haben. In diesem Kapitel werden diese Korrelationen untersucht.

6.10.1. T/O-Beurteilung

60 % der Anlagenverantwortlichen beurteilen den Zustand ihrer RLT-Anlage als gut bis sehr gut. Stimmen diese Ansichten mit den Resultaten der Hygieneinspektionen überein? In Abb. 73 ist die Anzahl der T/O-Benotungen ≥ 3 in Abhängigkeit zu der Gesamtzahl hygienerelevanter Komponenten dargestellt. Wird die Anlagenhygiene durch den Anlagenverantwortlichen als gut beurteilt, weisen 16 von 60 Anlagen (27 %) T/O-Benotungen auf, die einen Anteil von fünfzig Prozent bezüglich hygienerelevanter Komponenten erreichen. 15 von 40 Anlagen (38 %) sind es, wenn die Hygiene als befriedigend oder schlecht vom Anlagenbetreiber beurteilt wird bzw. keine Antwort abgegeben wurde.

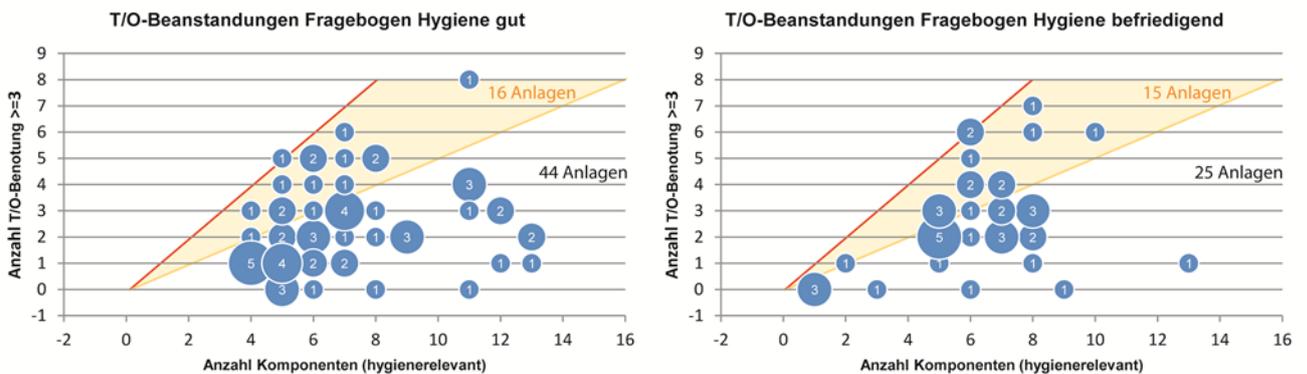


Abb. 73: Anzahl technisch-optische Beanstandungen (ohne unzugängliche Komponenten) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygienerelevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und der persönlichen Beurteilung des Hygienezustands durch den Anlagenbetreiber.

Die Blasenfläche entspricht der Anzahl Anlagen mit gleicher Paarung. Orange hinterlegt: Anlagen, deren T/O-Note zu 50 % und mehr beanstandet wurden.

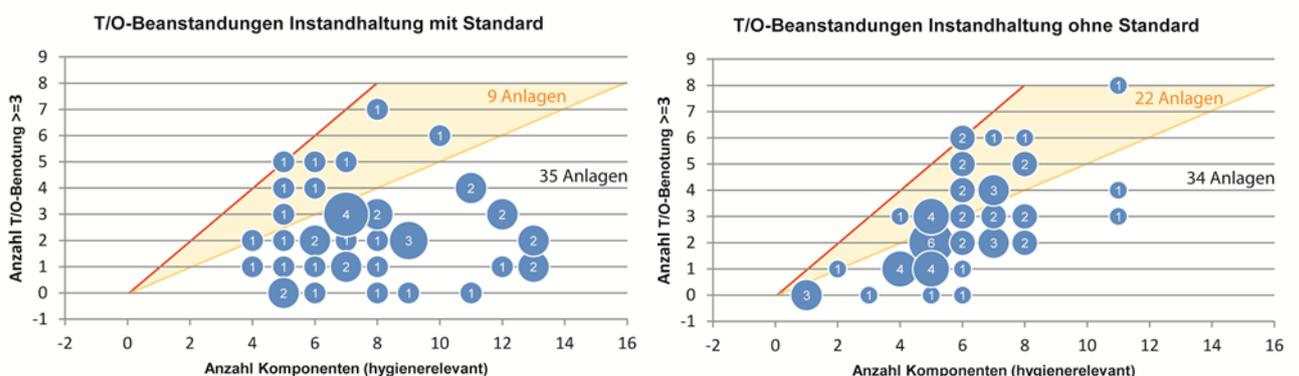


Abb. 74: Anzahl technisch-optische Beanstandungen (ohne unzugängliche Komponenten) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygienerelevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und der Anwendung eines anerkannten Standards bei der Instandhaltung.

Die Blasenfläche entspricht der Anzahl Anlagen mit gleicher Paarung. Orange hinterlegt: Anlagen, deren T/O-Note zu 50 % und mehr beanstandet wurden.

Ähnliche Resultate werden bei der Differenzierung, ob die Instandhaltung nach einem anerkannten Standard durchgeführt wird (20 % vs. 39 %) und

ob die SWKI-Richtlinie bei der Instandhaltung berücksichtigt wird (24 % vs. 33 %), erhalten (Abb. 74 und Abb. 75). Am Grössten ist der Einfluss, wenn die Instandhaltung nach einem anerkannten Standard ausgeführt wird.

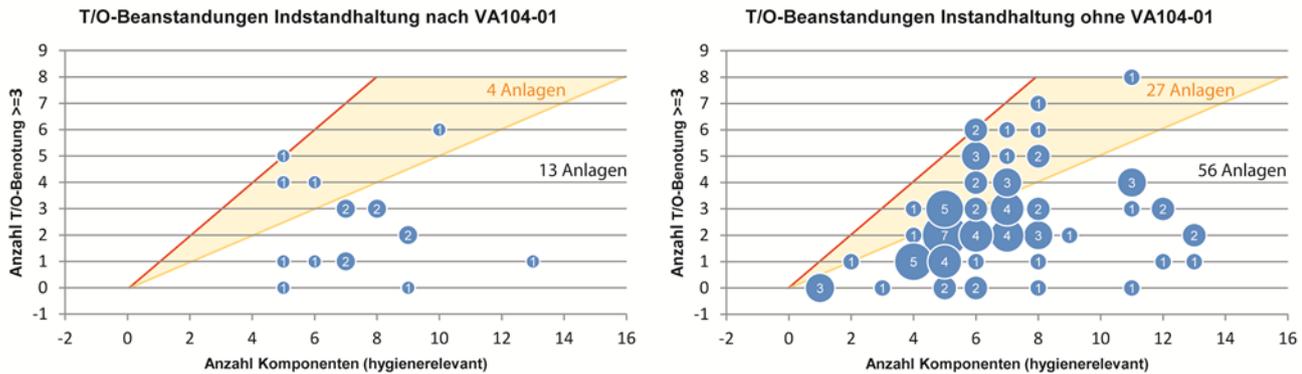


Abb. 75: Anzahl technisch-optische Beanstandungen (ohne unzugängliche Komponenten) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygierelevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und der Anwendung der SWKI-Richtlinie VA104-01 bei der Instandhaltung.

Die Blasenfläche entspricht der Anzahl Anlagen mit gleicher Paarung. Orange hinterlegt: Anlagen, deren T/O-Note zu 50 % und mehr beanstandet wurden.

Bei der Anzahl unzugänglicher Komponenten ist ebenfalls ein Unterschied erkennbar, je nachdem die persönliche Beurteilung des Hygienezustands gut oder schlecht ausfällt oder ein Standard bzw. die SWKI VA104-01 zur Instandhaltung verwendet wird.

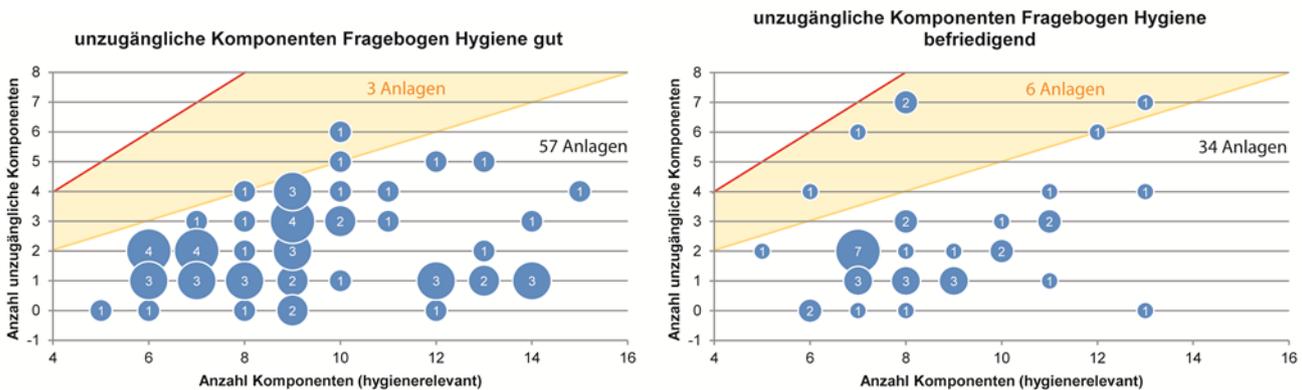


Abb. 76: Anzahl unzugängliche Komponenten in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygierelevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und der persönlichen Beurteilung des Hygienezustands durch den Anlagenbetreiber.

Die Blasenfläche entspricht der Anzahl Anlagen mit gleicher Paarung. Orange hinterlegt: Anlagen, deren Anteil unzugänglicher Bauteile 50 % und mehr beträgt.

Bei einer positiven Beurteilung des Hygienezustands durch den Anlagenverantwortlichen weisen 5 % der untersuchten Anlagen unzugängliche Bauteile auf, die einen Anteil von 50 % bezüglich hygierelevanter Komponenten erreichen bzw. überschreiten. Bei negativer Beurteilung liegt der Anteil bei 15 % (Abb. 76).

Am Deutlichsten ist der Unterschied bei RLT-Anlagen, deren Anlagenverantwortliche die Richtlinie SWKI VA104-01 anwenden. Erfolgt die Instandhaltung nach der SWKI-Richtlinie VA104-01, weist keine RLT-Anlage unzugängliche Bauteile auf, die einen Anteil von 50 % bezüglich hygienerelevanter Komponenten erreichen (Abb. 78). Ohne SWKI VA104-01 liegt der Anteil bei 11 %. Bei Anwendung eines anerkannten Standards werden mit 5 % mit und 13 % ohne Standard ähnliche Anteile erreicht (Abb. 77).

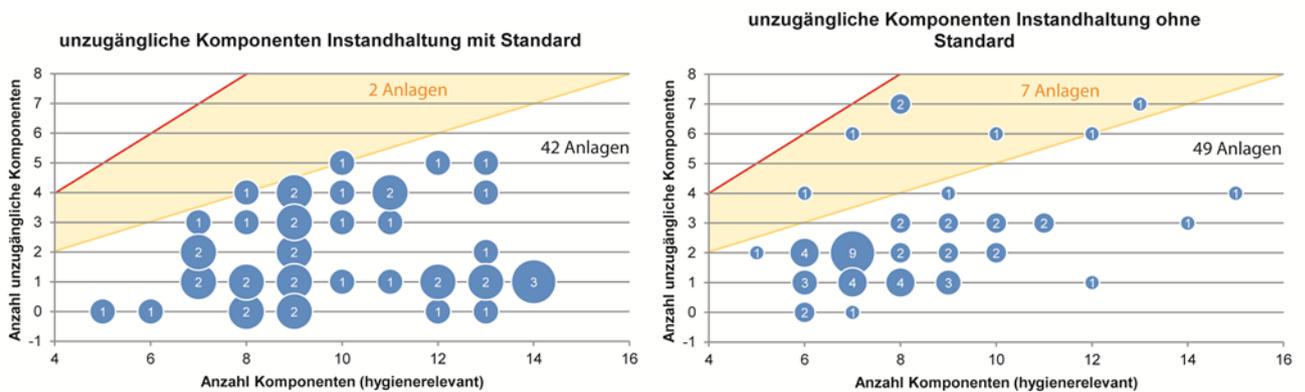


Abb. 77: Anzahl unzugängliche Komponenten in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygienerelevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und der Anwendung eines anerkannten Standards bei der Instandhaltung.

Die Blasenfläche entspricht der Anzahl Anlagen mit gleicher Paarung. Orange hinterlegt: Anlagen, deren Anteil unzugänglicher Bauteile 50 % und mehr beträgt.

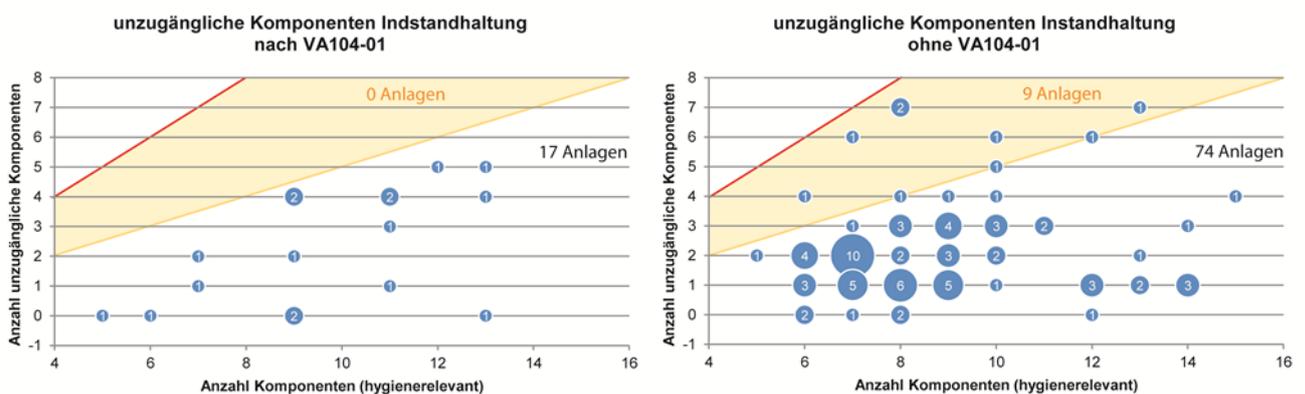


Abb. 78: Anzahl unzugängliche Komponenten in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygienerelevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und der Anwendung der SWKI-Richtlinie VA104-01 bei der Instandhaltung.

Die Blasenfläche entspricht der Anzahl Anlagen mit gleicher Paarung. Orange hinterlegt: Anlagen, deren Anteil unzugänglicher Bauteile 50 % und mehr beträgt.

Grundsätzlich hat die Instandhaltung keinen Einfluss auf unzugängliche Komponenten, da der Grundstein für die Zugänglichkeit in der Planung gelegt wird. Die klaren Unterschiede legen allerdings nahe, dass der Auftraggeber (und spätere Nutzer) der RLT-Anlage vermehrt Kenntnis vom Stand der Technik hat, wenn später die Instandhaltung nach anerkanntem Standard oder nach der Richtlinie SWKI VA104-01 ausgeführt wird.

6.10.2. Oberflächenkeime

Bei den Oberflächenkeimen ist der Einfluss der Instandhaltung nicht eindeutig. Wird die Anlagenhygiene durch den Verantwortlichen als gut beurteilt, liegen der Mittelwert und das 90. Perzentil der Keimkonzentrationen in der ersten Filterkammer höher als wenn er die Hygiene als befriedigend bewertet. Die Anzahl von Beanstandungen bezüglich Oberflächenkeimen ist ebenfalls praktisch unabhängig von der persönlichen Beurteilung des Anlagenverantwortlichen (Abb. 79).

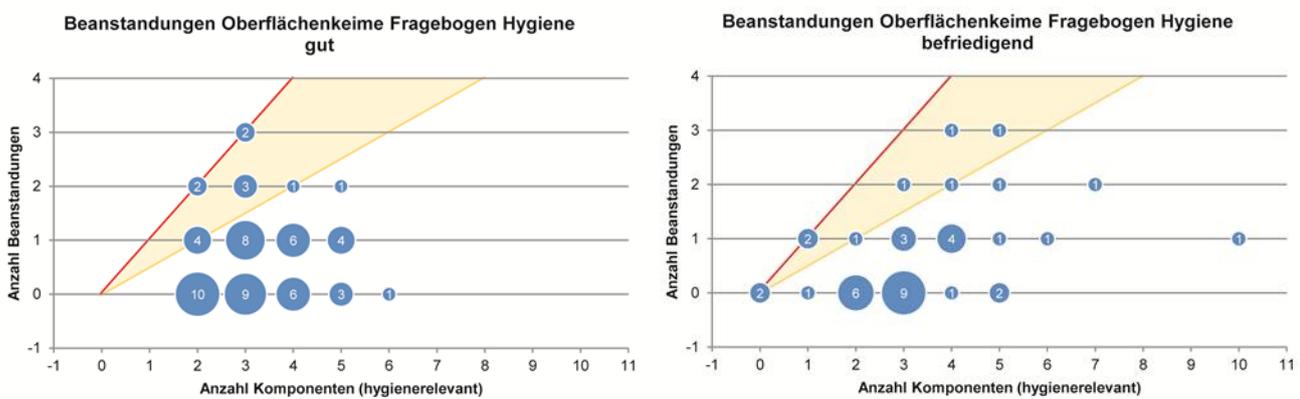


Abb. 79: Anzahl Beanstandungen bezüglich Oberflächenkeimen (Abklatsche und Tupferproben) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der Messorte der entsprechenden RLT-Anlage und der persönlichen Beurteilung des Hygienezustands durch den Anlagenbetreiber.
Die Blasenfläche entspricht der Anzahl Anlagen mit gleicher Paarung. Orange hinterlegt: Anlagen, deren Oberflächen zu 50 % und mehr beanstandet wurden. Roter Punkt: Anlagen, die aufgrund fehlender Zugänglichkeit nicht beprobt werden konnten.

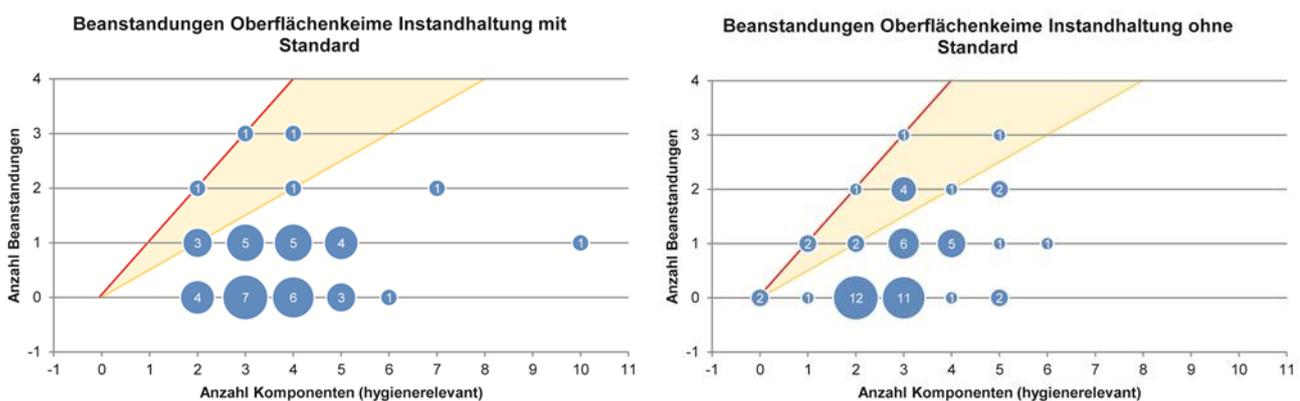


Abb. 80: Anzahl Beanstandungen bezüglich Oberflächenkeimen (Abklatsche und Tupferproben) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der Messorte der entsprechenden RLT-Anlage und der Anwendung eines anerkannten Standards bei der Instandhaltung.
Die Blasenfläche entspricht der Anzahl Anlagen mit gleicher Paarung. Orange hinterlegt: Anlagen, deren Oberflächen zu 50 % und mehr beanstandet wurden. Roter Punkt: Anlagen, die aufgrund fehlender Zugänglichkeit nicht beprobt werden konnten.

Wenn ein Standard für die Instandhaltung angewendet wird, liegen Mittelwert mit 11.8 KBE/cm² und das 90. Perzentil mit 51 KBE/cm² tiefer im Vergleich mit Anlagen, die nach keinem Standard instandgehalten werden (Mit-

telwert: 15.6 KBE/cm², 90. Perzentil: 63 KBE/cm²). In 16 % der RLT-Anlagen, in denen nach einem Standard instandgehalten wird, wird die Hälfte bzw. mehr als die Hälfte der untersuchten Oberflächenproben bemängelt. Ohne Standard liegt dieser Anteil bei 21 % (Abb. 80).

RLT-Anlagen, in denen die Richtlinie SKWI VA104-01 zur Anwendung kommt, weisen mit 24 % einen höheren Anteil an beanstandeten Oberflächenproben auf als Anlagen, deren Anlagenverantwortlich die Richtlinie nicht kennen bzw. anwenden (18 %).

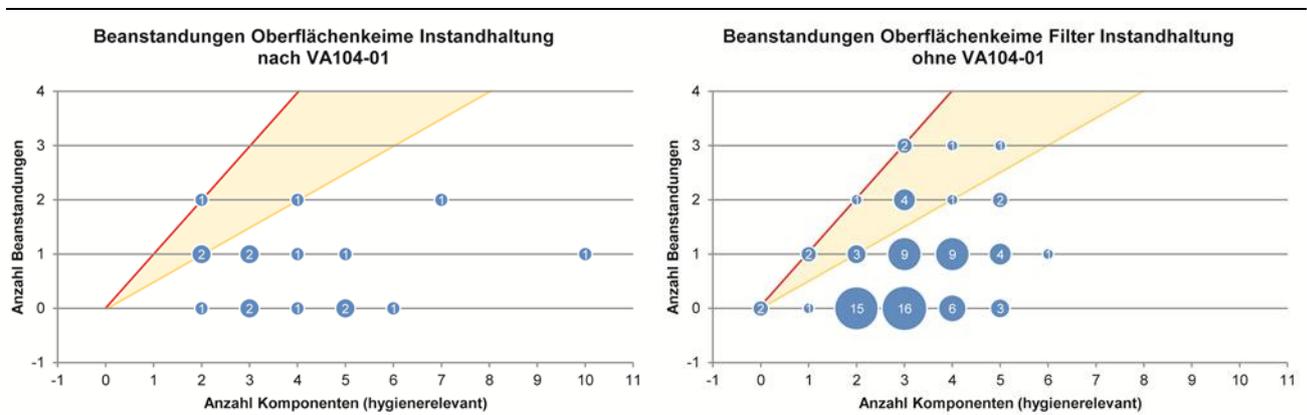


Abb. 81: Anzahl Beanstandungen bezüglich Oberflächenkeimen (Abklatsche und Tupferproben) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der Messorte der entsprechenden RLT-Anlage und der Anwendung der SWKI-Richtlinie VA104-01 bei der Instandhaltung.

Die Blasenfläche entspricht der Anzahl Anlagen mit gleicher Paarung. Orange hinterlegt: Anlagen, deren Oberflächen zu 50 % und mehr beanstandet wurden. Roter Punkt: Anlagen, die aufgrund fehlender Zugänglichkeit nicht beprobt werden konnten.

Ein sehr deutlicher Unterschied wird in den eingesetzten Filterstufen festgestellt. Wird die RLT-Anlage nach einem anerkannten Standard oder nach der SWKI-Richtlinie VA104-01 instandgehalten, liegt der Anteil mit SWKI VA104-01 konformen Filterstufen bei 73 % bzw. 76 %. Ohne Standard oder Hygienerichtlinie liegt der Anteil mit SWKI VA104-01 konformen Filterstufen bei 29 % (Standard) bzw. 42 % (Hygienerichtlinie).

6.11. Technische Details

6.11.1. Technische Lebensdauer

In der Lüftungsnorm SIA 382/1 sind Richtwerte für die technische Lebensdauer von Komponenten angegeben. Die wichtigsten Hauptkomponenten einer RLT-Anlage (Lufterhitzer, Luftkühler, statisches WRG, Ventilator) ichsen eine Lebensdauer von 20 Jahren bei mittlerer Beanspruchung auf. Einige Komponenten haben eine tiefere Lebensdauer, beispielweise Luftbefeuchter (10 Jahre bzw. 4 Jahre bei Dampfbefeuchtern), andere wiederum

eine höhere Lebensdauer, z.B. Luftkanal und Schalldämpfer (30 Jahre). Ausgehend von den Hauptkomponenten im Monoblock und der daraus resultierenden technischen Lebensdauer von 20 Jahren haben von den untersuchten Anlagen 2/3 die Lebensdauer nicht erreicht. 23 % sind älter als 20 Jahre und haben damit ihre technische Lebensdauer überschritten. Bei 8 Anlagen waren keine Daten zum Baujahr erhältlich (Abb. 82).

Technische Lebensdauer (TL)

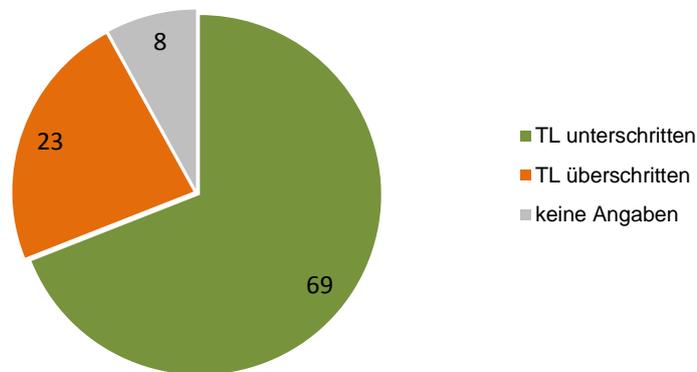


Abb. 82: Über-/Unterschreitung der technischen Lebensdauer (Hauptkomponenten gemäss SIA 382/1) der inspizierten und ausgewählten RLT-Anlagen

Mit der Überschreitung der technischen Lebensdauer kann nicht grundsätzlich von einer mangelhaften Anlage ausgegangen werden (siehe dazu Kapitel Seite 66). Bei der Behebung allfälliger Mängel sollte die technische Lebensdauer auf jeden Fall mitberücksichtigt werden.

6.11.2. Anlagen ohne WRG

24 % aller untersuchten Lüftungsanlagen verfügen über keine WRG (siehe Seite 19 Abb. 4). Hier stellt sich die Frage, ob dies ein Effekt des Baujahrs und/oder des Gebäudetyps ist. Der Anteil von RLT-Anlagen ohne WRG ist bei älteren Anlagen mit Baujahr vor 1990²¹ mit 57 % deutlich höher im Vergleich zu Anlagen mit Baujahr ab 1990 mit 3 % (Abb. 83). Gleichzeitig verschiebt sich der Haupttyp vom Rotationswärmetauscher hin zum Platten-WRG. Diese Tendenz wird bei Anlagen ab Baujahr 2000 bestätigt. Vergleicht man die Gebäudetypen bei den Anlagen mit Baujahr vor und ab 1990 fällt in erster Linie auf, dass vor 1990 keine Wohnbauten (EFH und MFH) vorhanden sind (Abb. 85). Da diesem Gebäudetyp vor allem Plattenwärmetauscher eingesetzt werden (Abb. 84), verzerrt sich das Bild. Allerdings ist

²¹ Jahr der Einführung der ersten Energiesparverordnung in Bern

der WRG-Haupttyp in den untersuchten RLT-Anlagen in Nichtwohngebäuden mit Baujahr ab 1990 ebenfalls der Plattenwärmetauscher.

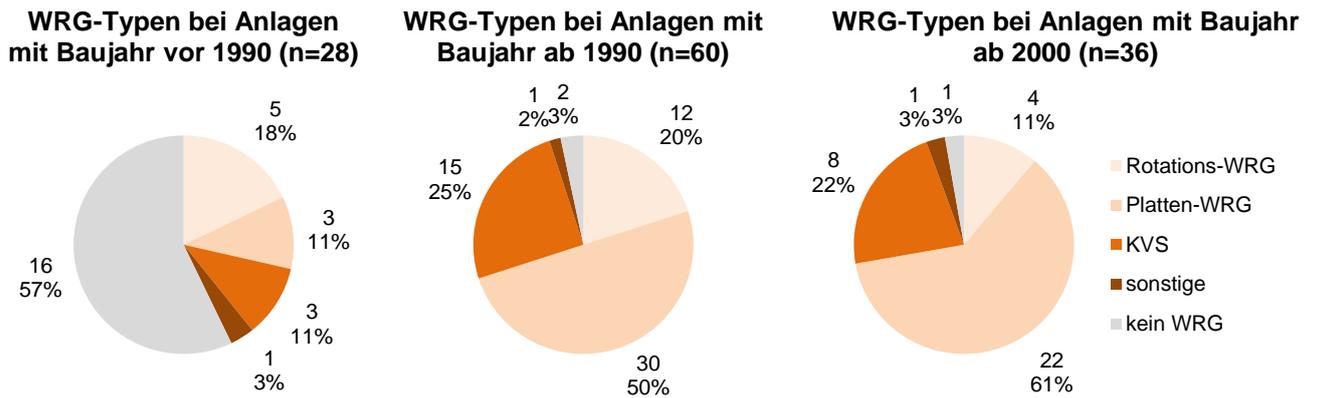


Abb. 83: Verteilung der WRG-Typen in Abhängigkeit vom Baujahr der Anlage

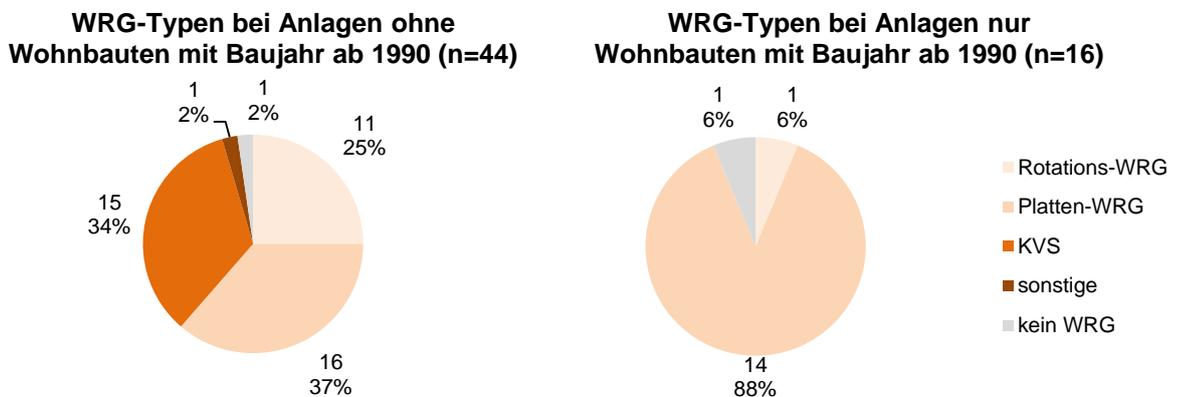


Abb. 84: Verteilung der WRG-Typen in Abhängigkeit vom Baujahr der Anlage und vom Gebäudetyp (Nichtwohngebäude/Wohngebäude)

Bei den Anlagen ohne WRG ist keine Präferenz zu einem bestimmten Gebäudetyp zu erkennen. Mit Ausnahme von Industrie- und Schulbauten weisen alle Gebäudetypen mit Anlagen vor 1990 Systeme mit und ohne WRG auf (Abb. 86). Der Anteil an Anlagen ohne WRG ist bei Restaurants und Verkauf am Höchsten. Allerdings ist die Datengrundlage (insgesamt 16 Anlagen vor 1990 ohne WRG) eher klein.

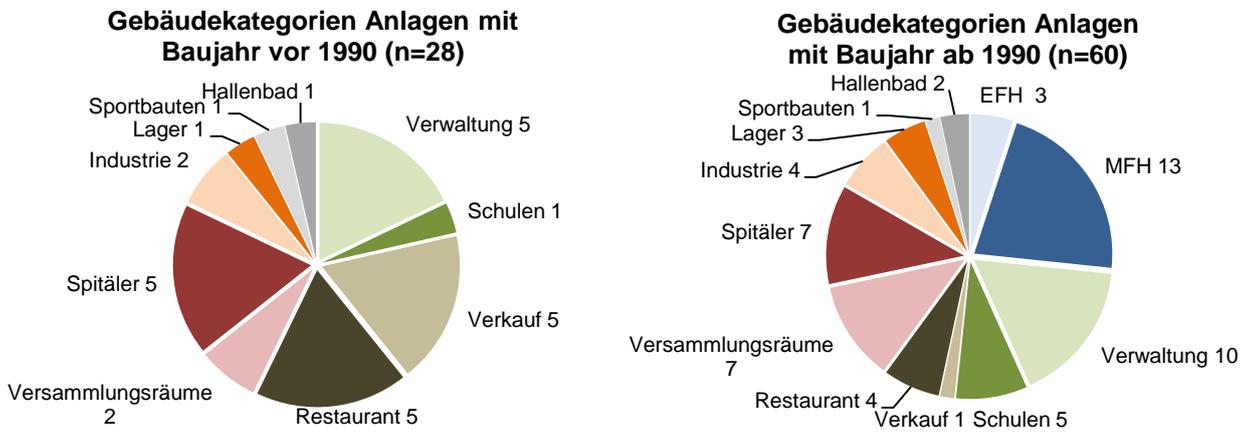


Abb. 85: Gebäudekategorien in Abhängigkeit vom Baujahr der Anlage (ohne reine Umluftanlagen)

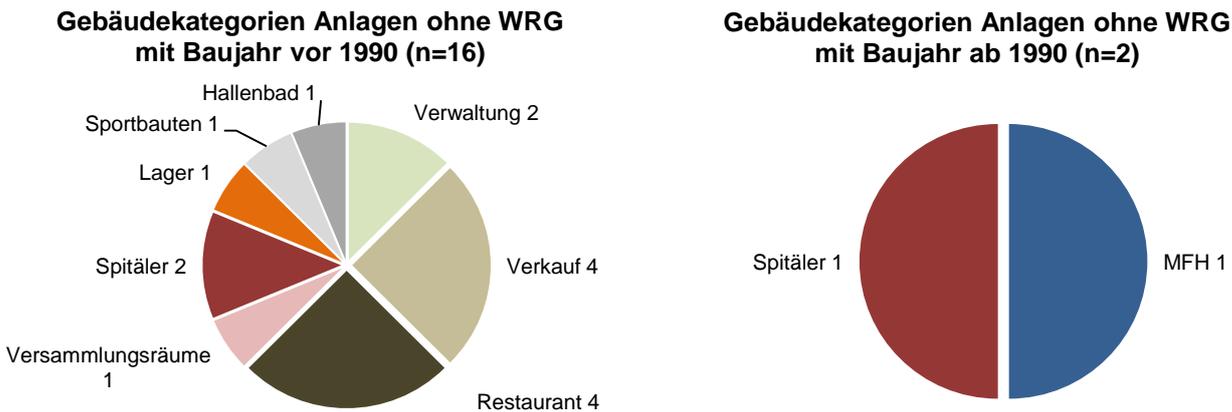


Abb. 86: Gebäudekategorien von Anlagen ohne Wärmerückgewinnung in Abhängigkeit vom Baujahr (ohne reine Umluftanlagen)

6.11.3. Filterklassen

Gemäss SWKI-Richtlinie muss die Aussenluft mindestens mit der Klasse F7 gefiltert werden. Bei reinen Umluftanlagen ist ein Filter der Klasse F5 einzusetzen, Mischluft ist ebenfalls mit Klasse F7 zu reinigen. Ohne Berücksichtigung des Anlagenalters weisen 48 % aller untersuchten Anlagen einen konformen Filter auf. Zwei Filter sind nicht nach EN 779 klassifizierbar (ein Elektro- und ein Ölfilter). Bei vier Anlagen ist der Filter nicht einsehbar. Da Luftfilter regelmässig kontrolliert (alle drei Monate) und gewechselt (jährlich) werden müssen, ist diese Unzugänglichkeit bedenklich.

Anforderung Filterklassen nach SWKI VA104-01

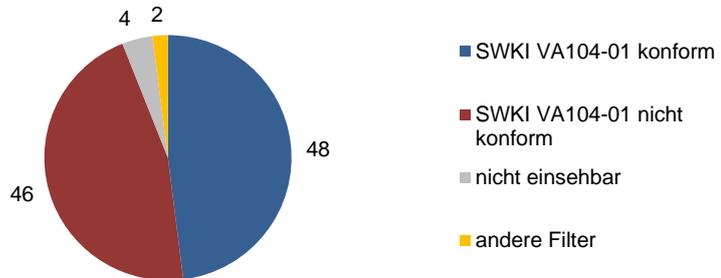


Abb. 87: Erfüllte/Nicht erfüllte Anforderung gemäss SWKI VA104-01 an die letzte Filterstufe (mindestens F7 bzw. F5 bei reinen Umluftanlagen) unter Berücksichtigung aller Baujahre.

Streng genommen gilt die Einhaltung der Richtlinie erst ab ihrem Erscheinen. Die erste SWKI-Richtlinie ist 2004 erschienen. Ab diesem Datum gilt die Richtlinie als Stand der Technik. Somit stellt sich die Frage, wie viele Filter bei Anlagen ab Baujahr 2004 der Richtlinie entsprechen.

48 % aller Anlagen ab Baujahr 2004 weisen einen konformen Filter auf. Bei 35 % der Anlagen ist die Filterklasse des letzten Filters zu tief. Bei drei neueren Anlagen (Baujahr 2008) sind die Filter nicht einsehbar, eine Anlage weist einen nicht klassifizierbaren Filter auf.

Anforderung Filterklassen nach SWKI VA104-01 (Anlagen ab 2004)

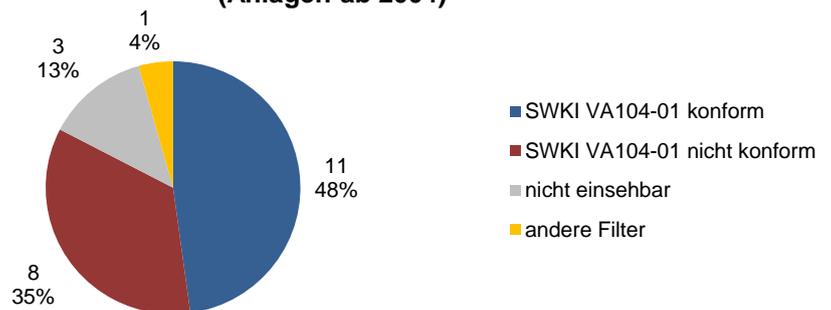


Abb. 88: Erfüllte/Nicht erfüllte Anforderung gemäss SWKI VA104-01 an die letzte Filterstufe (mindestens F7 bzw. F5 bei reinen Umluftanlagen) unter Berücksichtigung der Baujahre ab 2004.

Die Filterklasse hat einen direkten Einfluss auf die Oberflächenkeime im Monoblock (siehe Kapitel Einfluss Luftfilter Seite 54). Zur Sicherstellung eines hygienisch einwandfreien Betriebs einer Lüftungsanlage scheint deshalb der Einsatz von durch die in SWKI VA104-01 empfohlenen Filterklassen gerechtfertigt und sinnvoll.

6.11.4. Tupferproben

Tupferproben sind zur Beurteilung von Oberflächen in RLT-Anlagen nicht vorgesehen (vergleiche dazu SKWI-Richtlinie VA104-02). Trotzdem werden sie in der Praxis verwendet, da sich nicht alle Oberflächen zur Beprobung mit Abklatschen eignen. Die Frage stellt sich, wie die Messergebnisse von Tupferproben beurteilt werden sollen. Kann der gleiche Massstab wie bei Abklatschen angewendet werden oder muss ein separater Standard definiert werden?

Für die in diesem Projekt verwendeten Nasstupfer wurden höhere Beurteilungswerte definiert. Dies aufgrund von persönlichen Erfahrungen der beteiligten Inspektionsfirmen, die zeigen, dass Nasstupfer sensibler auf vorhandene Keimkonzentrationen reagieren.

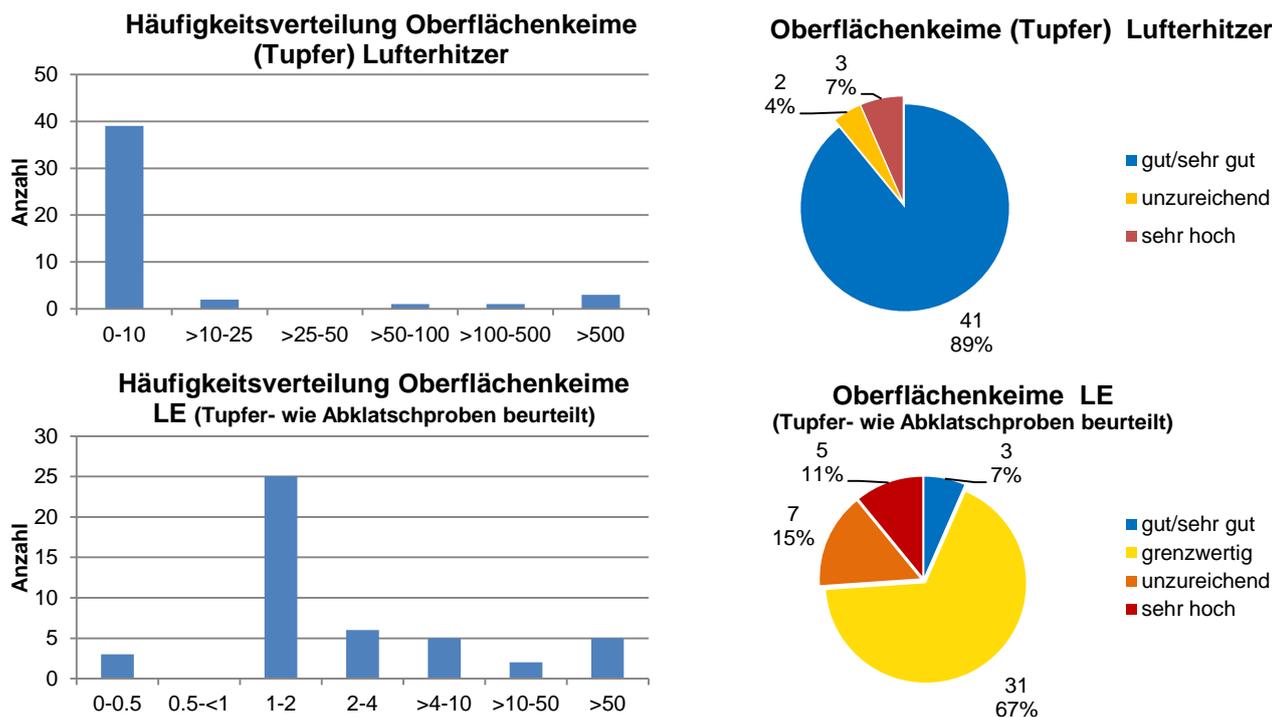


Abb. 89: Beurteilung aller Tupferproben am Luftherhitzer (n=46).
 Oben: Beurteilung nach internem Standard diesen Projekts (siehe); Unten: Anwendung der Beurteilungswerte für Abklatsche der SWKI-Richtlinie VA104-02.

In Abb. 89 sind die Resultate von Tupferproben sowohl nach dem hier verwendeten Massstab als auch nach den Beurteilungswerten aus der SWKI-Richtlinie VA104-02 ausgewertet. Je nach angewendetem Beurteilungsmassstab sind 89 % oder nur 7 % der untersuchten Oberflächen in einem guten oder sehr guten Zustand. Würden die Beurteilungswerte für Abklatsche verwendet, wären Luftherhitzer mit Abstand die Bauteile, die bezüglich Oberflächenkeimen den schlechtesten Zustand aufweisen (vergleiche Abb.

11 Seite 24). Sie wären deutlich schlechter als Abklatschproben in ersten Zuluftfilterkammer (47 % gut/sehr gut) und in der Zuluftventilator-kammer (48 % gut/sehr gut).

Oberflächenkeime innerhalb einer RLT-Anlage werden entweder von aussen eingetragen (ungenügende Filterwirkung) oder sie stammen aus einer Quelle innerhalb der Anlage. Keime brauchen immer Wasser, damit sie gedeihen können. Da im Luftherhitzer aufgrund der Wärme in der Regel mit wenig Feuchte zu rechnen ist, ist ein im Vergleich zu den restlichen Bauteilen deutlich schlechterer hygienischer Zustand dieser Bauteile sehr unwahrscheinlich.

Dass Tupfer nicht wie Abklatsche beurteilt werden können, scheint aufgrund der vorliegenden Resultate plausibel. Welche Tupferbeurteilung mit den Beurteilungswerten für Abklatsche der SWKI-Richtlinie VA104-01 am besten korreliert, kann mit den Resultaten dieser Untersuchung nicht geklärt werden. Hier besteht weiterer Abklärungsbedarf.

7. Schlussfolgerungen

7.1. Wie ist der Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz?

7.1.1. Status quo

Der Status quo in Bezug auf die technisch-optische Beurteilung, die Zugänglichkeit und die Keimbelastung von Oberflächen präsentiert sich wie folgt:

T/O-Beurteilung

- In 12 % der untersuchten RLT-Anlagen werden alle hygienerelevanten und zugänglichen Komponenten mit Note 1 oder 2 bewertet.
- In 31 % der RLT-Anlagen werden bei mindestens der Hälfte der hygienerelevanten und zugänglichen Komponenten Hygienemängel festgestellt (Note ≥ 3).
- Die schlechtesten Beurteilungen liegen für Kanalschalldämpfer, Luftkühler und 1. Filterstufe vor. Der Zuluftdurchlass wird am besten bewertet.
- Die Hauptgründe für Hygienemängel sind Verschmutzung/Korrosion und konstruktive Mängel.

Zugänglichkeit

- In 11 % der untersuchten RLT-Anlagen sind alle hygienerelevanten Komponenten zugänglich für die Instandhaltung.
- In 9 % der RLT-Anlagen ist mindestens die Hälfte der hygienerelevanten Komponenten nicht zugänglich bzw. nicht einsehbar.
- 19 % aller hygienerelevanten Komponenten sind nicht zugänglich und bei weiteren 21 % ist der Zugang eingeschränkt.
- Kanalschalldämpfer, Zuluftkanäle, Nachkühler, Aussenluftkanäle und Luftkühler weisen den höchsten Anteil an unzugänglichen Komponenten auf.
- Aussenluftdurchlässe, Filterkammern und Zuluftdurchlässe sind mit einem Anteil von über 80 % am besten zugänglich.

Oberflächenkeime

- In 51 % der untersuchten RLT-Anlagen werden keine Oberflächen beanstandet (kein unzureichender Befund).
- In 19 % der RLT-Anlagen wird mindestens die Hälfte aller untersuchter Oberflächen beanstandet.
- Der höchste Anteil mit unzureichendem Befund wird mit je 1/3 bei Luftbefeuchtern, Zuluftventilatoren und 1. Filterstufe festgestellt.
- Der kleinste Anteil an gut beurteilten Oberflächen ist bei der 1. Filterstufe und beim Zuluftventilator nachweisbar (<50 %).

Technische Lebensdauer

- 23 % der untersuchten RLT-Anlagen sind älter als zwanzig Jahre und haben damit ihre technische Lebensdauer überschritten.

Wärmerückgewinnung

- 43 % der untersuchten RLT-Anlagen mit Baujahr vor 1990 verfügen über eine Wärmerückgewinnung.
- Bei RLT-Anlagen mit Baujahr ab 1990 liegt der Anteil von Anlagen mit WRG bei 97 %.

Filterklassen

- Bei RLT-Anlagen mit Baujahr vor 2004 (Erscheinen der SWKI-Richtlinie 2003-5) liegt der Anteil an Richtlinien-konformen Filterstufen bei 48 %.
- RLT-Anlagen mit Baujahr ab 2004 weisen den gleichen Anteil (48 %) an Richtlinien-konformen Filterstufen auf.

7.1.2. Schutz von Personen

Das Schutzziel, keine Verschlechterung der Zuluft in keiner Kategorie, wird in 6 % der untersuchten RLT-Anlagen nicht erreicht. Die Konzentrationsbereiche liegen in einem nicht auffälligen Bereich. Der Schutz von Personen ist bei allen RLT-Anlagen gewährleistet.

7.1.3. Vergleich mit Ausland

Die technisch-optische Beurteilung der untersuchten RLT-Anlagen (Gesamtnote) ist geringfügig besser im Vergleich zu Anlagen, die im Rahmen einer grossen deutschen Untersuchung beurteilt wurden. Im Vergleich mit einer amerikanischen Studie werden die Einzelkomponenten praktisch gleich beurteilt.

7.2. Wie organisiert der Anlagenbetreiber die Instandhaltung?

Die Mehrheit der Anlagenverantwortlichen verfügen über ein Instandhaltungskonzept. Die Instandhaltung wird zu 44 % nach einem anerkannten Standard durchgeführt, wobei nur 16 % die SWKI-Richtlinie VA104-01 anwenden.

7.3. Gibt es Korrelationen?

7.3.1. Unterschiede Wohn-/Nichtwohngebäude

Zwischen Wohn- und Nichtwohngebäuden lassen sich Unterschiede aufzeigen.

Kriterium	Wohngebäude N=16	Nichtwohngebäude N=84
T/O-Beurteilung Beanstandungen 0 %	13 %	12 %
T/O-Beurteilung Beanstandungen ≥ 50 %	19 %	33 %
T/O-Beurteilung Beanstandungen ≥ 75 %	0 %	13 %
T/O-Beurteilung Beanstandungen 100 %	0 %	3 %
T/O-Beurteilung Mittelwert Note (exkl. 6)	2.26	2.24
T/O-Beurteilung 90-Perzentile Note (exkl. 6)	2.86	3.00
Keine Zugänglichkeit 0 % der Komponenten	0 %	13 %
Keine Zugänglichkeit ≥ 50 % der Komponenten	0 %	9 %
Keine Zugänglichkeit ≥ 75 % der Komponenten	0 %	3 %
Keine Zugänglichkeit 100 % der Komponenten	0 %	0 %
OF-Beurteilung Beanstandungen 0 %	69 %	46 %
OF-Beurteilung Beanstandungen ≥ 50 %	19 %	19 %
OF-Beurteilung Beanstandungen ≥ 75 %	13 %	6 %
OF-Beurteilung Beanstandungen 100 %	13 %	5 %
OF-Konzentration FIL1 Mittelwert [KBE/cm ²]	22	12
OF-Konzentration FIL1 90-Perzentile [KBE/cm ²]	100	52
Erfüllung des Schutzziels (Luftkeime)	100 %	93 %
Mit SWKI VA104-01 konforme Filterstufen	38 %	48 %
Instandhaltung nach anerkanntem Standard	6 %	51 %
Verwendung von SWKI VA104-01	6 %	19 %
Instandsetzungsdokumente vorhanden	31 %	67 %

Tab. 7: Zusammenstellung der Vergleiche zwischen Wohn- und Nichtwohnbauten bezüglich T/O-Beurteilung, Zugänglichkeit, Oberflächenkeime, Filterstufen und Instandhaltung.
(grün: Wert mindestens 20 % besser als Vergleichstyp; rot: Wert mindestens 20 % schlechter als Vergleichstyp)

Je nach Kriterium weist ein Gebäudetyp bessere Resultate auf (Tab. 7). Zusammenfassend lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- In RLT-Anlagen von Nichtwohngebäuden werden relativ zur Gesamtzahl hygienerelevanter Komponenten vermehrt Bauteile technisch-optisch beanstandet.
- In RLT-Anlagen von Nichtwohngebäuden sind relativ zur Gesamtzahl hygienerelevanter Komponenten vermehrt unzugängliche Bauteile vorhanden.
- In Wohngebäuden gibt es mehr Anlagen ohne Beanstandungen der Keimkonzentrationen an inneren Oberflächen. Dagegen gibt es mehr RLT-Anlagen in Wohngebäuden, deren Keimkonzentrationen an einer Mehrzahl der untersuchten Oberflächen beanstandet werden.
- Die gefundenen Keimkonzentrationen liegen im Durchschnitt in RLT-Anlagen von Wohngebäuden höher als in Nichtwohngebäuden.
- Das Schutzziel wird nur in Nichtwohngebäuden nicht erreicht (7 %).
- Die letzte Filterstufe in RLT-Anlagen ist in Wohngebäuden im Vergleich zu Nichtwohngebäuden weniger Richtlinien-konform (SWKI VA104-01).
- Grosser Unterschied besteht in der Instandhaltung. Anlagenverantwortliche von Wohngebäuden halten ihre RLT-Anlagen deutlich weniger nach anerkannten Standard Instand, nutzen die SWKI-Richtlinie VA104-01 weniger und es sind weniger Instandsetzungsdokumente vorhanden.

7.3.2. Einfluss Luftfilterstufe

Die Filterstufe hat den grössten Einfluss auf die technisch-optische Beurteilung und die Keimbelastung von Oberflächen.

- Bei allen untersuchten Kriterien (Tab. 8) sind in RLT-Anlagen mit zu SWKI VA104-01 konformen Filterstufen bessere oder gleich hohe Werte nachweisbar als in Anlagen mit nicht konformen Filterstufen.
- In der ersten Filterkammer werden bei RLT-Anlagen, die mit Filtern der Klasse F7 oder besser ausgestattet sind, 82 % der untersuchten Oberflächen als gut beurteilt. In RLT-Anlagen, die mit Filtern der Klasse tiefer als F7 ausgestattet sind, liegt der Anteil bei 30 %.
- Die Unterschiede sind auch in der Zuluftventilator-kammer nachweisbar.

- RLT-Anlagen mit zu SWKI VA104-01 konformen Filtern weisen einen kleineren Anteil an unzugänglichen Komponenten auf.

Kriterium	Mit SWKI VA104-01 konform	Nicht mit SWKI VA104-01 konform
	N=48	N=52
T/O-Beurteilung Beanstandungen 0 %	13 %	12 %
T/O-Beurteilung Beanstandungen ≥ 50 %	21 %	40 %
T/O-Beurteilung Beanstandungen ≥ 75 %	6 %	15 %
T/O-Beurteilung Beanstandungen 100 %	0 %	6 %
T/O-Beurteilung Mittelwert Note (exkl. 6)	2.16	2.32
T/O-Beurteilung 90-Perzentile Note (exkl. 6)	2.8	3.0
Keine Zugänglichkeit 0 % der Komponenten	13 %	10 %
Keine Zugänglichkeit ≥ 50 % der Komponenten	2 %	15 %
Keine Zugänglichkeit ≥ 75 % der Komponenten	0 %	6 %
Keine Zugänglichkeit 100 % der Komponenten	0 %	0 %
OF-Beurteilung Beanstandungen 0 %	52 %	48 %
OF-Beurteilung Beanstandungen ≥ 50 %	10 %	27 %
OF-Beurteilung Beanstandungen ≥ 75 %	4 %	10 %
OF-Beurteilung Beanstandungen 100 %	2 %	10 %
OF-Konzentration FIL1 Mittelwert [KBE/cm ²]	10.7	16.8
OF-Konzentration FIL1 90-Perzentile [KBE/cm ²]	51	72
Erfüllung des Schutzziels (Luftkeime)	94 %	94 %
Mit SWKI VA104-01 konforme Filterstufen	48	52

Tab. 8: Zusammenstellung der Vergleiche zwischen RLT-Anlagen mit zu SWKI VA104-01 konformen und nicht konformen Filterstufen bezüglich T/O-Beurteilung, Zugänglichkeit und Oberflächenkeime. (grün: Wert mindestens 20 % besser als Vergleichstyp; rot: Wert mindestens 20 % schlechter als Vergleichstyp)

7.3.3. Einfluss Abscheidegrad

- Eine Partikelgrösse von 2.5 µm eignet sich gut zur Beurteilung des Luftkeimverhältnisses
- Grundsätzlich sind nur geringe Korrelationen zwischen einem Abscheidegrad grösser oder kleiner 80 % nachweisbar.
- Luftkeimverhältnisse, die über dem nachgewiesenen Abscheidegrad liegen, werden nur bei RLT-Anlagen nachgewiesen, die nur eine Filterstufe aufweisen und diese zusätzlich nicht mit SWKI VA104-01 konform ist.

Kriterium	>80 % N=17	<80 % N=7
T/O-Beurteilung Beanstandungen 0 %	6 %	14 %
T/O-Beurteilung Beanstandungen ≥ 50 %	29 %	29 %
T/O-Beurteilung Beanstandungen ≥ 75 %	12 %	14 %
T/O-Beurteilung Beanstandungen 100 %	0 %	0 %
T/O-Beurteilung Mittelwert Note (exkl. 6)	2.42	2.31
T/O-Beurteilung 90-Perzentile Note (exkl. 6)	3.11	-
OF-Beurteilung Beanstandungen 0 %	53 %	29 %
OF-Beurteilung Beanstandungen ≥ 50 %	12 %	14 %
OF-Beurteilung Beanstandungen ≥ 75 %	6 %	0 %
OF-Beurteilung Beanstandungen 100 %	0 %	0 %
OF-Konzentration FIL1 Mittelwert [KBE/cm ²]	16.3	18.0
OF-Konzentration FIL1 90-Perzentile [KBE/cm ²]	100	-
Erfüllung des Schutzziels (Luftkeime)	100 %	100 %
Nicht mit SWKI VA104-01 konforme Filterstufen	71 %	57 %

Tab. 9: Zusammenstellung der Vergleiche zwischen RLT-Anlagen mit Abscheidegrad 2.5 µm besser oder schlechter als 80 % bezüglich T/O-Beurteilung, Zugänglichkeit, Oberflächenkeime und Filterstufen.

(grün: Wert mindestens 20 % besser als Vergleichstyp; rot: Wert mindestens 20 % schlechter als Vergleichstyp)

7.3.4. Einfluss Luftkeimverhältnis

- Zwischen dem Luftkeimverhältnis und der technisch-optischen Beurteilung, der Zugänglichkeit und den Oberflächenkeimen sind nur geringe Korrelationen nachweisbar.

Kriterium	≤0.1 N=76	>0.1 N=24
T/O-Beurteilung Beanstandungen 0 %	12 %	13 %
T/O-Beurteilung Beanstandungen ≥ 50 %	32 %	29 %
T/O-Beurteilung Beanstandungen ≥ 75 %	9 %	17 %
T/O-Beurteilung Beanstandungen 100 %	1 %	8 %
T/O-Beurteilung Mittelwert Note (exkl. 6)	2.21	2.32
T/O-Beurteilung 90-Perzentile Note (exkl. 6)	2.94	3.73
Keine Zugänglichkeit 0 % der Komponenten	9 %	17 %
Keine Zugänglichkeit ≥ 50 % der Komponenten	9 %	8 %
Keine Zugänglichkeit ≥ 75 % der Komponenten	4 %	0 %
Keine Zugänglichkeit 100 % der Komponenten	0 %	0 %
OF-Beurteilung Beanstandungen 0 %	51 %	46 %

Kriterium	≤0.1 N=76	>0.1 N=24
OF-Beurteilung Beanstandungen ≥ 50 %	16 %	29 %
OF-Beurteilung Beanstandungen ≥ 75 %	8 %	4 %
OF-Beurteilung Beanstandungen 100 %	7 %	4 %
OF-Konzentration FIL1 Mittelwert [KBE/cm ²]	14.4	11.7
OF-Konzentration FIL1 90-Perzentile [KBE/cm ²]	100	53
Nicht mit SWKI VA104-01 konforme Filterstufen	50 %	42 %

Tab. 10: Zusammenstellung der Vergleiche zwischen RLT-Anlagen mit einem Luftkeimverhältnis bis 0.1 bzw. grösser 0.1 bezüglich T/O-Beurteilung, Zugänglichkeit, Oberflächenkeime und Filterstufen.
(grün: Wert mindestens 20 % besser als Vergleichstyp; rot: Wert mindestens 20 % schlechter als Vergleichstyp)

7.3.5. Einfluss Anlagenalter

Kriterium	Ab 1989 N=68	Vor 1989 N=24
T/O-Beurteilung Beanstandungen 0 %	16 %	0 %
T/O-Beurteilung Beanstandungen ≥ 50 %	31 %	46 %
T/O-Beurteilung Beanstandungen ≥ 75 %	7 %	21 %
T/O-Beurteilung Beanstandungen 100 %	1 %	4 %
T/O-Beurteilung Mittelwert Note (exkl. 6)	2.14	2.52
T/O-Beurteilung 90-Perzentile Note (exkl. 6)	2.84	3.5
Keine Zugänglichkeit 0 % der Komponenten	9 %	17 %
Keine Zugänglichkeit ≥ 50 % der Komponenten	12 %	4 %
Keine Zugänglichkeit ≥ 75 % der Komponenten	4 %	0 %
Keine Zugänglichkeit 100 % der Komponenten	0 %	0 %
OF-Beurteilung Beanstandungen 0 %	46 %	42 %
OF-Beurteilung Beanstandungen ≥ 50 %	18 %	25 %
OF-Beurteilung Beanstandungen ≥ 75 %	9 %	4 %
OF-Beurteilung Beanstandungen 100 %	9 %	0 %
OF-Konzentration FIL1 Mittelwert [KBE/cm ²]	15.8	12.7
OF-Konzentration FIL1 90-Perzentile [KBE/cm ²]	100	54
Erfüllung des Schutzziels (Luftkeime)	96 %	92 %
Nicht mit SWKI VA104-01 konforme Filterstufen	53 %	42 %

Tab. 11: Zusammenstellung der Vergleiche zwischen RLT-Anlagen mit Baujahr vor und ab 1989 bezüglich T/O-Beurteilung, Zugänglichkeit, Oberflächenkeime und Filterstufen.
(grün: Wert mindestens 20 % besser als Vergleichstyp; rot: Wert mindestens 20 % schlechter als Vergleichstyp)

- RLT-Anlagen mit Baujahr vor 1989 weisen eine schlechtere T/O-Beurteilung auf.

- In älteren RLT-Anlagen sind weniger Komponenten unzugänglich.
- Die Keimbelastung der untersuchten Oberflächen korreliert wenig mit dem Baujahr.
- Keine Korrelation mit Luftkeimverhältnis nachweisbar.

7.3.6. Einfluss letzte Wartung

Kriterium	Bis	>	Bis	>	Bis	>
	3 Mt.	3 Mt.	6 Mt.	6 Mt.	12 Mt.	12 Mt.
	N=48	N=52	N=69	N=31	N=93	N=7
T/O-Beurteilung Beanstandungen 0 %	8 %	15 %	10 %	16 %	13 %	0 %
T/O-Beurteilung Beanstandungen ≥ 50 %	25 %	37 %	30 %	32 %	30 %	43 %
T/O-Beurteilung Beanstandungen ≥ 75 %	8 %	13 %	12 %	10 %	11 %	1 %
T/O-Beurteilung Beanstandungen 100 %	2 %	4 %	4 %	0 %	3 %	0 %
T/O-Beurteilung Mittelwert Note (exkl. 6)	2.19	2.29	2.29	2.13	2.23	2.36
T/O-Beurteilung 90-Perzentile Note (exkl. 6)	2.83	3.23	3.00	2.88	3.00	-
OF-Beurteilung Beanstandungen 0 %	54 %	46 %	51 %	48 %	51 %	43 %
OF-Beurteilung Beanstandungen ≥ 50 %	10 %	27 %	16 %	26 %	18 %	29 %
OF-Beurteilung Beanstandungen ≥ 75 %	2 %	12 %	6 %	10 %	8 %	0 %
OF-Beurteilung Beanstandungen 100 %	2 %	10 %	4 %	10 %	6 %	0 %
OF-Konzentration FIL1 Mittelwert [KBE/cm ²]	13.2	14.4	15.6	9.8	14.8	2.9
OF-Konzentration FIL1 90-Perzentile [KBE/cm ²]	82	53	91	50	54	-
Erfüllung des Schutzziels (Luftkeime)	98 %	90 %	96 %	90 %	95 %	86 %

Tab. 12: Zusammenstellung der Vergleiche zwischen RLT-Anlagen mit unterschiedlichen Zeitspannen zwischen Hygieneinspektion und letzter Wartung bezüglich T/O-Beurteilung, Zugänglichkeit und Oberflächenkeime.

(grün: Wert mindestens 20 % besser als Vergleichstyp; rot: Wert mindestens 20 % schlechter als Vergleichstyp)

- Der Anteil an RLT-Anlagen, in denen mindestens 50 % der Komponenten beanstandet werden (T/O und Oberflächenkeime), steigt mit zunehmender Zeitspanne seit der letzten Wartung.
- Die Keimkonzentrationen in der ersten Filterkammer sind bei kurzem Wartungsabstand höher.
- Keine Korrelation mit Luftkeimverhältnis nachweisbar.

7.3.7. Einfluss Instandhaltung

Kriterium	Beurteilung Hygiene		Instandhaltung nach Standard		Anwendung SWKI VA104-01	
	gut	befr.	Ja	nein	ja	nein
	N=60	N=40	N=44	N=56	N=17	N=83
T/O-Beurteilung Beanstandungen 0 %	10 %	15 %	14 %	11 %	12 %	12 %
T/O-Beurteilung Beanstandungen ≥ 50 %	27 %	38 %	20 %	39 %	24 %	33 %
T/O-Beurteilung Beanstandungen ≥ 75 %	10 %	13 %	9 %	13 %	12 %	11 %
T/O-Beurteilung Beanstandungen 100 %	2 %	5 %	2 %	4 %	6 %	2 %
T/O-Beurteilung Mittelwert Note (exkl. 6)	2.23	2.31	2.14	2.32	2.17	2.26
T/O-Beurteilung 90-Perzentile Note (exkl. 6)	2.95	3.00	2.83	3.00	3.12	2.96
Keine Zugänglichkeit 0 % der Komponenten	10 %	13 %	18 %	5 %	29 %	7 %
Keine Zugänglichkeit ≥ 50 % der Komponenten	5 %	15 %	5 %	13 %	0 %	11 %
Keine Zugänglichkeit ≥ 75 % der Komponenten	0 %	8 %	0 %	5 %	0 %	4 %
Keine Zugänglichkeit 100 % der Komponenten	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
OF-Beurteilung Beanstandungen 0 %	48 %	48 %	48 %	52 %	41 %	52 %
OF-Beurteilung Beanstandungen ≥ 50 %	20 %	18 %	16 %	21 %	24 %	18 %
OF-Beurteilung Beanstandungen ≥ 75 %	7 %	8 %	7 %	7 %	6 %	7 %
OF-Beurteilung Beanstandungen 100 %	7 %	5 %	5 %	7 %	6 %	6 %
OF-Konzentration FIL1 Mittelwert [KBE/cm ²]	16.3	9.5	11.8	15.6	13.8	13.8
OF-Konzentration FIL1 90-Perzentile [KBE/cm ²]	100	51	51	63	61	54
Erfüllung des Schutzziels (Luftkeime)	95 %	93 %	95 %	93 %	100 %	93 %
Nicht mit SWKI VA104-01 konforme Filterstufen	52 %	43 %	73 %	29 %	76 %	42 %

Tab. 13: Zusammenstellung der Vergleiche zwischen RLT-Anlagen mit unterschiedlicher Instandhaltung bezüglich T/O-Beurteilung, Zugänglichkeit, Oberflächenkeime und Filterstufen.
(grün: Wert mindestens 20 % besser als Vergleichstyp; rot: Wert mindestens 20 % schlechter als Vergleichstyp)

- Die T/O-Beurteilung korreliert leicht mit dem subjektiven Eindruck des Anlagenverantwortlichen und mit der Instandhaltung, wenn sie nach einem anerkannten Standard durchgeführt wird.
- Die Keimbelastung von Oberflächen korreliert nicht mit dem subjektiven Eindruck des Anlagenverantwortlichen und nicht mit der Anwendung der SWKI-Richtlinie VA104-01.
- Die Zugänglichkeit der Komponenten ist besser, wenn die Instandhaltung nach einem anerkannten Standard durchgeführt wird oder die SWKI-Richtlinie VA104-01 angewendet wird.

- Bei Verwendung eines anerkannten Standards oder der SWKI-Richtlinie VA104-01 steigt der Anteil an konformen Filterstufen deutlich an.

7.4. Welches sind die effektivsten Hygienemassnahmen?

Die deutlichsten Korrelationen zeigen sich bezüglich eingesetzter Filterklasse. Werden Filterklassen ab F7 eingesetzt, sinkt der Anteil an Beanstandungen, die Keimkonzentration von Oberflächen und die Komponenten werden besser beurteilt. Der Einsatz von mit SWKI VA104-01 konformen Filterstufen ist ohne grossen Aufwand möglich. Aufgrund der vorliegenden Daten ist deshalb der Einsatz von Filterstufen der Klasse F7 und höher die einfachste und effektivste Hygienemassnahme.

7.5. Besteht Handlungsbedarf?

7.5.1. Zugänglichkeit

Die Zugänglichkeit aller hygienerelevanter Komponenten wird nur in 11 % der untersuchten RLT-Anlagen gewährleistet. Dies stellt insofern ein potentielles Hygieneproblem dar, da die Komponenten nicht regelmässig auf ihren Hygienezustand überprüft werden können. Hier besteht insbesondere bei Bauteilen, in denen mit Feuchte zu rechnen ist, ein Handlungsbedarf. Hierzu gehört unter anderem der Luftkühler, der in 43 % der untersuchten RLT-Anlagen nicht einsehbar ist.

7.5.2. Filterklasse

52 % der Filterstufen entsprechen nicht den Empfehlungen der SWKI-Richtlinie VA104-01. Aufgrund des klaren Zusammenhangs zwischen Keimbelastung der Oberflächen und der Filterklasse einerseits und zwischen T/O-Beurteilung und Filterklasse andererseits besteht hier Handlungsbedarf. Ungenügend geschützte RLT-Anlagen müssen zur Aufrechterhaltung eines guten Hygienezustands anhand dieser Resultate häufiger gereinigt werden, was zusätzliche Kosten verursacht.

7.5.3. Technische Lebensdauer

Das Baujahr hat keinen Einfluss auf die Keimkonzentration der Oberflächen. Einzig die T/O-Beurteilung fällt bei RLT-Anlagen, die die technische Lebensdauer überschritten haben, schlechter aus. Trotzdem spielt die Überschreitung der technischen Lebensdauer bei der Interpretation von Hygieneinspektionen eine wichtige Rolle. Werden Probleme erkannt, sollte bei älteren Anlagen vor einer zum Teil aufwändigen Instandsetzung der Ersatz der RLT-Anlage in Betracht gezogen werden. Hier besteht ein Informationsbedarf.

7.5.4. Richtlinie SWKI VA104-01

Nur 16 Anlagenverantwortliche verwenden bei der Instandhaltung die SWKI-Richtlinie VA104-01. Angesichts der hohen Anzahl von nicht konformen Filterstufen und nicht zugänglichen Komponenten (beides wird durch die Richtlinie klar geregelt) wird ein Handlungsbedarf abgeleitet.

7.5.5. Schutzziel

Als Mindestanforderung an Luftkeime wird gemäss SWKI-Richtlinie VA104-01 gefordert: „Der Gehalt der Zuluft an organischen, anorganischen oder biologischen Inhaltsstoffen darf denjenigen der Vergleichsluft in keiner Kategorie überschreiten“. Anhand der vorliegenden Resultate sollte geprüft werden, ob zur Sicherstellung eines hygienisch einwandfreien Betriebs einer RLT-Anlage restriktivere Anforderungen definiert werden sollten. Beispielsweise wäre eine Mindestanforderung, die sich am Abscheidegrad eines Richtlinien-konformen Filters orientiert, aufgrund der bisherigen Resultate sinnvoll. Hier besteht weiterer Abklärungsbedarf.

7.5.6. Tupferproben

Tupferproben werden von Inspektionsfirmen häufig zur Beurteilung von mit Abklatschen nicht zugänglichen Oberflächen eingesetzt. Die Resultate dieser Untersuchung zeigen, dass der Beurteilungsmassstab bei Tupfern ein anderer sein muss als der von Abklatschen, da sonst mit einer im Vergleich zu Abklatschproben zu hohen Anzahl von ungenügenden Oberflächen gerechnet werden muss. Hier besteht weiterer Abklärungsbedarf.

Rüti, 12. März 2012

Ganz Klima

Roland Ganz

Dieser Bericht wurde nach bestem Wissen und Gewissen erstellt. Er besteht aus 119 Seiten (inkl. Titelseiten) und ist Bestandteil des Gesamtberichts der Hochschule Luzern – Technik & Architektur (Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz). Ohne schriftliche Genehmigung der Ganz Klima GmbH darf der Bericht nur vollständig wiedergegeben werden. Aussagen, die auf Auszügen beruhen, sind unzulässig.

8. Anhang

8.1. Material und Methoden

8.1.1. Abklatschproben

Die Abklatschproben erfolgten mittels Rodac-Platten auf folgende Nährmedien:

- TSA (tryptic soy agar): Gesamtkeimzahl (Schimmelpilze und Bakterien)
- DG 18 (Dichloran-Glyzerin-Agar): Schimmelpilze

Die Kultivierung der Proben erfolgte bei Interlabor Belp AG. Alle Kolonien wurden ausgezählt (Angabe von KBE/Platte) und die Gattungen aufgrund kulturmorphologischer Merkmale bestimmt. Die Berechnung der Gesamtkeimzahl erfolgte durch Addition der Schimmelpilze und Hefen (ausgezählt auf dem Nährmedium DG 18) sowie der Bakterien (auf TSA).

Die Bewertung der Oberflächenproben erfolgte anhand der SWKI-Richtlinie VA104-02 nach untenstehendem Schema.

Bezug	Guter Zustand	Grenzwertiger Zustand	Unzureichender Zustand
Keime pro 1 cm ²	<1	1 – 4	>4
Keime pro Abklatsch	<23	23 – 92	>92

Tab. 14: Klassifizierungsschema der Hygiene zur Beurteilung von Oberflächenproben innerhalb von Lüftungsanlagen

8.1.2. Tupferproben

Mit Abklatschen nicht zugängliche Orte (z.B. Lamellen des Kühlregisters) wurden mittels Trockentupfer beprobt (Beprobungsfläche: 20 cm²). Anschliessend wurden die Tupfer in einem Transportmedium (Amiesmedium) ins Labor (Interlabor Belp AG) geschickt. Zur Analyse wurden die Tupfer seriell verdünnt und auf TSA (tryptic soy agar), DG 18 (Dichloran-Glyzerin-Agar) und MEA (Malz-Extrakt-Agar) ausplattiert und bebrütet. Die Berechnung der Gesamtkeimzahl erfolgte durch Addition der Schimmelpilze und Hefen (ausgezählt auf DG 18 plus ausschliesslich auf MEA keimbare Spezies) sowie der Bakterien (auf TSA).

Die Beurteilung der Tupferproben erfolgte nach folgenden Erfahrungswerten:

Bezug	Unauffällige Werte	Auffällige Werte
Keime pro 1 cm ²	<50	>50
Keime pro Tupfer	<1'000	>1'000

Tab. 15: Klassifizierungsschema der Hygiene zur Beurteilung von Tupferproben innerhalb von Lüftungsanlagen

8.1.3. Wasseranalyse

Die Probenahme erfolgte in sterile Glasgefässe. Die Probe wurde abgekühlt und über Nacht ins Labor (Interlabor Belp AG) geschickt. Im Labor wurde von der Probe eine Verdünnungsreihe hergestellt und diese auf aerobe mesophile Keime sowie Legionellen untersucht.

Für Wasserproben gelten gemäss SWKI-Richtlinie VA104-01 folgende Richtwerte:

Bezug	Gesamtkeimzahl	Legionellen
Keime pro ml	<1'000	<1

Tab. 16: Richtwerte für Befeuchterwasser

8.1.4. Luftkeimmessungen

Die Luftkeimmessungen wurden nach dem Impaktionsverfahren durchgeführt. Dazu wurde der Luftkeimsammler MAS-100 eingesetzt. Das Probenvolumen für die Messung der Aussenluft betrug in der Regel 0.1 m³, für die Messung der Raumluft 0.25 m³. Zur Identifikation wurden verschiedene Nährmedien eingesetzt:

- TSA (tryptic soy agar): Gesamtkeimzahl (Schimmelpilze und Bakterien) und Thermoactinomyceten
- MEA (Malz-Extrakt-Agar): Schimmelpilze
- DG 18 (Dichloran-Glyzerin-Agar): Schimmelpilze

Die Kultivierung der Proben erfolgte bei Interlabor Belp AG. Alle Kolonien wurden ausgezählt (Angabe von KBE/Platte) und die Gattungen aufgrund kulturmorphologischer Merkmale bestimmt. Die Berechnung der Gesamtkeimzahl erfolgte gemäss Richtlinie VDI 4300 Blatt 10 durch Addition der Schimmelpilze und Hefen (ausgezählt auf DG 18 plus ausschliesslich auf MEA keimbare Spezies) sowie der Bakterien (auf TSA).

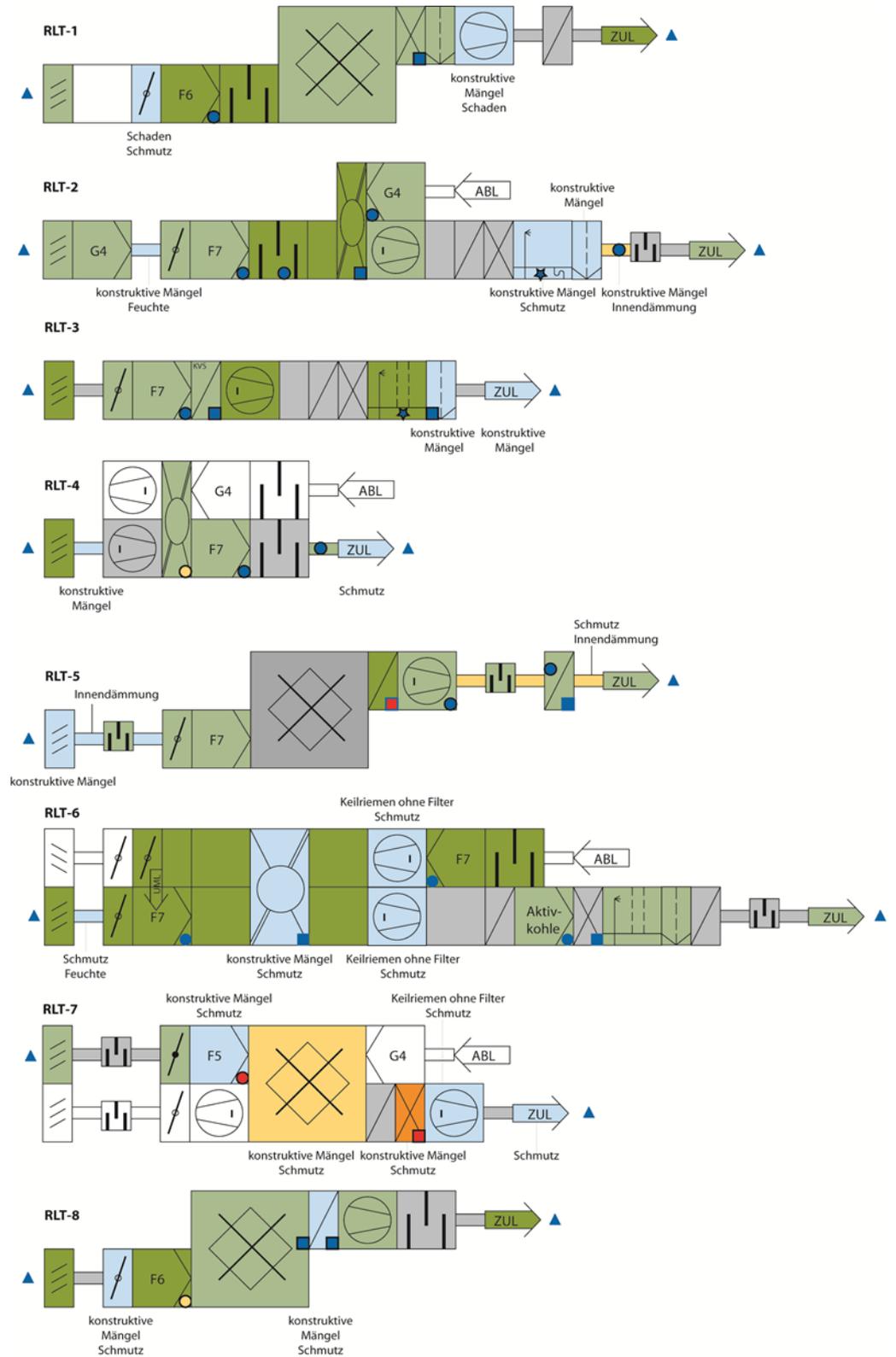
8.2. Referenzen

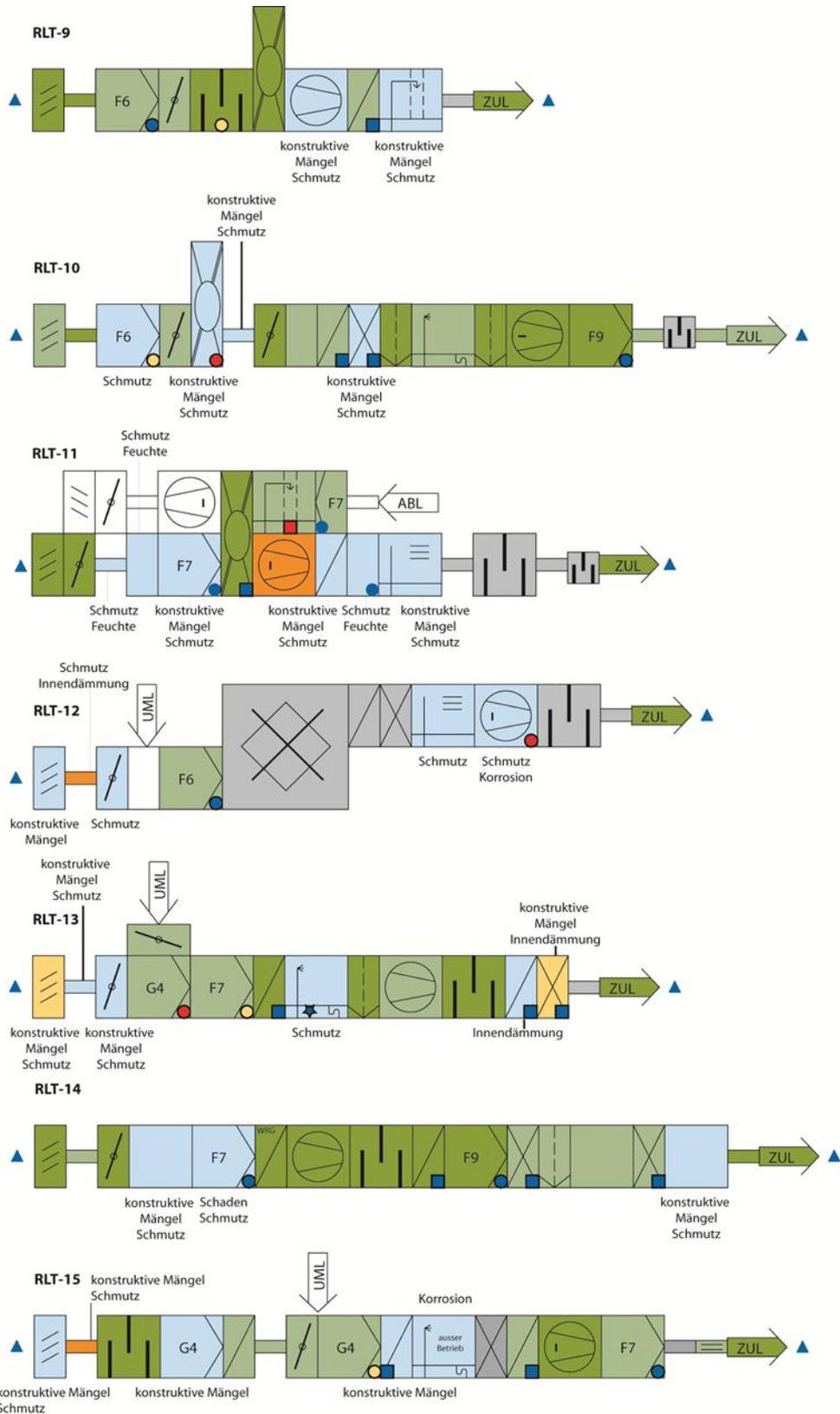
- BASE Building Assessment Survey and Evaluation (BASE) Study ; US- Environmental Protection Agency (EPA) ; <http://www.epa.gov/iaq/base/index.html> (Stand 30.12.2011)
- Basler&Hofmann, 2003 Basler&Hofmann, Gesundheitliche Aspekte der Komfortlüftungen im Wohnbereich, Schlussbericht Phase 2, 2003
- BfS, 2005 Schuler M., Dessemontet P., Joye D.: Die Raumgliederung in der Schweiz; Eidgenössische Volkszählung 2000, Bundesamt für Statistik, Neuenburg, Juli 2005
- Czihak 1992 Czihak et. al.: Biologie; Springer-Lehrbuch; 5. Auflage; 1992
- Flückiger, 1997 Flückiger B., Mikrobielle Untersuchungen von Luftsaug-Erdregistern, ETH Zürich, 1997
- Hanssen, 2004 Hanssen S.O., HVAC – The importance of clean intake section and dry air filter in cold climate, Indoor Air 2004, 14 (Suppl 7)
- LGA Baden-Württemberg 2001 Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement; Abgestimmtes Arbeitsergebnis des Arbeitskreises *Qualitätssicherung – Schimmelpilze in Innenräumen“ am Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg; 2001
- Mendell 2008 Risk factors in heating, ventilating, and air-conditioning systems for occupant symptoms in US office buildings: the US EPA BASE study; Indoor Air; 2008; 4
- ProKlima, 2003 Bischof et. al.: Expositionen und gesundheitliche Beeinträchtigung in Bürogebäuden, Ergebnisse des ProKlima-Projektes; Fraunhofer IRB Verlag; 2003
- Seppänen, 2002 Seppänen O.A., Fisk W.J., Association of ventilation system type with SBS symptoms in office workers, Indoor Air, 2002, 12
- SIA 380/1 Thermische Energie im Hochbau, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2009
- SIA 382/1 Lüftungs- und Klimaanlageanlagen – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2007 (SN 546 382/1)
- SIA MB 2024 SIA-Merkblatt 2024: Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2006
- SN EN 779 Partikel-Luftfilter für die allgemeine Raumlufttechnik – Bestimmung der Filterleistung; Schweizerische Normenvereinigung; 2003
- SUVA, 2012 Grenzwerte am Arbeitsplatz 2012, Suva – Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz, Luzern, www.suva.ch/waswo
- SWKI 2003-5 Hygiene-Anforderungen an Raumlufttechnische Anlagen, Schweizerischer Verein von Wärme- und Klimaingenieuren (SWKI), 2004-01
- SWKI 95-2 Instandhaltung Lüftungstechnischer Anlagen, Schweizerischer Verein von Wärme- und Klimaingenieuren (SWKI), 1995
- SWKI VA104-01 Hygiene-Anforderungen an Raumlufttechnische Anlagen und Geräte, Schweizerischer Verein von Wärme- und Klimaingenieuren (SWKI), 2006-04
- SWKI VA104-02 Hygiene-Anforderungen an Raumlufttechnische Anlagen und Geräte – Messverfahren und Untersuchungen bei Hygienekontrollen und Hygieneinspektionen, Schweizerischer Verein von Wärme- und Klimaingenieuren (SWKI), 2007-07
- VDI 4300 Blatt 10 Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Messstrategien bei der Untersuchung von Schimmelpilzen im Innenraum; Verein Deutscher Ingenieure VDI; Juli 2006
- VDI 6022 Blatt 1 Hygienische Anforderungen an Raumlufttechnische Anlagen Büro- und Versammlungsräume; Berlin: Beuth, Bl.1; 1998
- VDMA 24186-1 Leistungsprogramm für die Wartung von technischen Anlagen und Ausrüstungen in Gebäuden – Teil 1: Lufttechnische Geräte und Anlagen, Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V., 2002-09
- Wargocki, 2004 Wargocki et al.: The performance and subjective responses of call-center operators with new and used supply air filters at two outdoor air supply rates, Indoor Air, 2004, 14 (Suppl. 8)

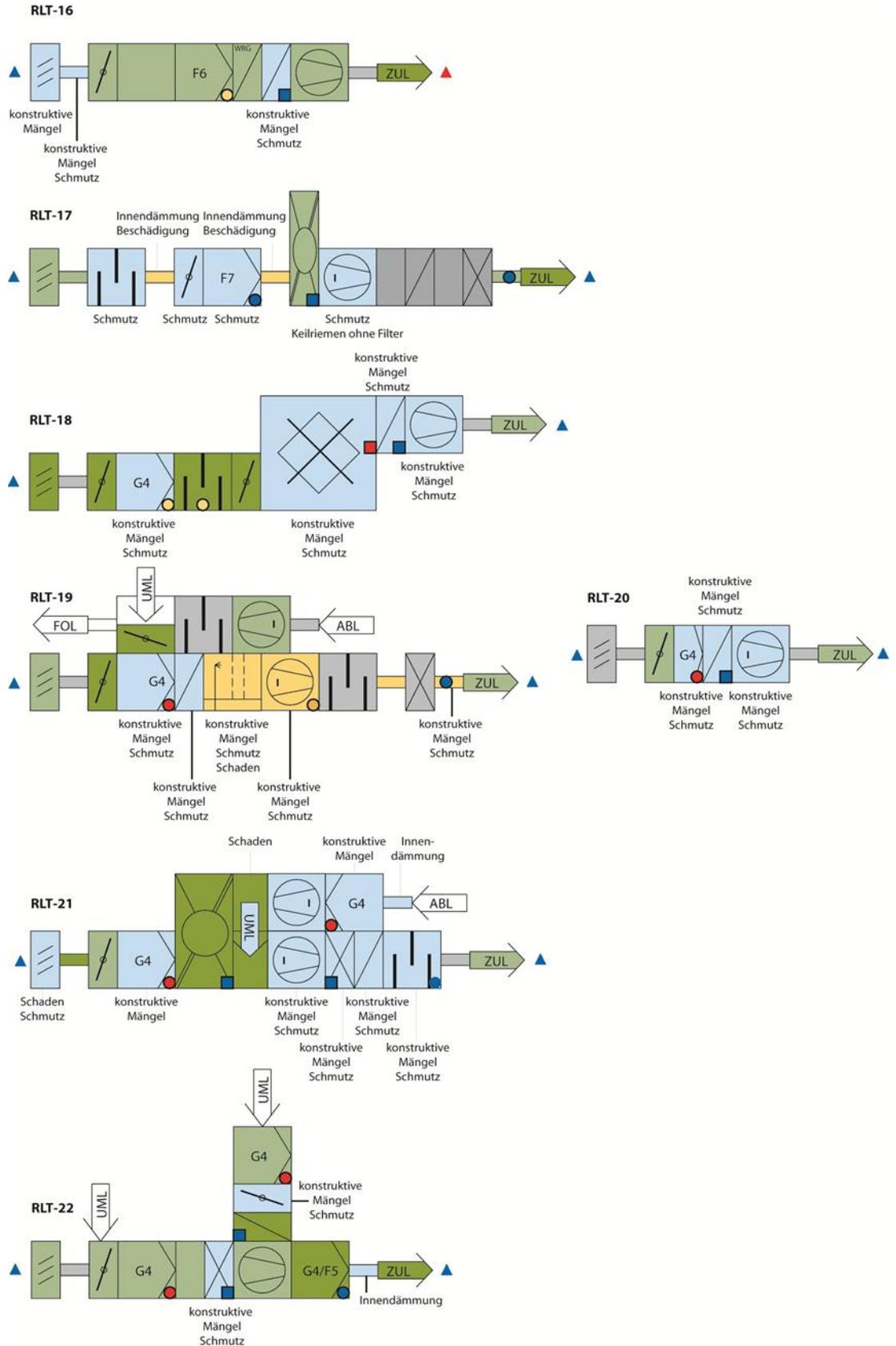
8.3. Glossar

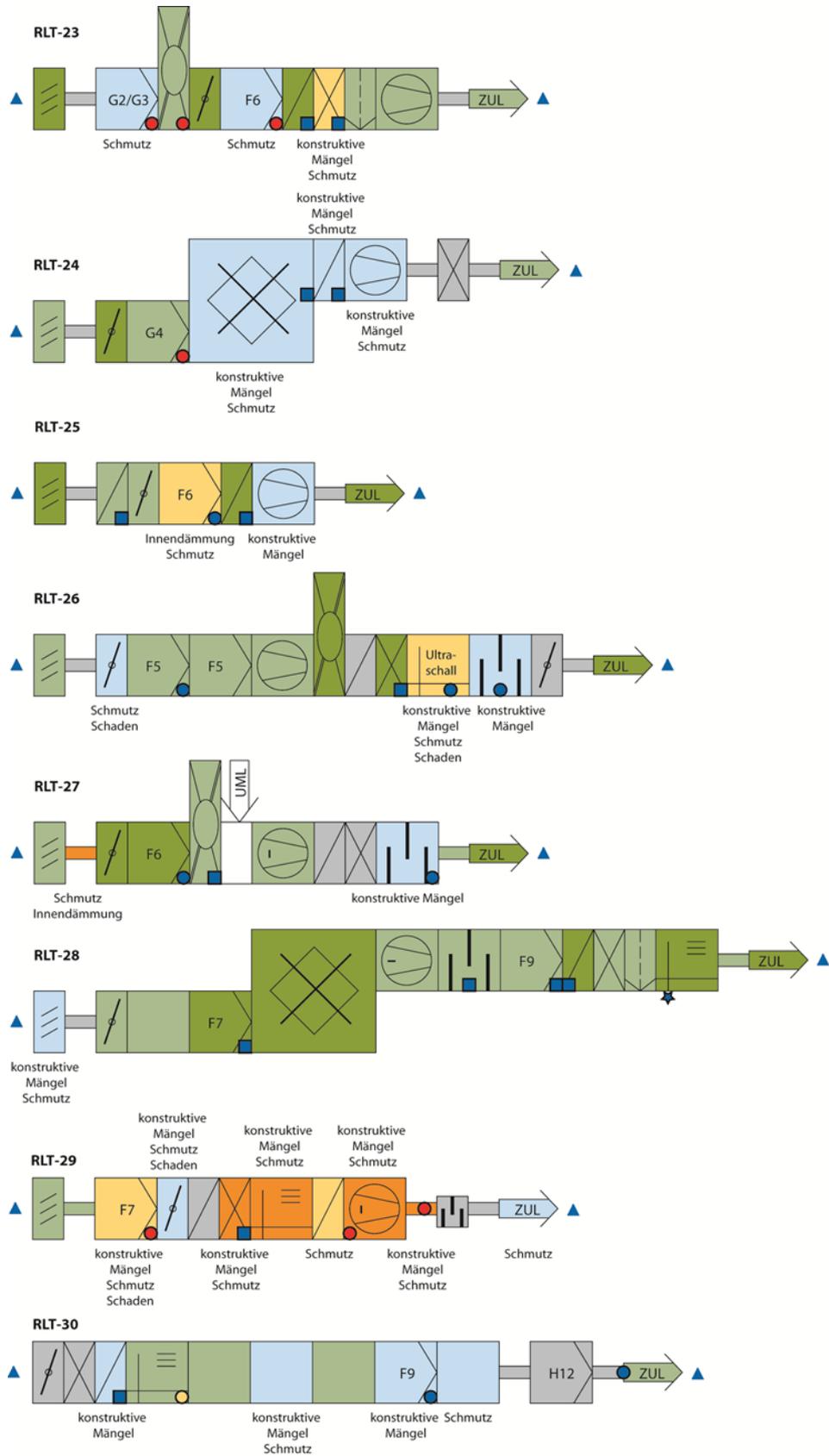
ALD	Komponente einer RLT-Anlage: Aussenluftdurchlass
AUL-Kanal	Komponente einer RLT-Anlage: Aussenluftkanal
BEF	Komponente einer RLT-Anlage: Luftbefeuchter
FIL	Komponente einer RLT-Anlage: Filterstufe
GKZ	Gesamtkeimzahl (Summe der Schimmelpilz-, Hefen- und Bakterienkonzentrationen).
Hygieneinspektion	Feststellung und Beurteilung des Istzustands: Inspizieren, Prüfen, Messen, Beurteilen, Massnahmen empfehlen (gemäss SWKI VA104-01).
Instandhaltung	Übergeordneter Begriff für alle Massnahmen zur Erhaltung des funktionsfähigen Zustands. Beinhaltet bei RLT-Anlagen Instandsetzung, Wartung und Hygieneinspektionen.
Instandsetzung	Wiederherstellung des Sollzustands: Ausbessern, Austauschen (gemäss SWKI VA104-01).
JAL	Komponente einer RLT-Anlage: Jalousieklappe
KBE	Koloniebildende Einheit (1 Keim, z.B. Schimmelpilzspore, wächst auf einem differenzierten Nährmedium und bildet nach ein paar Tagen eine sichtbare Kolonie, die ausgezählt werden kann).
LE	Komponente einer RLT-Anlage: Lufterhitzer
LET	Komponente einer RLT-Anlage: Leerteil
LK	Komponente einer RLT-Anlage: Luftkühler
NLE	Komponente einer RLT-Anlage: Nachwärmer
NLK	Komponente einer RLT-Anlage: Nachkühler
OF	Abkürzung für Oberfläche
Schutzziel	Mindestanforderung an Luftkeime gemäss SWKI-Richtlinie VA104-01 „Der Gehalt der Zuluft an organischen, anorganischen oder biologischen Inhaltsstoffen darf denjenigen der Vergleichsluft in keiner Kategorie überschreiten.“
SD	Komponente einer RLT-Anlage: Schalldämpfer
SECO	Staatssekretariat für Wirtschaft
SUVA	Schweizerische Unfallversicherungsanstalt
TA	Komponente einer RLT-Anlage: Tropfenabscheider
T/O	Technisch-optische Beurteilung der RLT-Anlage bzw. Komponenten im Rahmen der Hygieneinspektionen gemäss SKWI-Richtlinie VA104-01.
Vergleichsluft	Aussenluft oder Raumluft bei Umluftanlagen, deren Inhaltsstoffe (Keime, Staub, Schadstoffe etc.) als Referenzwerte zur Beurteilung der Zuluftkonzentrationen dienen.
Wartung	Bewahrung des Sollzustands: Prüfen, Nachstellen, Auswechseln, Ergänzen, Schmieren, Konservieren, Reinigen (gemäss SWKI VA104-01).
WRG	Komponente einer RLT-Anlage: Wärmerückgewinnung
ZLD	Komponente einer RLT-Anlage: Zuluftdurchlass
ZUL-Venti	Komponente einer RLT-Anlage: Zuluftventilator

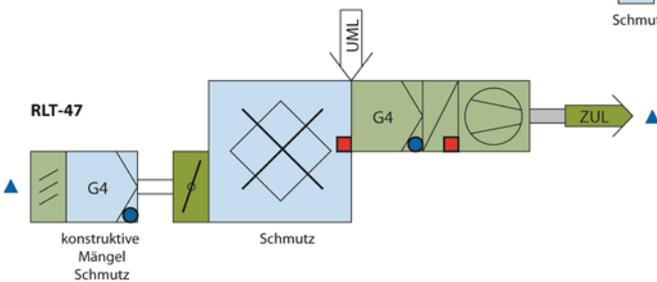
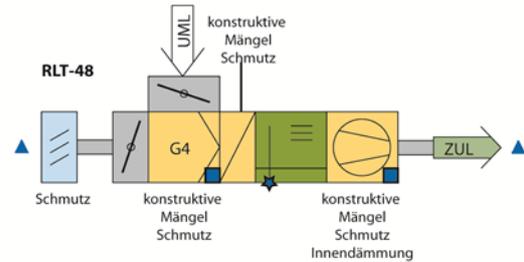
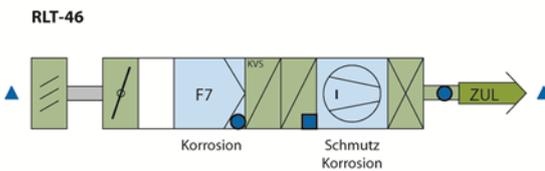
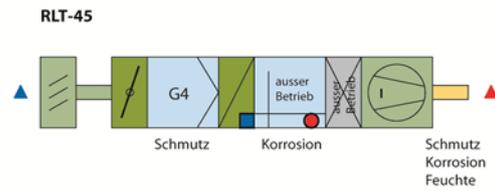
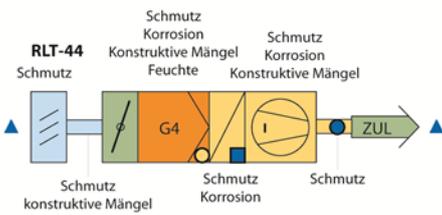
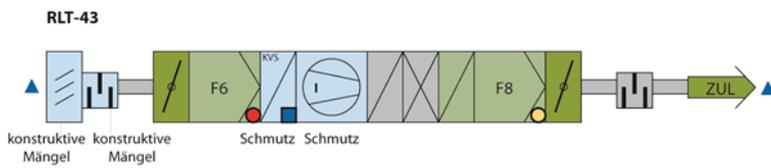
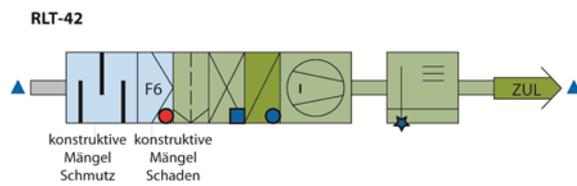
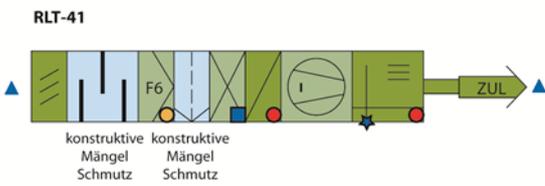
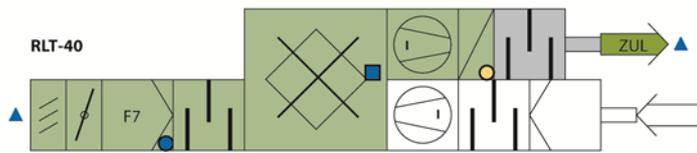
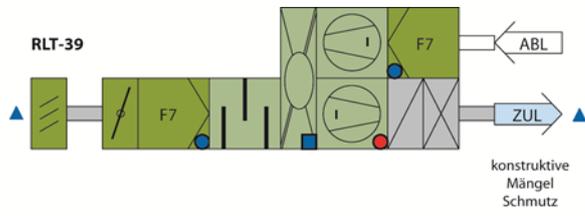
8.4. Schemata der untersuchten RLT-Anlagen

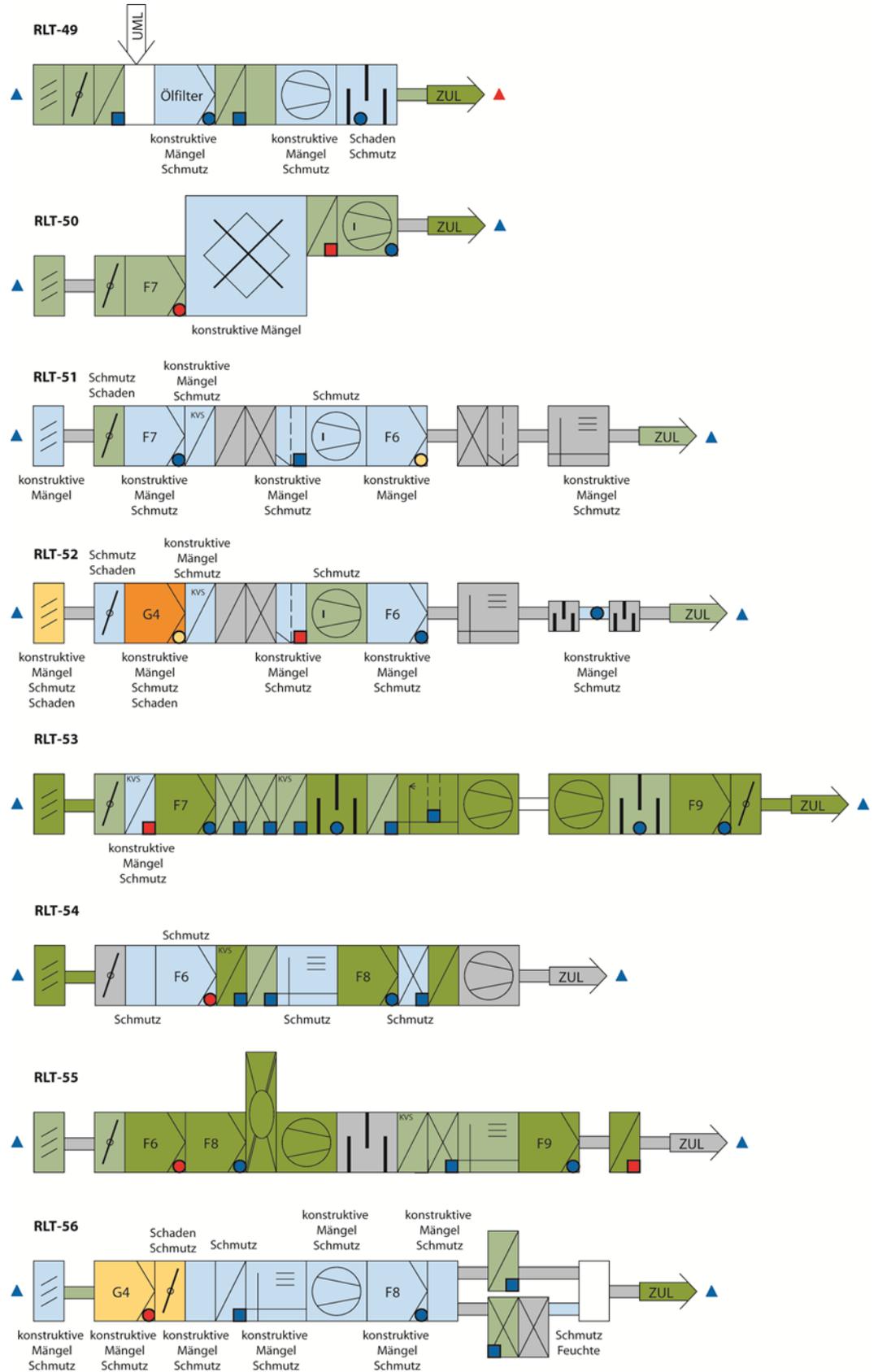


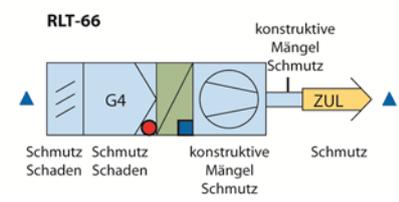
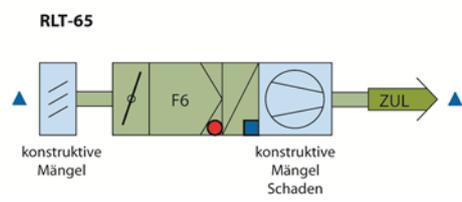
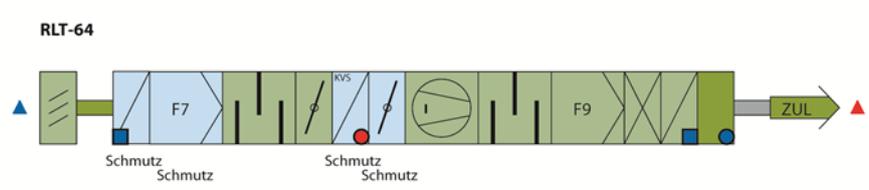
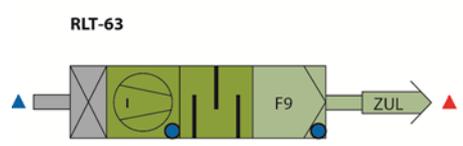
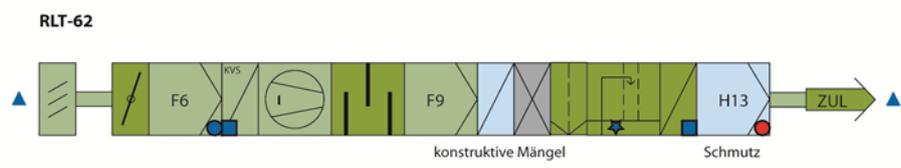
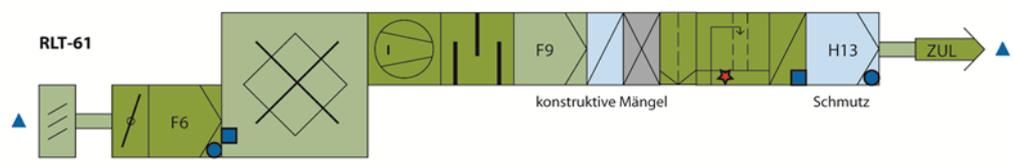
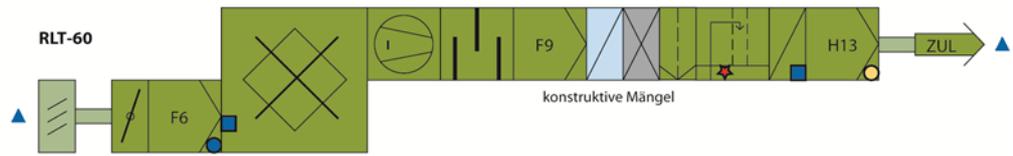
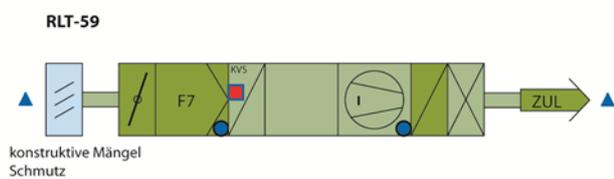
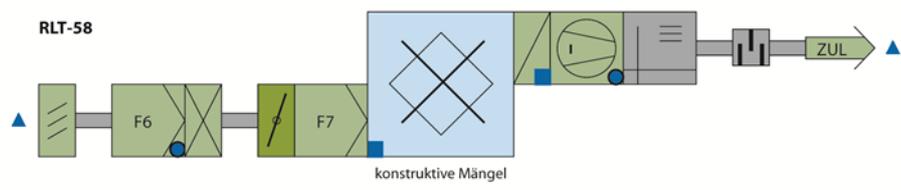
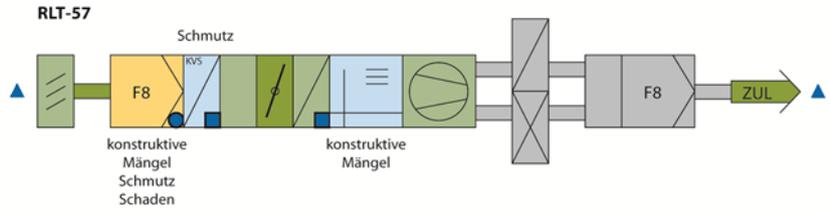


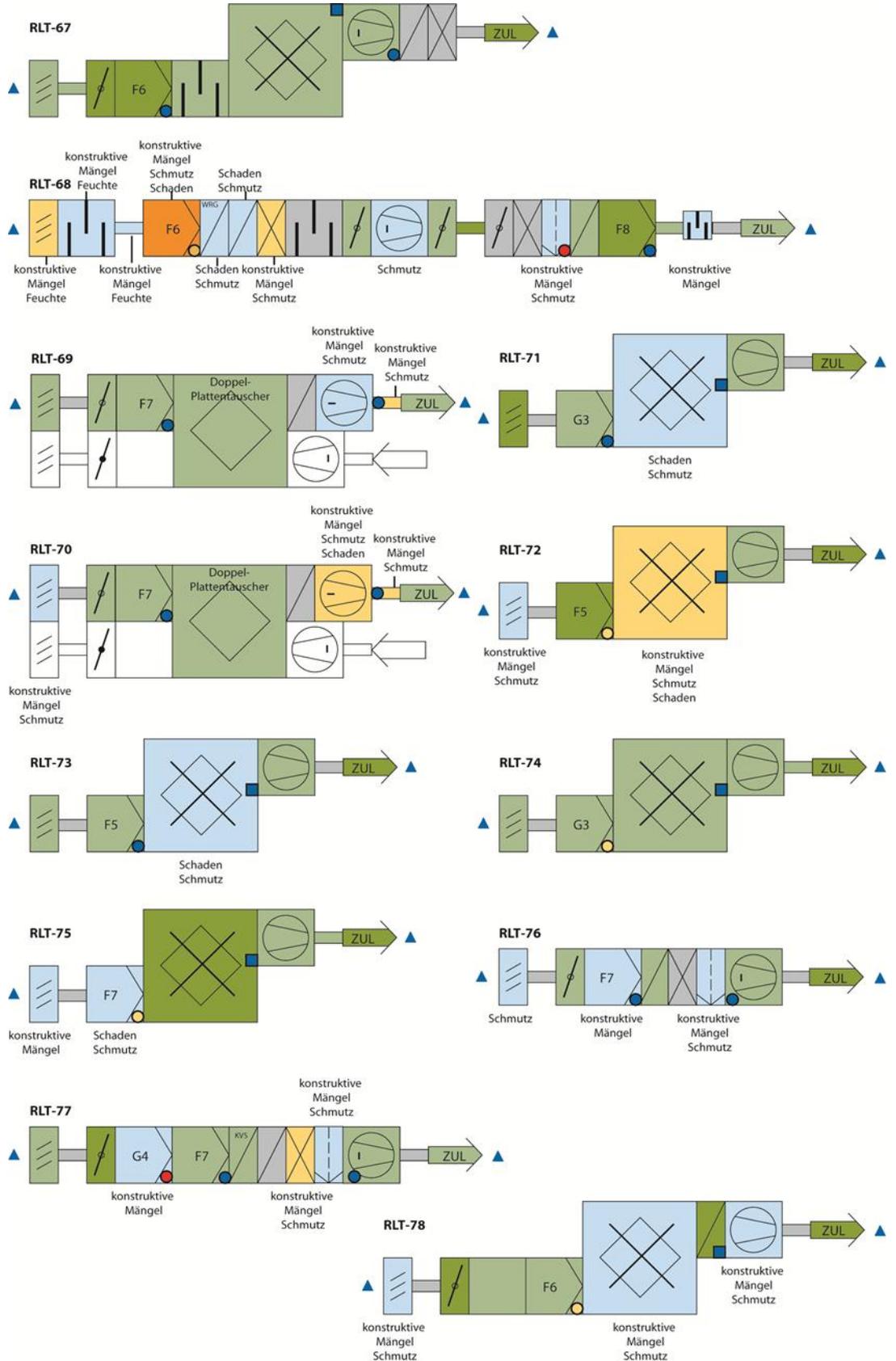


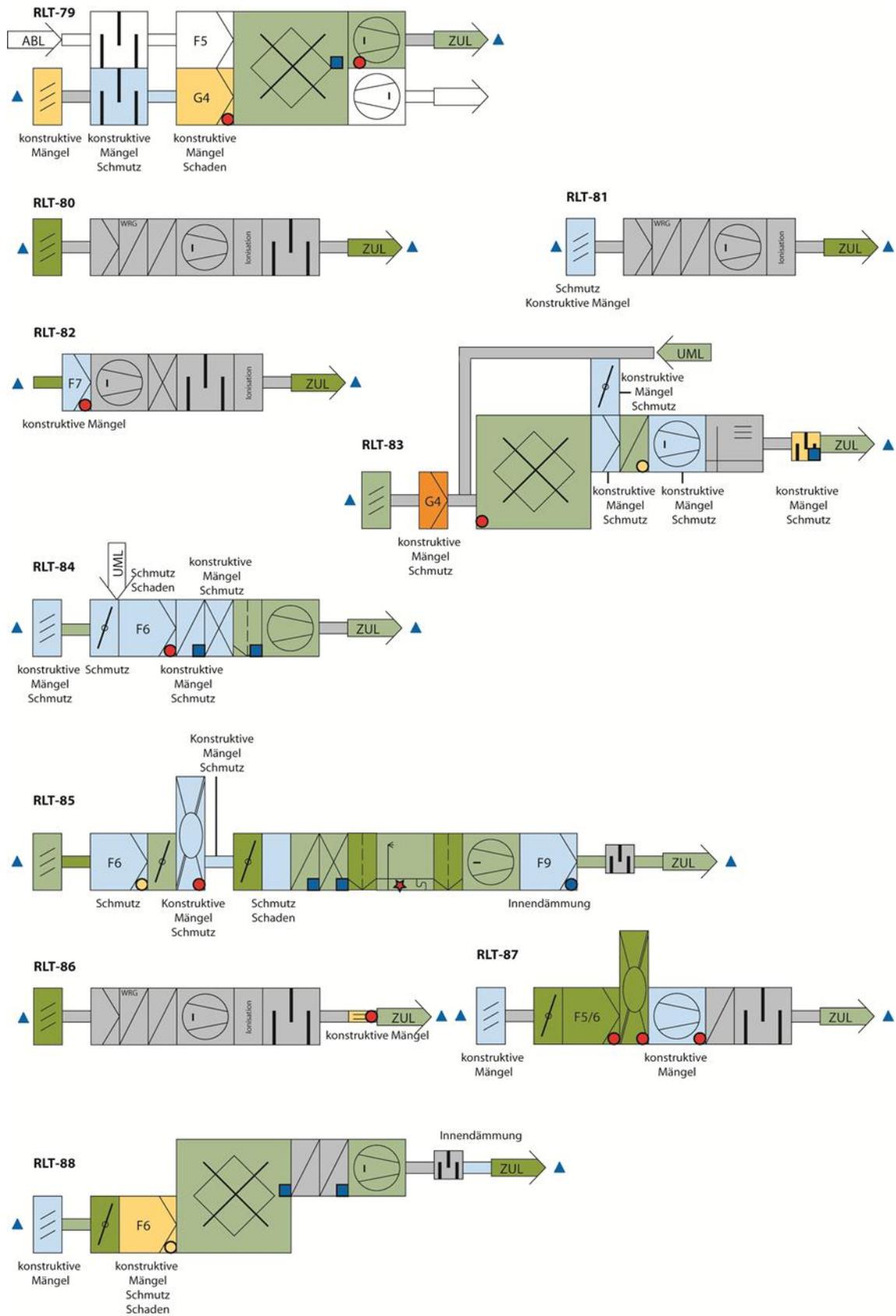


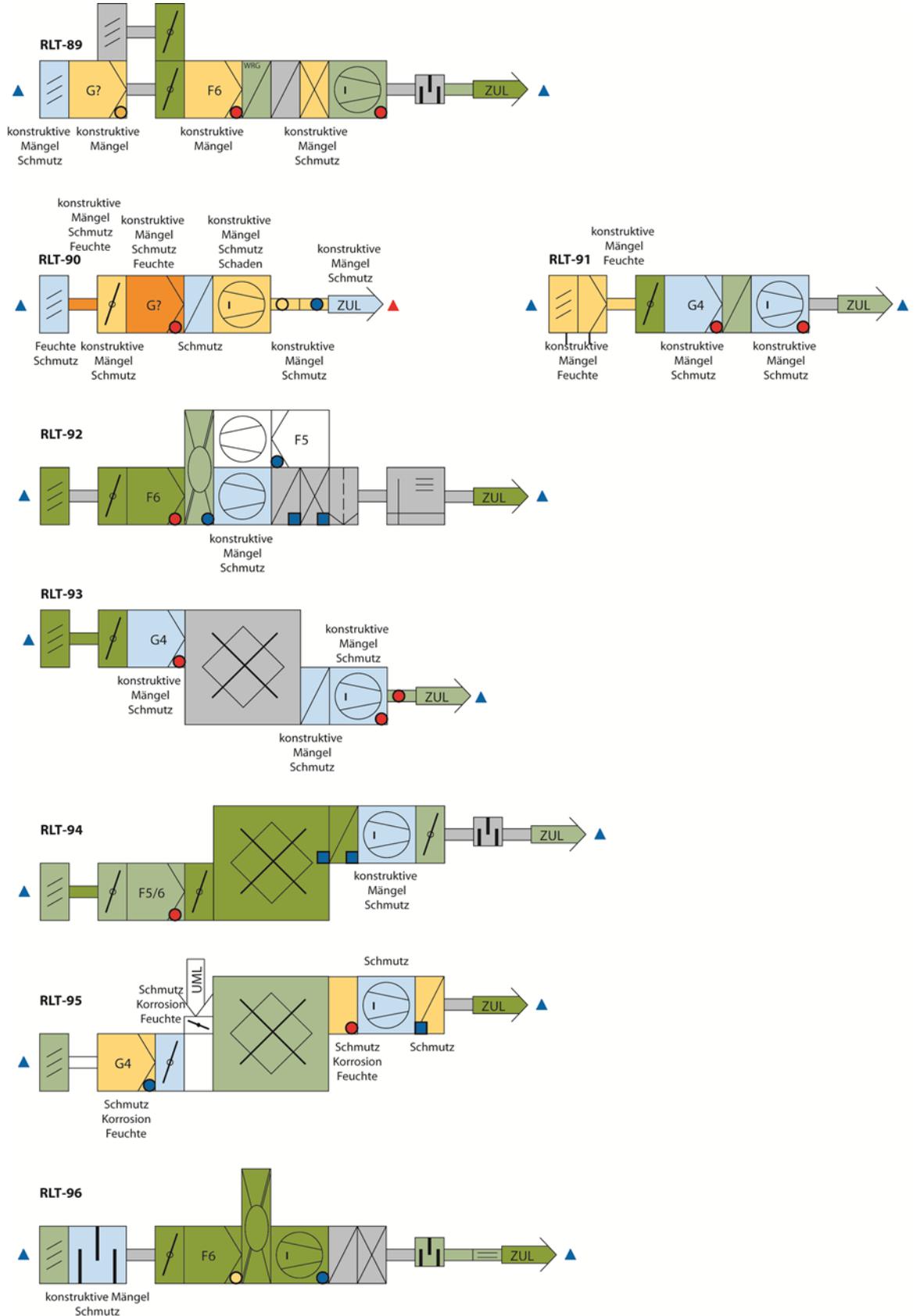


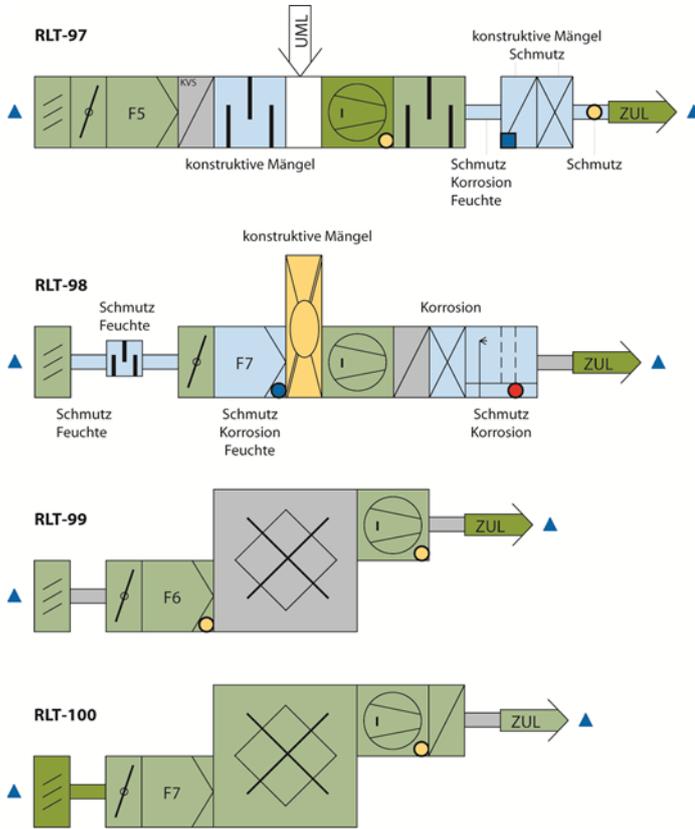












Hygieneuntersuchung:			
● Abklatsch	■ Tupfer	▲ Luftkeime	★ Wasser
Beurteilung der Keimuntersuchungen:		Benotung der Komponenten:	
■ gut	■ grenzwertig	■ 1	■ 2
	■ unzureichend	■ 3	■ 4
		■ 5	■ 6
Symbole:			
Aussenluftdurchlass	WRG (Kreislaufverbund)	Dampfbefeuchter	Zuluftdurchlass
Jalousieklappe	Rotations-WRG	Hybridbefeuchter	Abluftdurchlass
Filter	Kreuzstrom-WRG	Umlaufbefeuchter	Umluftdurchlass
Lufterhitzer	Schalldämpfer	Sprühbefeuchter	
Luftkühler	Radialventilator	Tropfenabscheider	
Leerteil	Axialventilator	Doppelboden	
		Kanal	

8.5. Fragebogen

Lucerne University of
Applied Sciences and Arts

**HOCHSCHULE
LUZERN**

Technik & Architektur
Zentrum für Integrale Gebäudetechnik

Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz Fragebogen für Anlagenbetreiber

00	Allgemeines	
0.1	Datum der Befragung Ort der Befragung
0.2	Name des/der Befragten Vorname des/der Befragten Firma
0.3	Name des/der Fragenden Vorname des/der Fragenden Firma
01	Motivation	
1.1	Ist Ihnen der Zweck/die Nutzung der Anlage bekannt?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein Wenn ja, welcher?
1.2	Wie beurteilen Sie den hygienischen Zustand Ihrer Anlage?	1 2 3 4 5 sehr gut <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> Weiss nicht
1.3	Worauf stützen Sie Ihre Beurteilung?	<input type="checkbox"/> Inspektionen/Messungen <input type="checkbox"/> optische Kontrollen <input type="checkbox"/> Annahmen/Erfahrung <input type="checkbox"/> Rückmeldungen der Nutzer/innen <input type="checkbox"/>
1.4	Was ist Ihre Motivation, bei diesem Projekt mitzuwirken? (nur die wichtigsten 3 Punkte ankreuzen!)	<input type="checkbox"/> Zustand der Anlage kennenlernen und allfälligen Handlungsbedarf erkennen <input type="checkbox"/> Hoffnung auf mögl. günstige Hygieneinspektion (monetär) <input type="checkbox"/> Hoffnung auf neutrale Untersuchung (unabhängig) <input type="checkbox"/> Hoffnung auf kompetente Untersuchung (Qualität) <input type="checkbox"/> Vergleich der eigenen mit anderen Anlagen (Image, Prestige) <input type="checkbox"/> Möglichkeit die Vorschriften/Empfehlungen einzuhalten (rechtlich) <input type="checkbox"/>
1.5	Wie hoch ist für Sie der Stellenwert der Anlagenhygiene in Bezug auf die... - Gesundheit der Nutzer/Innen - Möglichkeit zur Energieeinsparung - Möglichkeit zur Kosteneinsparung - Vermeidung von Betriebsausfällen der Anlage/n	1 2 3 4 5 hoch <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> niedrig hoch <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> niedrig hoch <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> niedrig hoch <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> niedrig

8.6. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Ablauf der Messkampagne.....	13
Abb. 2: Grossregionen in der Schweiz (Quelle: BfS, 2005)	14
Abb. 3: Regionale Aufteilung der inspizierten und ausgewählten RLT-Anlagen (gemäss Grossregionen siehe Vorgehen Abb. 2).....	19
Abb. 4: Gebäudekategorien der inspizierten und ausgewählten RLT-Anlagen (gemäss SIA 380/1).....	19
Abb. 5: Baujahr der inspizierten und ausgewählten RLT-Anlagen.....	20
Abb. 6: Untersuchte Anlagen typisiert gemäss Komponenten.....	21
Abb. 7: Zuluftvolumenstrom und Umluftanteil der inspizierten und ausgewählten RLT-Anlagen.....	21
Abb. 8: WRG- und Befeuchter-Typen der inspizierten und ausgewählten RLT-Anlagen	22
Abb. 9: Letzte Filterstufe (Zuluft) der inspizierten und ausgewählten RLT-Anlagen.....	22
Abb. 10: Technisch-optische (T/O) Beurteilung der einzelnen Komponenten.....	23
Abb. 11: Beurteilung der Oberflächenkeimuntersuchungen (Beurteilungsschema siehe Anhang) (Andere: weitere Oberflächenkeimuntersuchungen in Zuluftfilter 3, Nachkühler, an Tropfenabscheider etc.)	24
Abb. 12: Beurteilung der Wasseranalysen (Beurteilungsschema siehe Anhang) (blau: unterhalb Richtwert; rot: oberhalb Richtwert)	25
Abb. 13: Beurteilung Schutzziel (Anforderung: ZUL gleich/besser als Vergleichsluft).....	25
Abb. 14: Beurteilung des Hygienezustands durch Anlagenbetreiber (1=sehr gut; 5=schlecht) und die Grundlage, worauf sich die Beurteilung stützt (Anzahl Nennungen8)	26
Abb. 15: Angabe von Gründen zur Motivation am Projekt mitzuwirken (Anzahl Nennungen)	27
Abb. 16: Beurteilung des Stellenwerts der Anlagenhygiene bezüglich der Vermeidung von Betriebsausfällen, der Möglichkeit zur Kosteneinsparung, der Möglichkeit der Energieeinsparung und der Gesundheit der Nutzer/innen (1=hoch; 5=niedrig).	27
Abb. 17: Ja/nein-Antworten bezüglich der Instandhaltung.....	28
Abb. 18: Angaben zur Instandhaltung: nach anerkanntem Standard (links), welcher (Mitte), sind die Instandsetzungsdokumente vorhanden (rechts) k.A.: keine Angaben; bei der Frage Standards zur Instandhaltung sind Mehrfachnennungen möglich	28
Abb. 19: Verhältnis Zuluft- zu Aussenluftkonzentration bezüglich Bakterien und Schimmelpilzen in Abhängigkeit von der jeweiligen Aussenluftkonzentration dargestellt mit Anforderung (rote Linie) gemäss SWKI VA104-01 (Zuluft gleich/besser Aussenluft)	29
Abb. 20: Anzahl Beanstandungen bezüglich Oberflächenkeimen (Abklatsche und Tupferproben) zur Gesamtzahl der Messorte der entsprechenden RLT-Anlage.....	30
Abb. 21: Anzahl technisch-optische Beanstandungen (ohne unzugängliche Komponenten) zur Gesamtzahl der hygienerlevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage.	31
Abb. 22: Anzahl unzugängliche Komponenten zur Gesamtzahl der hygienerlevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage.....	31
Abb. 23: Häufigkeitsverteilung der nachgewiesenen Oberflächenkeime (GKZ in KBE/cm ²) von Abklatschproben in den jeweiligen Bauteilen.	33
Abb. 24: Häufigkeitsverteilung der nachgewiesenen Oberflächenkeime (GKZ) von Tupferproben in den jeweiligen Bauteilen.....	34
Abb. 25: Interpretationshilfe für statistische Auswertungen (Boxplots)	34
Abb. 26: Statistische Auswertung der T/O-Komponentenbenotung (oben ohne unzugängliche, unten mit unzugänglichen Komponenten).	35

Abb. 27: Zusammenstellung der Gründe für eine Abwertung bezogen auf alle hygiene relevanten Komponenten mit einer T/O-Note von ≥ 3 .	37
Abb. 28: Beurteilung der Zugänglichkeit bezogen auf alle hygiene relevanten Komponenten	37
Abb. 29: Zusammenstellung der Gründe für Abwertung der T/O-Note (Komponenten mit Note ≥ 3)	38
Abb. 30: Zusammenstellung der Zugänglichkeit	39
Abb. 31: Befeuchtertypen der untersuchten RLT-Anlagen dieser Untersuchung (links), der BASE-Studie (Mitte) und der ProKlimA-Studie (rechts).	42
Abb. 32: Vergleich der T/O-Beurteilungen von Aussenluftdurchlass (ALD); Zuluftfiltern (FIL) und Schalldämpfern der BASE-Studie (linke Kreisdiagramme) mit der vorliegenden Untersuchung (rechte Kreisdiagramme).	44
Abb. 33: Vergleich der Beurteilungen von Heiz-Kühlregistern, Befeuchtern und Zuluftkanälen der BASE-Studie (linke Kreisdiagramme) mit der vorliegenden Untersuchung (rechte Kreisdiagramme).	45
Abb. 34: Vergleich der technisch-optischen Beurteilung der untersuchten RLT-Anlagen der ProKlimA-Studie mit der vorliegenden Untersuchung.	46
Abb. 35: Anteil Anlagen mit unzugänglichen hygiene relevanten Komponenten vor und nach Erscheinen der Deutschen (1998) und Schweizer Hygienerichtlinie (2004)	47
Abb. 36: Statistische Auswertung der T/O-Gesamtnote hygiene relevanter Komponenten in Abhängigkeit vom Gebäudetyp (Wohnbauten/Nichtwohnbauten).	48
Abb. 37: Anzahl technisch-optische Beanstandungen (ohne unzugängliche Komponenten) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygiene relevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und der Gebäudekategorie.	48
Abb. 38: Anzahl unzugängliche Komponenten in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygiene relevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und der Gebäudekategorie.	49
Abb. 39: Statistische Auswertung der Oberflächenkeime (GKZ) in Abhängigkeit vom Gebäudetyp (Wohnbauten/Nichtwohnbauten).	49
Abb. 40: Beurteilung ¹³ der Oberflächenkeime der ersten Filterstufe in Abhängigkeit vom Gebäudetyp (Wohnbauten/Nichtwohnbauten).	50
Abb. 41: Anzahl Beanstandungen bezüglich Oberflächenkeimen (Abklatsche und Tupferproben) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der Messorte der entsprechenden RLT-Anlage und zum Gebäudetyp.	50
Abb. 42: Häufigkeitsverteilung des Verhältnisses Zuluft-/ Aussenluftkonzentration bezüglich Gesamtkeimzahl (GKZ), Schimmelpilzsporen und Bakterien bei Wohngebäuden (n=14) und Nichtwohngebäuden (n=86) mit Anforderung SWKI-Richtlinie VA104-01 (rote Linie)	51
Abb. 43: Klassenverteilung der letzten Filterstufe bei Nichtwohn- und Wohngebäuden	52
Abb. 44: Beurteilung des Hygienezustands durch Anlagenverantwortliche von Wohn- und Nichtwohngebäuden (1: gut bis 5:schlecht)	52
Abb. 45: Angaben zur Instandhaltung durch Anlagenverantwortliche von Wohn- und Nichtwohngebäuden	53
Abb. 46: Anzahl technisch-optische Beanstandungen (ohne unzugängliche Komponenten) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygiene relevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und der Frage, ob die Filterklasse Richtlinienkonform ist.	54
Abb. 47: Anzahl unzugängliche Komponenten in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygiene relevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und der Frage, ob die Filterklasse Richtlinienkonform ist.	55
Abb. 48: Statistische Auswertung der Oberflächenkeime (GKZ) in Abhängigkeit der Frage, ob die Filterklasse grundsätzlich richtlinienkonform ist.	55
Abb. 49: Statistische Auswertung der Oberflächenkeime (GKZ, Bakterien und Schimmelpilze) in Abhängigkeit der Filterklasse.	56
Abb. 50: Beurteilung der Oberflächenkeime in der 1. Filterkammer in Abhängigkeit der Filterklasse.	57
Abb. 51: Beurteilung der Oberflächenkeime in der Zuluftventilator-kammer in Abhängigkeit der Filterklasse ⁵⁷	

Abb. 52: Anzahl Beanstandungen bezüglich Oberflächenkeimen (Abklatsche und Tupferproben) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der Messorte der entsprechenden RLT-Anlage und der Frage, ob die Filterklasse Richtlinienkonform ist.....	58
Abb. 53: Häufigkeitsverteilung des Verhältnisses Zuluft-/Aussenluftkonzentration bezüglich Gesamtkeimzahl (GKZ), Schimmelpilzsporen und Bakterien bei mit SWKI VA104-01 konformen und nicht konformen Filterstufen mit Anforderung SWKI-Richtlinie VA104-01 (rote Linie).....	59
Abb. 54: Gemessene Wirkungsgrade von gebrauchten Filtern	60
Abb. 55: Anzahl technisch-optische Beanstandungen (ohne unzugängliche Komponenten) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygiene relevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und zum Abscheidegrad.	61
Abb. 56: Anzahl Beanstandungen bezüglich Oberflächenkeimen (Abklatsche und Tupferproben) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der Messorte der entsprechenden RLT-Anlage und zum Abscheidegrad.....	61
Abb. 57: Zuluft-/Aussenluftverhältnis der Schimmelpilzkonzentration in Abhängigkeit vom Abscheidegrad.	62
Abb. 58: Zuluft-/Aussenluftverhältnis der Bakterienkonzentration in Abhängigkeit vom Abscheidegrad	63
Abb. 59: Anzahl technisch-optische Beanstandungen (ohne unzugängliche Komponenten) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygiene relevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und des Luftkeimverhältnisses.	65
Abb. 60: Anzahl unzugängliche Komponenten in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygiene relevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und des Luftkeimverhältnisses.....	65
Abb. 61: Anzahl Beanstandungen bezüglich Oberflächenkeimen (Abklatsche und Tupferproben) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der Messorte der entsprechenden RLT-Anlage und des Luftkeimverhältnisses	66
Abb. 62: Statistische Auswertung der T/O-Gesamtnote hygiene relevanter Komponenten in Abhängigkeit vom Anlagenalter (bis 1989/ab1989).	67
Abb. 63: Anzahl technisch-optische Beanstandungen (ohne unzugängliche Komponenten) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygiene relevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und des Anlagenalters.	67
Abb. 64: Technisch-optische Beurteilung aller untersuchter RLT-Anlagen in Abhängigkeit des Baujahrs....	68
Abb. 65: Anzahl unzugängliche Komponenten in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygiene relevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und des Anlagenalters.	68
Abb. 66: Statistische Auswertung der Oberflächenkeime (GKZ) in Abhängigkeit vom Gebäudetyp (Wohnbauten/Nichtwohnbauten).	69
Abb. 67: Beurteilung ¹⁷ der Oberflächenkeime in Abhängigkeit des Anlagenalters.	69
Abb. 68: Anzahl Beanstandungen bezüglich Oberflächenkeimen (Abklatsche und Tupferproben) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der Messorte der entsprechenden RLT-Anlage und zum Anlagenalter.	70
Abb. 69: Verhältnis Zuluft-/Aussenluftkonzentration bezüglich Gesamtkeimzahl (GKZ), Schimmelpilzsporen und Bakterien in Abhängigkeit vom Anlagenalter mit Anforderung SWKI-Richtlinie VA104-01 (rote Linie) ..	71
Abb. 70: Anzahl technisch-optische Beanstandungen (ohne unzugängliche Komponenten) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygiene relevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und der letzten Wartung.	72
Abb. 71: Anzahl Beanstandungen bezüglich Oberflächenkeimen (Abklatsche und Tupferproben) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der Messorte der entsprechenden RLT-Anlage und der letzten Wartung.	73
Abb. 72: Verhältnis Zuluft-/Aussenluftkonzentration bezüglich Gesamtkeimzahl (GKZ), Schimmelpilzsporen und Bakterien in Abhängigkeit der letzten Wartung mit Anforderung SWKI-Richtlinie VA104-01 (rote Linie)74	
Abb. 73: Anzahl technisch-optische Beanstandungen (ohne unzugängliche Komponenten) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygiene relevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und der persönlichen Beurteilung des Hygienezustands durch den Anlagenbetreiber.	75
Abb. 74: Anzahl technisch-optische Beanstandungen (ohne unzugängliche Komponenten) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygiene relevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und der Anwendung eines anerkannten Standards bei der Instandhaltung.	75

Abb. 75: Anzahl technisch-optische Beanstandungen (ohne unzugängliche Komponenten) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygiene relevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und der Anwendung der SWKI-Richtlinie VA104-01 bei der Instandhaltung.....	76
Abb. 76: Anzahl unzugängliche Komponenten in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygiene relevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und der persönlichen Beurteilung des Hygienezustands durch den Anlagenbetreiber.....	76
Abb. 77: Anzahl unzugängliche Komponenten in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygiene relevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und der Anwendung eines anerkannten Standards bei der Instandhaltung.....	77
Abb. 78: Anzahl unzugängliche Komponenten in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der hygiene relevanten Komponenten der entsprechenden RLT-Anlage und der Anwendung der SWKI-Richtlinie VA104-01 bei der Instandhaltung.....	77
Abb. 79: Anzahl Beanstandungen bezüglich Oberflächenkeimen (Abklatsche und Tupferproben) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der Messorte der entsprechenden RLT-Anlage und der persönlichen Beurteilung des Hygienezustands durch den Anlagenbetreiber.....	78
Abb. 80: Anzahl Beanstandungen bezüglich Oberflächenkeimen (Abklatsche und Tupferproben) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der Messorte der entsprechenden RLT-Anlage und der Anwendung eines anerkannten Standards bei der Instandhaltung.....	78
Abb. 81: Anzahl Beanstandungen bezüglich Oberflächenkeimen (Abklatsche und Tupferproben) in Abhängigkeit zur Gesamtzahl der Messorte der entsprechenden RLT-Anlage und der Anwendung der SWKI-Richtlinie VA104-01 bei der Instandhaltung.....	79
Abb. 82: Über-/Unterschreitung der technischen Lebensdauer (Hauptkomponenten gemäss SIA 382/1) der inspizierten und ausgewählten RLT-Anlagen.....	80
Abb. 83: Verteilung der WRG-Typen in Abhängigkeit vom Baujahr der Anlage.....	81
Abb. 84: Verteilung der WRG-Typen in Abhängigkeit vom Baujahr der Anlage und vom Gebäudetyp (Nichtwohngebäude/Wohngebäude).....	81
Abb. 85: Gebäudekategorien in Abhängigkeit vom Baujahr der Anlage (ohne reine Umluftanlagen).....	82
Abb. 86: Gebäudekategorien von Anlagen ohne Wärmerückgewinnung in Abhängigkeit vom Baujahr (ohne reine Umluftanlagen).....	82
Abb. 87: Erfüllte/Nicht erfüllte Anforderung gemäss SWKI VA104-01 an die letzte Filterstufe.....	83
Abb. 88: Erfüllte/Nicht erfüllte Anforderung gemäss SWKI VA104-01 an die letzte Filterstufe.....	83
Abb. 89: Beurteilung aller Tupferproben am Lufterhitzer (n=46).....	84

8.7. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Gebäudekategorien nach SIA 2024.....	15
Tab. 2: Grössenklassifizierung von RLT-Anlagen.....	15
Tab. 3: Benotungsregeln technisch-optische Beurteilung.....	17
Tab. 4: Zusammenstellung von hygiene relevanten Komponenten mit den höchsten T/O-Mittelwerten (rot: höchster Wert; orange: 2. Höchster Wert; gelb: 3. Höchster Wert der jeweiligen Kategorie).....	36
Tab. 5: Anlagencharakteristika bei erhöhten Bakterienkonzentrationen in der Zuluft.....	40
Tab. 6: Anlagencharakteristika bei Luftkeimkonzentrationen in der Zuluft über dem Mindestverhältnis.....	64
Tab. 7: Zusammenstellung der Vergleiche zwischen Wohn- und Nichtwohnbauten bezüglich T/O-Beurteilung, Zugänglichkeit, Oberflächenkeime, Filterstufen und Instandhaltung. (grün: Wert mindestens 20 % besser als Vergleichstyp; rot: Wert mindestens 20 % schlechter als Vergleichstyp).....	88
Tab. 8: Zusammenstellung der Vergleiche zwischen RLT-Anlagen mit zu SWKI VA104-01 konformen und nicht konformen Filterstufen bezüglich T/O-Beurteilung, Zugänglichkeit und Oberflächenkeime. (grün: Wert mindestens 20 % besser als Vergleichstyp; rot: Wert mindestens 20 % schlechter als Vergleichstyp).....	90

Tab. 9: Zusammenstellung der Vergleiche zwischen RLT-Anlagen mit Abscheidegrad 2.5 µm besser oder schlechter als 80 % bezüglich T/O-Beurteilung, Zugänglichkeit, Oberflächenkeime und Filterstufen. (grün: Wert mindestens 20 % besser als Vergleichstyp; rot: Wert mindestens 20 % schlechter als Vergleichstyp)	91
Tab. 10: Zusammenstellung der Vergleiche zwischen RLT-Anlagen mit einem Luftkeimverhältnis bis 0.1 bzw. grösser 0.1 bezüglich T/O-Beurteilung, Zugänglichkeit, Oberflächenkeime und Filterstufen. (grün: Wert mindestens 20 % besser als Vergleichstyp; rot: Wert mindestens 20 % schlechter als Vergleichstyp)	92
Tab. 11: Zusammenstellung der Vergleiche zwischen RLT-Anlagen mit Baujahr vor und ab 1989 bezüglich T/O-Beurteilung, Zugänglichkeit, Oberflächenkeime und Filterstufen. (grün: Wert mindestens 20 % besser als Vergleichstyp; rot: Wert mindestens 20 % schlechter als Vergleichstyp)	92
Tab. 12: Zusammenstellung der Vergleiche zwischen RLT-Anlagen mit unterschiedlichen Zeitspannen zwischen Hygieneinspektion und letzter Wartung bezüglich T/O-Beurteilung, Zugänglichkeit und Oberflächenkeime. (grün: Wert mindestens 20 % besser als Vergleichstyp; rot: Wert mindestens 20 % schlechter als Vergleichstyp)	93
Tab. 13: Zusammenstellung der Vergleiche zwischen RLT-Anlagen mit unterschiedlicher Instandhaltung bezüglich T/O-Beurteilung, Zugänglichkeit, Oberflächenkeime und Filterstufen. (grün: Wert mindestens 20 % besser als Vergleichstyp; rot: Wert mindestens 20 % schlechter als Vergleichstyp)	94
Tab. 14: Klassifizierungsschema der Hygiene zur Beurteilung von Oberflächenproben innerhalb von Lüftungsanlagen	97
Tab. 15: Klassifizierungsschema der Hygiene zur Beurteilung von Tupferproben innerhalb von Lüftungsanlagen	98
Tab. 16: Richtwerte für Befeuchterwasser	98

TP3 Teilbericht

Horw, 27. Juli 2012
Seite 1/42

Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3 Energetische Untersuchungen

Horw, 27. Juli 2012
Seite 2/42
Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

Impressum

Projektkonsortium

Hochschule Luzern – Technik & Architektur
(HSLU – T&A)
Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (Suva)
Staatssekretariat für Wirtschaft (SECO)
Bundesamt für Gesundheit (BAG)
Amt für Umwelt und Energie des Kantons Basel-
Stadt (AUE)
ProKlima
Gruppe der Schweizerischen Gebäudetechnik-
Industrie (GSGI)
Schweizerischer Verein von Gebäudetechnik-
Ingenieuren (SWKI)
Unifil AG

Auftragnehmer

Hochschule Luzern
Technik & Architektur
Zentrum für Integrale Gebäudetechnik (ZIG)
Technikumstrasse 21
CH-6048 Horw

Projektleitung

Benoît Sicre

Verfasser (alphabetisch)

Christian Fuchs	HSLU – T&A
Svenja Genuttis	HSLU – T&A
Benoît Sicre	HSLU – T&A
Pascal Sturny	HSLU – T&A

Version/Datum

27. Juli 2012

SAP-Nr.

112 01 99

Dateiname

d_20120727_HYG_RLT_TP3_Schlussbericht.doc

Horw, 27. Juli 2012

Seite 3/42

Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

Zusammenfassung

Die Zielsetzung der energetischen Untersuchungen war die messtechnische Überprüfung der Auswirkung einer hygienischen Instandsetzung/Reinigung auf die Energieeffizienz von rund 10 Raumlufttechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) der rund 100 hygienisch untersuchten Anlagen aus dem Teilprojekt 1. Damit sollte eine Potenzialabschätzung gemacht werden, die allenfalls zu weitergehenden Untersuchungen bezüglich Energieeinsparungen führen würde.

Es wurde postuliert, dass durch Reinigung der Oberflächen der Wärmerückgewinnung (WRG) eine bessere Wärmeübertragung zwischen Abluft/Fortluft und Aussenluft/Zuluft entsteht und dank Filtererneuerung – sowie daraus folgender Verminderung des Druckabfalls – sollten sich ein höherer Volumenstrom und somit höhere Geschwindigkeiten im Plattenwärmetauscher einstellen.

Ein Messkonzept für eine Feldmessung zur Erfassung der Anlagenkennzahlen wurde erarbeitet. Die Auswertung basiert auf einer Jahresberechnung der Energieflüsse für einen bestimmten Standort und ein bestimmtes Betriebsprofil.

Das Konzept konnte lediglich an einem einzelnen Messobjekt erprobt werden. Weitere Anlagen konnten im Laufe des Projektes nicht gewonnen werden. Aus diesem Grund dient der vorliegende Bericht nicht als allgemein gültige Potenzialabschätzung, sondern als Dokumentation der gewonnenen Erkenntnisse dieser Einzeluntersuchung.

Die Energieflüsse in der RLT-Anlage wurden messtechnisch erfasst und mittels Kennzahlen bewertet. Die Messung erfolgte in Anlehnung an anerkannten Normen und Richtlinien. Lufttemperaturen, -feuchtgehalte und Stromverbräuche der Ventilatoren waren unproblematisch zu erfassen. Wegen fehlender geeigneter Messstrecke war die Luftgeschwindigkeitsmessung – und der daraus resultierende Volumenstrom – mit hoher Messunsicherheit belastet.

Die Auswertung der Messdaten ergab, dass die Effizienzsteigerung der WRG sich in einem Bereich befindet, die bei der eingesetzten, feldtauglichen Messtechnik nur mit ungenügender Genauigkeit erfassbar ist. Ein Trend ist bei den Messungen vor und nach Reinigung zu erkennen, der Effizienzanstieg lässt sich aber nicht genau quantifizieren. Der ermittelte Temperaturänderungsgrad war ungewöhnlich tief, sodass auf weitere Energieberechnungen verzichtet wurde.

Erkenntnisse über die Praxistauglichkeit der entwickelten Mess- und Auswertemethode konnten gewonnen werden. Kriterien für die Auswahl von geeigneten Messobjekten konnten definiert werden. Die Messergebnisse des Projekts gelten nur für das untersuchte Objekt und können nicht verallgemeinert werden. Ein Nachfolgeprojekt mit einer grösseren Anzahl an Anlagen wird empfohlen, damit statistisch belegte Aussagen möglich werden.

Horw, 27. Juli 2012

Seite 4/42

Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Aufgabenstellung	5
2. Geplantes Vorgehen und Methoden.....	5
2.1. Einleitung.....	5
2.2. Ermittlung des Temperaturänderungsgrades.....	8
2.3. Ermittlung der Förderenergie	13
2.4. Energiekennzahlen	15
3. Umsetzung	17
3.1. Messanordnung	18
3.2. Durchführung der Messung.....	19
3.3. Messdatenauswertung	20
4. Messergebnisse	22
4.1. Volumenströme.....	22
4.2. Elektrische Leistungsaufnahme der Ventilatoren	23
4.3. Fortluftbezogener Temperaturänderungsgrad	23
4.4. Jahresberechnung.....	25
5. Diskussion.....	29
6. Anhang.....	31
6.1. Literaturverzeichnis	31
6.2. Abbildungsverzeichnis	33
6.3. Anhang A - Herstellerdaten.....	34
6.4. Anhang B -Verwendete Sensorik	37
6.5. Anhang C - Netzmessung zur Ermittlung des Volumenstromes	39
6.6. Anhang D – Berechnungsblätter Temperaturänderungsgrad.....	41

Horw, 27. Juli 2012
Seite 5/42
Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

1. Einleitung und Aufgabenstellung

Auf dem Gebiet der Instandhaltung von Raumlufotechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) wird dem hygienischen Zustand der Anlage eine grosse Bedeutung zugemessen. Um die geltenden hygienischen Anforderungen, z.B. von der Richtlinie SWKI VA104-01, zu erfüllen, wird empfohlen, die Anlagen in regelmässigen Abständen fachmännisch reinigen zu lassen. Neben der Zusicherung eines hygienisch unbedenklichen Zustandes argumentieren einige Reinigungsfirmen mit energetischen Nebeneffekten. Es wird postuliert, dass der Verschmutzungsgrad unmittelbar im Zusammenhang mit höheren Druckverlusten in der RLT-Anlage steht und ein höherer Stromverbrauch der Ventilatoren die Folge ist. Darüber hinaus würde bei zunehmender Verschmutzung die Wärmerückgewinnung stark an Effizienz verlieren.

Diese Erkenntnisse wurden im Jahr 2006 im Rahmen einer Semesterarbeit [06-6V-10] und einer darauf aufbauenden Diplomarbeit [06-DV-10] an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur einerseits theoretisch, aber auch praktisch an einer Pilotanlage erprobt. Schon damals erwies sich die Feldmessung als sehr schwierig, da weder die Zugänglichkeit zu den Komponenten, noch ein regelmässiger, kontrollierbarer Betrieb der Anlage gegeben war. Dies wäre jedoch für einen sauberen Vergleich (vorher/nachher) bei derart kleinen Abweichungen in Bezug auf Energieverbrauch eminent wichtig.

Im vorliegenden Forschungsprojekt ist die Hochschule Luzern – Technik & Architektur im Auftrag des Projektkonsortiums dieser Frage nachgegangen, indem ein Messkonzept für eine Feldmessung entwickelt und an Feldanlagen erprobt wurde. Dabei wurde, den Erkenntnissen aus den oben genannten Studierenden-Arbeiten folgend, der Fokus auf Kompaktanlagen mit Plattenwärmeübertragern gelegt, damit keine Messungen an einem Zwischenwärmeträgermedium (wie bei Kreislaufverbundanlagen mit Wasser/Glykol) durchgeführt werden mussten und möglichst konstante Betriebsbedingungen erwartet werden konnten.

Die Aufgabenstellung war die Durchführung von energetischen Messungen an einem kleinen Teil von RLT-Anlagen (ca. 10 Stk.), um zu prüfen, ob eine messbare Steigerung der Energieeffizienz durch die Entfernung von Oberflächenverschmutzungen zustande kommt. Dabei waren insbesondere der Temperaturänderungsgrad der Wärmerückgewinnungsanlage und der Stromverbrauch der Ventilatoren vor und nach einer fachmännischen Instandsetzung/Reinigung von Interesse. Aus den gewonnenen Erkenntnissen sollte dann eine Potenzialabschätzung erstellt werden. Bei hohem Energiesparpotenzial sollte ein Folgeprojekt lanciert werden, welches hauptsächlich von Energieinstitutionen (wie z. B. dem Bundesamt für Energie, BFE) finanziert werden sollte.

2. Geplantes Vorgehen und Methoden

2.1. Einleitung

Um Aufschlüsse über die in der Zielsetzung genannten Vermutungen zu erlangen, soll die jeweils untersuchte RLT-Anlage durch Fachpersonal hygienisch instandgesetzt und somit auch gereinigt werden. Jeweils vor und nach der Instandsetzung/Reinigung werden energierelevante Kenngrössen (Temperaturen, Volumenströme, Stromaufnahme der Ventilatoren usw.) gemessen und ausgewertet. Diese Messungen werden nach der Instandsetzung/Reinigung je mit den alten und mit neuen Filtern

Horw, 27. Juli 2012

Seite 6/42

Hygienestatus von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

durchgeführt, um auch darüber Informationen zu erlangen, inwieweit ein Filterwechsel Auswirkungen auf die Anlagengesamteffizienz hat.

Abbildung 1 stellt den geplanten Ablauf für das Teilprojekt 3 dar. Aus dem Anlagenportfolio des Teilprojekts 1 sollen bis zu 10 RLT-Anlagen mit erhöhtem Verschmutzungsgrad vermessen und einer fachmännischen Instandsetzung/Reinigung unterzogen werden. Die Ergebnisse werden dann zwecks Potenzialabschätzung statistisch quer ausgewertet.

Für die Feldmessung wurde ein Messkonzept entwickelt, das in den nächsten Abschnitten erläutert wird.

Horw, 27. Juli 2012

Seite 7/42

Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

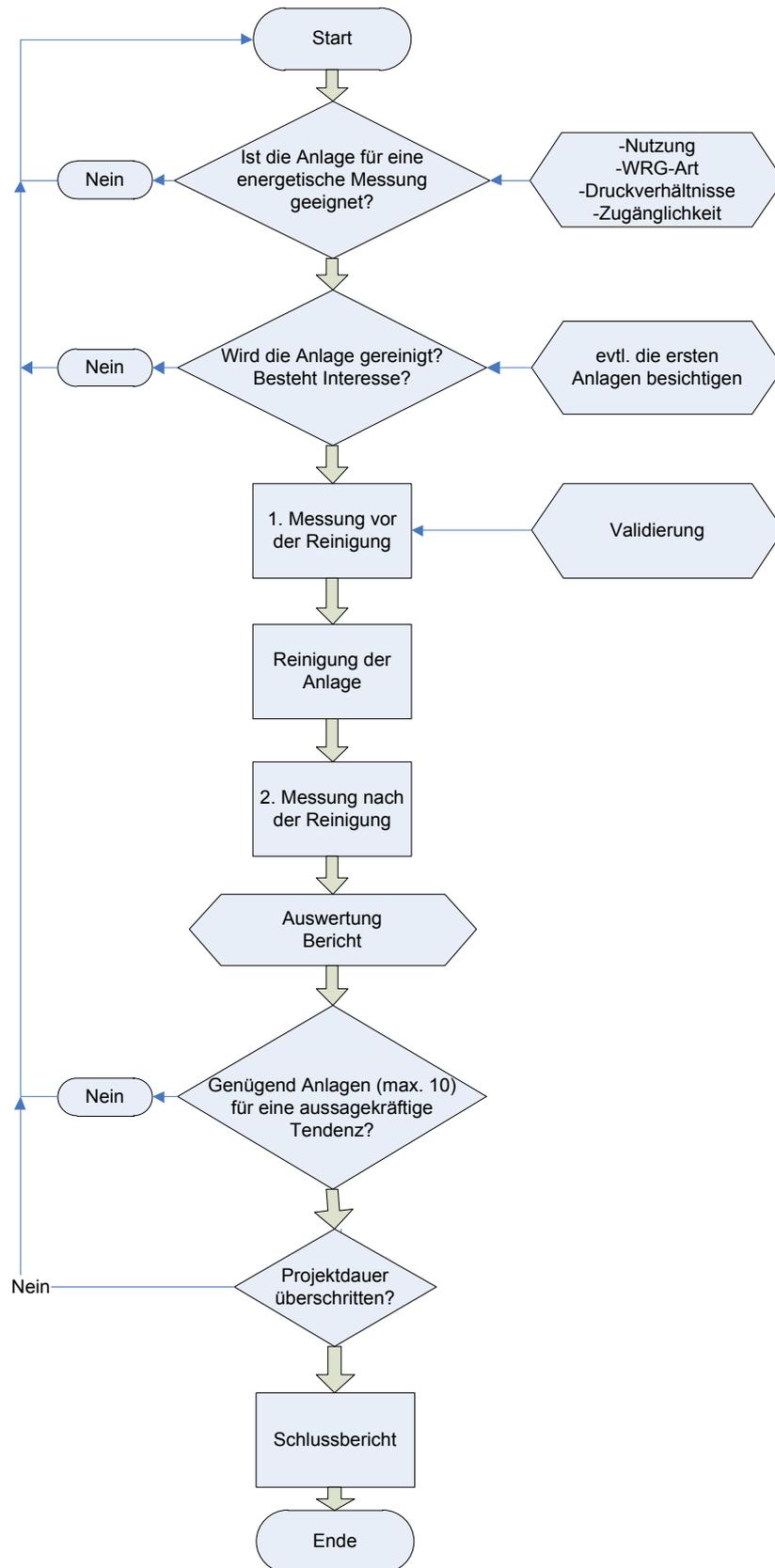


Abbildung 1: Ablaufplan des Teilprojekts 3

2.2. Ermittlung des Temperaturänderungsgrades

2.2.1. Grundlagen

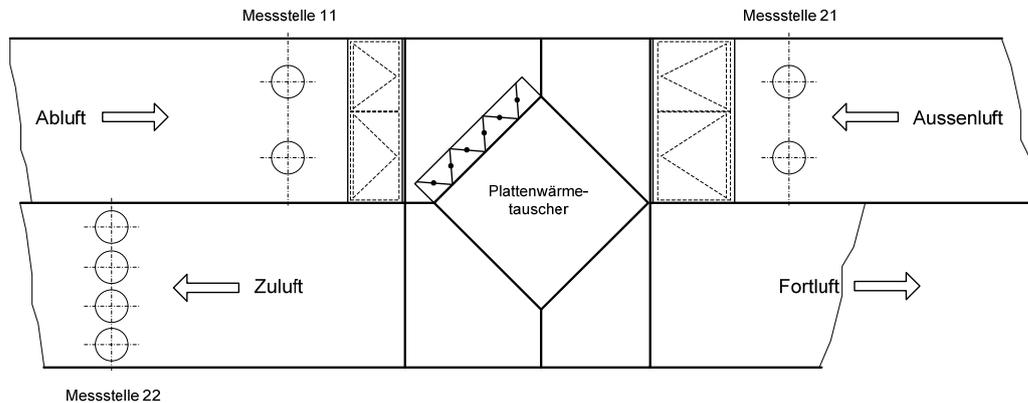


Abbildung 2: Messanordnung für die Ermittlung des Temperaturänderungsgrades

Der Temperaturänderungsgrad der Wärmerückgewinnungsanlage (WRG), auch Rückwärmzahl genannt, wird auf die Aussenluftseite bezogen bestimmt (s. Abbildung 2). Die Temperaturen der Abluft (ABL), der Aussenluft (AUL) und der Zuluft (ZUL) und optional Fortluft (FOL) werden gemessen (Messstelle 11, 21, 22).

Alle Temperaturen werden – wenn möglich – mit 2 m oder 6 m langen LG-Ni 1000-Mittelwertfühlern gemessen. Wo dies nicht oder nur erschwert möglich ist, kann die Temperatur in der Aussenluft und Abluft auch punktuell erfasst werden, da dort nicht mit einer grossen Temperaturschichtung gerechnet werden muss. Die Zulufttemperatur (oder Fortlufttemperatur) muss zwingend flächenmässig gemessen werden.

Der aussenluftbezogene Temperaturänderungsgrad wird folgendermassen bestimmt:

$$\Phi_A = \frac{t_{22} - t_{21}}{t_{11} - t_{21}}$$

Gl. 1

Dabei bedeuten:

- t_{11} WRG-Eintritts-Lufttemperatur auf der Primärseite in °C (Abluft)
- t_{21} WRG-Eintritts-Lufttemperatur auf der Sekundärseite in °C (Aussenluft)
- t_{22} WRG-Austritts-Lufttemperatur auf der Sekundärseite in °C (Zuluft)

2.2.2. Auswertung/Messfehler

Bei der Messung vor und nach der Reinigung werden dieselben Messgeräte und Messorte verwendet. Wenn man nun das Verhältnis der beiden Temperaturänderungsgrade bildet, fällt der systematische Messfehler weg. Nur noch der zufällige Fehler muss berücksichtigt werden.

2.2.3. Einfluss des Volumenstroms

Der Temperaturänderungsgrad eines Wärmeübertragers variiert zum einen mit dem Volumenstrom (Luftgeschwindigkeit bzw. Verweilzeit des Mediums im Wärmeübertrager), zum anderen mit dem Volumenstromverhältnis zwischen der Primärseite (Abluft/Fortluft) und der Sekundärseite (Aus- senluft/Zuluft). Um diese Einflüsse quantifizieren zu können, muss entweder die Herstellerkennlinie des Wärmeübertragers bekannt sein, oder eine Näherungsrechnung durchgeführt werden.

Da bei Feldmessungen oft die Planungsunterlagen der RLT-Anlagen nicht – oder zumindest nicht nachgeführt – vorliegen, geht man von folgender Annahme aus: Die im Betrieb gemessenen Luftvolumenströme (Istzustand, \dot{V}_1) werden für die jeweilige Nutzung als ausreichend und korrekt angenommen. Sie stellen somit die Vergleichsvolumenströme dar, auf welche sich alle Berechnungen beziehen. Erhöhen sich die Volumenströme in den Anlagen nach der Instandsetzung/Reinigung, müssen die Berechnungen auf die Vergleichsvolumenströme korrigiert werden.

Vorgehen bei bekannter Herstellerkennlinie:

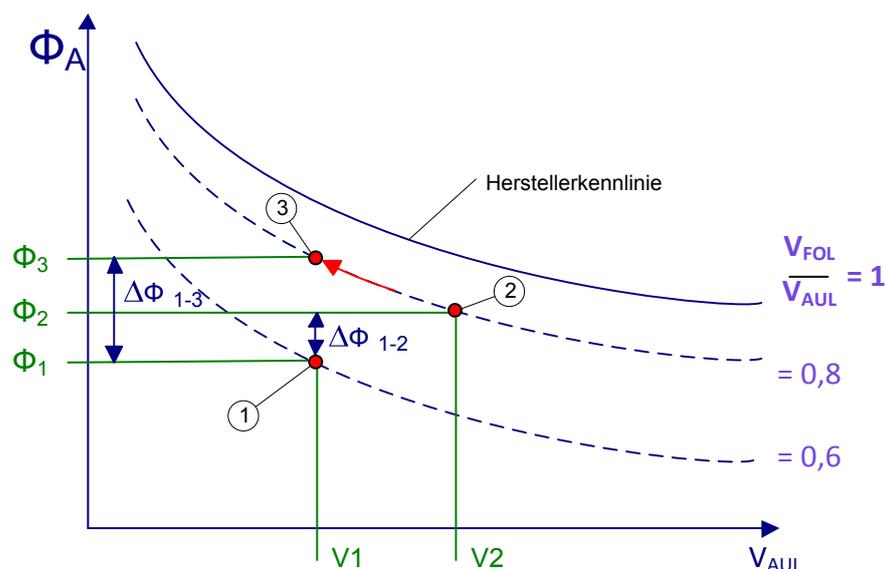


Abbildung 3: Kennlinie des Temperaturänderungsgrades und Betriebspunktverschiebung durch Volumenstromänderung (qualitativ)

Legende zu Abbildung 3:

- 1 erste Messung (Istzustand, vor der Instandsetzung/Reinigung)
- 2 zweite Messung (nach der Instandsetzung/Reinigung)
- 3 fiktiver Betriebspunkt
- $\Delta\Phi_{1-2}$ Differenz des Temperaturänderungsgrads ohne Berücksichtigung des Volumenstroms
- $\Delta\Phi_{1-3}$ Differenz des Temperaturänderungsgrads unter Berücksichtigung des Volumenstroms

In Abbildung 3 wurde die als bekannt vorausgesetzte Herstellerkennlinie parallel durch die Messpunkte verschoben. Dadurch kann man ermitteln, wie sich der Temperaturänderungsgrad bei \dot{V}_1 verhalten wird.

Horw, 27. Juli 2012
Seite 10/42
Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

Vorgehen bei unbekannter Herstellerkennlinie:

In der Regel liegen bei Feldmessungen keine genauen Herstellerkennlinien der Wärmeübertrager vor. Deshalb muss mit einer Näherungsrechnung der Einfluss der Volumenstromänderung berücksichtigt werden (Quelle: [EN 13053]):

$$\Phi_A = \Phi_{A1:1} \cdot \left(\frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_2} \right)^{0,4} \quad \text{Gl. 2}$$

Dabei bedeuten:

- $\Phi_{A1:1}$ Temperaturänderungsgrad bei abgeglichenen Luftmassenströmen (Herstellerangabe)
- \dot{m}_1 Luftmassenstrom auf der Primärseite (Abluft/Fortluft)
- \dot{m}_2 Luftmassenstrom auf der Sekundärseite (Aussenluft/Zuluft)

2.2.4. Berechnung des Jahresenergiebedarfs

Mit dem Temperaturänderungsgrad kann man anhand einheitlichen, standortbezogenen Klimadaten die jährlich zurückgewonnene Energie berechnen. Messung 1 und 2 sind so direkt miteinander vergleichbar. Somit kann die (eventuell) eingesparte Energie prozentual ausgedrückt werden. Für die Berechnungen im vorliegenden Projekt werden die Klimadaten des Standorts Zürich gewählt. Es werden die typischen Betriebsprofile in Anlehnung an SIA-Merkblatt 2024 [SIA 2024] für die jeweilige Nutzung verwendet.

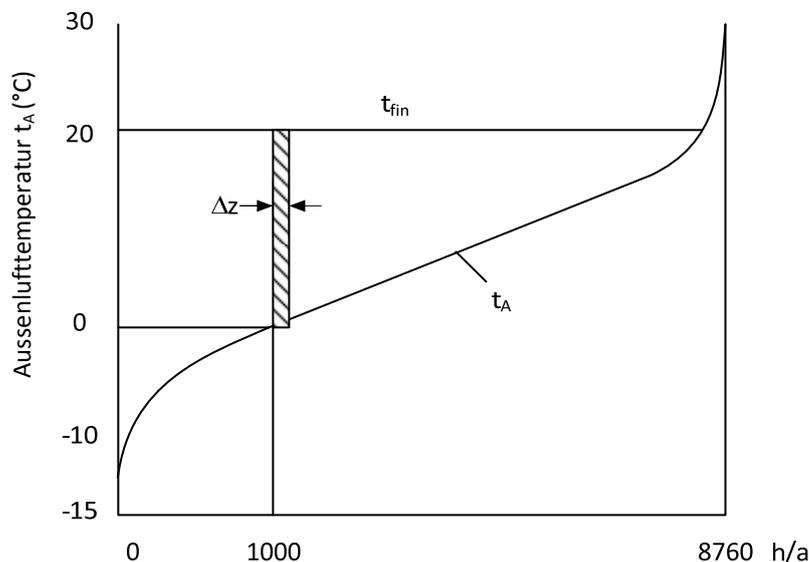


Abbildung 4: Summenhäufigkeitskurve der Aussenlufttemperatur am gewählten Standort und Angabe der Zuluftgrenztemperatur t_{fin}

Für die Ermittlung der jährlich zurückgewonnenen Energie bedient man sich der Summenhäufigkeitskurve der Aussenlufttemperatur am gewählten Standort. Die Häufigkeitsverteilung (s. Abbildung 4) zeigt die Anzahl von Stunden mit Aussenlufttemperatur kleiner als z. B. 0 °C. Aus Gründen der Anschaulichkeit, wird die Temperatur als Ordinate und die Summenhäufigkeit als Abszisse dargestellt. Zahlenwerte der Häufigkeitsverteilung für Aussenlufttemperaturen für die 24 Stunden des Tages und für die Zeit von 7 bis 19 Uhr lassen sich z. B. dem SIA-Merkblatt 2028 [SIA 2028] entnehmen.

Horw, 27. Juli 2012
Seite 11/42
Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

Bei einer Lüftungsanlage führt man den Räumen Aussenluft zu. Im Winter ist sie von der Aussenlufttemperatur t_A auf den Wert der Grenztemperatur t_{fin} aufzuheizen, die gleich der Zulufttemperatur sein kann. Die Differenz ändert sich mit der Aussenlufttemperatur t_A und lässt sich nur über ein sehr kleines Zeitelement Δz als konstant betrachten. Die zu liefernde Wärmemenge ist dabei dem Produkt $\Delta z \cdot (t_{fin} - t_A)$ verhältnismässig, sofern der Luftmassenstrom konstant bleibt. In Abbildung 4 ist dieses Produkt für ein herausgegriffenes Zeitelement Δz als Rechteck wiedergegeben.

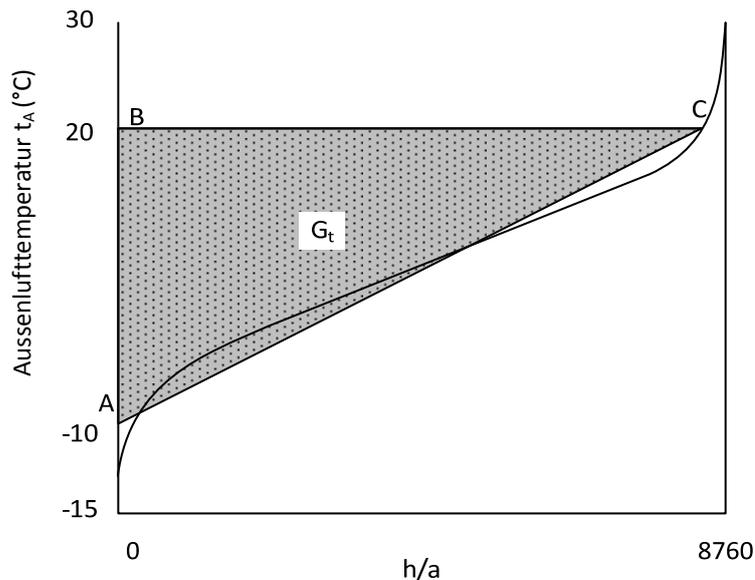


Abbildung 5: Ermittlung der Lüftungsgradstunden G_t

Die während eines Jahres zu liefernde Wärmeenergie ist bei einer Grenztemperatur t_{fin} dem Inhalt des gesamten schraffierten Dreiecks ABC proportional (s. Abbildung 5). Der Inhalt des Dreiecks ist identisch mit den Lüftungsgradstunden G_t ohne WRG, die Einheit ist Kh/a.

Durch Multiplizieren mit der durchgesetzten Luftmasse pro Zeit \dot{m} (Massenstrom) und der spezifischen Wärmekapazität c_p erhält man die jährlich aufzuwendende Wärmeenergie Q_t :

$$Q_t = \dot{m} \cdot c_p \cdot G_t$$

Gl. 3

Die Lüftungsgradstunden G_t sind von drei Grössen abhängig:

1. vom Einsatzort
2. von der Grenztemperatur oder der Zulufttemperatur
3. von der täglichen Betriebszeit der Lüftungsanlage und dem Wochenende-Einschränkungsfaktor.

Stillstandzeiten während der Wochenenden und etwaige Betriebsferien werden gesondert betrachtet. Die Nutzungsprofile der SIA 2024 [SIA 2024] können da Abhilfe leisten.

Bei einer Lüftungsanlage mit einer Betriebszeit von 7 bis 19 Uhr (gilt auch am Wochenende) beträgt die jährliche Betriebszeit 4'380 Std. In diesem Beispiel (Abbildung 6) wurde angenommen, dass Zuluft- und Ablufttemperatur identisch sind, sie betragen hier 20 °C.

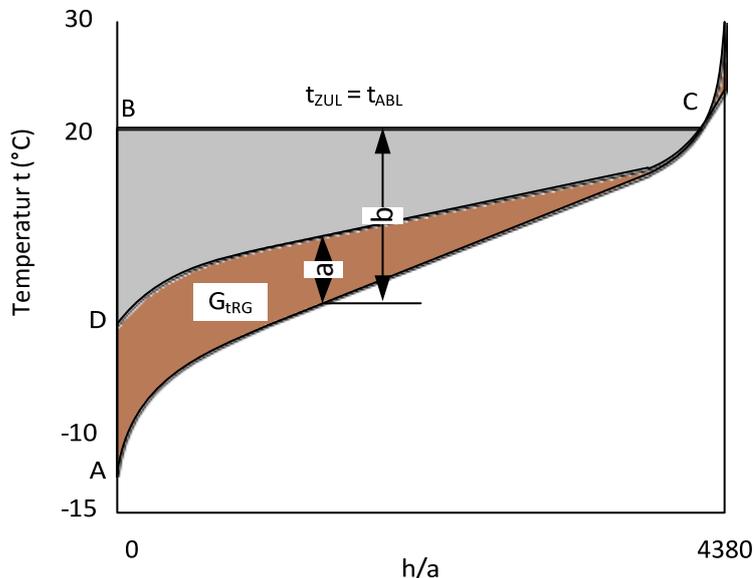


Abbildung 6: Summenhäufigkeitskurve einer Anlage mit Betriebszeit täglich von 7 bis 19 Uhr

Von der Temperaturdifferenz Abluft zu Aussenluft lässt sich entsprechend der Rückwärmzahl Φ_A ein Teil zurückgewinnen. Die Zulufttemperatur nach der Wärmerückgewinnungsanlage lässt sich aus Φ_A und der Temperaturdifferenz Abluft zu Aussenluft errechnen (s. Gl. 4):

$$t_{WRG} = t_A + \Phi_A \cdot (t_{ABL} - t_A) \text{ bzw. im vorliegenden Kontext: } t_{22} = t_{21} + \Phi_A \cdot (t_{11} - t_{21}) \quad \text{Gl. 4}$$

Die Rückwärmzahl gilt hier anschaulich für jeden Punkt als Verhältnis der Strecke a zur Strecke b. Die Fläche A-D-C gibt die eingesparte Lüftungsgradstunden G_{tRG} wieder.

Die rückgewonnene Wärmemenge ist Q_{WRG} (s. Gl. 5):

$$Q_{WRG} = \dot{m} \cdot c_p \cdot G_{tRG} \quad \text{Gl. 5}$$

Mit Einsatz der WRG wäre über eine Wärmeerzeugung (z. B. Heizkessel, Wärmepumpe, Fernwärme usw.) eine Wärmeenergie für den Lufterhitzer bereitzustellen, die dem Dreieck D-B-C entspricht.

Durch Reinigung des Wärmeübertragers erhöht sich die Rückwärmzahl Φ_A von Φ_1 auf Φ_3 (s. Abbildung 3). Die zusätzlich, durch den verbesserten Wärmeübergang verursachte Wärmeübertragung ist in Abbildung 7 durch G'_{tRG} dargestellt. Die Strecke D'-C lässt sich ebenso anhand Gl. 4 und Gl. 5 bestimmen.

Mittels eines numerischen Summationsverfahrens wird die Fläche G'_{tRG} in der Praxis ermittelt.

Horw, 27. Juli 2012
Seite 13/42
Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

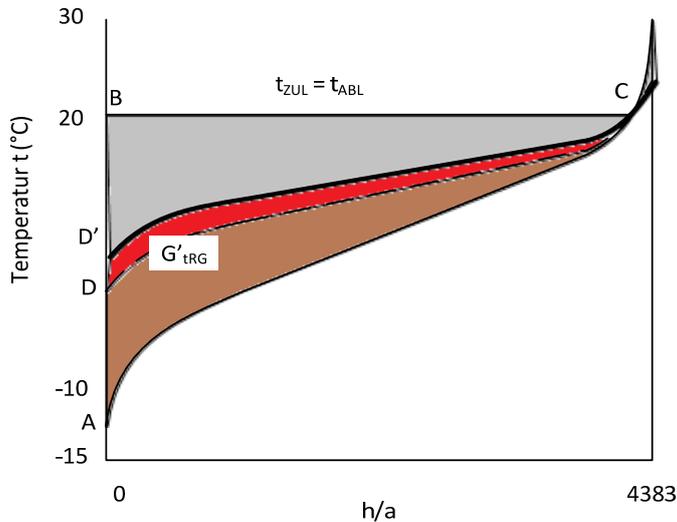


Abbildung 7: Effizienzsteigerung durch Reinigung des Wärmeübertragers

2.3. Ermittlung der Förderenergie

2.3.1. Grundlagen

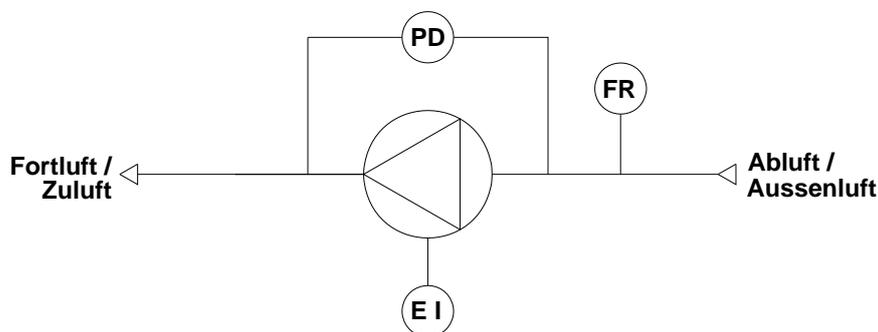


Abbildung 8: Messanordnung Zuluft-/Fortluftventilator

Volumenstrom

Die Volumenströme werden in der Fortluft und Aussenluft gemessen. Je nach Anlagendisposition und Anlagegrösse werden verschiedene Messmethoden angewandt:

Methode 1:

Der gesamte Kanal-/Lüftungsgerätequerschnitt wird mit einem Anemometer abgescannt (Trivialverfahren). Es muss darauf geachtet werden, die Luftgeschwindigkeiten an einem möglichst störungsarmen Ort, fern von Rohrkrümmern, Ventilatoren usw. zu messen.

Dieses Messverfahren wird bevorzugt bei Anlagen angewendet, wo der Zuluft-/Abluftkanal frei zugänglich ist (auch um das Lüftungsgerät nicht unnötig zu beschädigen).

Methode 2:

Der Volumenstrom kann auch mit der Tracergasmethode «Verfahren mit konstanter Emission» bestimmt werden.

Aufnahmeleistung des Ventilators

Die Stromaufnahme des Ventilators kann mit einer Stromzange gemessen werden. Mit dem $\cos(\varphi)$ des Ventilatormotors wird die Aufnahmeleistung bestimmt. Der $\cos(\varphi)$ wird gemäss Datenblatt oder Motorenschild des Ventilators übernommen.

Druck

Die Druckerhöhung über den Ventilator wird mit einem Prandtl-Staurohr gemessen.

2.3.2. Auswertung/Messfehler

Die Messunsicherheit des Volumenstroms wird nach SN EN 12599 [EN 12599] bestimmt. Dasselbe Verfahren wird auch bei der Druckmessung angewandt.

2.3.3. Einfluss des Volumenstroms

Bei der zweiten Messung (Messung nach der Instandsetzung/Reinigung der Anlage) wird der Volumenstrom sehr wahrscheinlich nicht mit demjenigen der ersten Messung identisch sein. Aufgrund der Instandsetzung/Reinigung, vor allem des Abluft-Leitungsnetzes, ist es möglich, dass der Druckverlust der Anlage sinkt und sich ein anderer Volumenstrom einstellt, d. h. die Anlagekennlinie wird sich verändern.

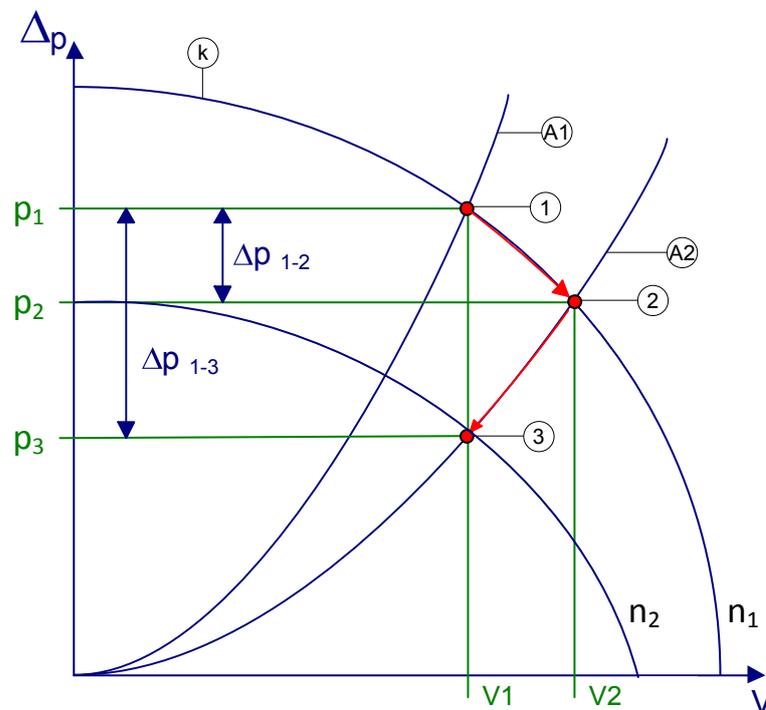


Abbildung 9 Darstellung der Anlagekennlinien

Horw, 27. Juli 2012
Seite 15/42
Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

Legende zu Abbildung 9:

- (1) Betriebspunkt der Anlage bei der ersten Messung (vor der Instandsetzung/Reinigung)
- (2) Betriebspunkt der Anlage bei der zweiten Messung (nach der Instandsetzung/Reinigung)
- (3) fiktiver Betriebspunkt
- (A1) Anlagekennlinie bei der ersten Messung
- (A2) Anlagekennlinie bei der zweiten Messung
- (k) Ventilator-kennlinie bei Drehzahl n_1
- n_1 Drehzahl im Betrieb (vor der Instandsetzung/Reinigung)
- n_2 theoretische Drehzahl bei reduziertem Betrieb (nach der Instandsetzung/Reinigung)
- Δp_{1-2} effektive Druckdifferenz
- Δp_{1-3} theoretisch mögliche Druckdifferenz

In Abbildung 9 stellen die Punkte (1) und (2) die gemessenen Betriebspunkte vor und nach der Reinigung dar. Die Druckdifferenz Δp_{1-2} entspricht hier dem effektiv eingesparten Druckverlust. Dieser hängt jedoch auch mit den unterschiedlichen Volumenstromverhältnissen zusammen. Da man davon ausgehen kann, dass der Volumenstrom vor der Reinigung (\dot{V}_1) den hygienischen Anforderungen genügt hat, kann man auf der neuen Anlagekennlinie (A2) den Schnittpunkt mit (\dot{V}_1) berechnen. Aus dem daraus resultierenden zugehörigen Druck ergibt sich die theoretisch möglich einzusparende Druckdifferenz Δp_{1-3} .

Aufgrund der jährlichen Laufzeit des Ventilators (z. B. nach Nutzungsprofilen gemäss SIA 2024 [SIA 2024]) kann nun die jährliche Energieeinsparung des Ventilators errechnet werden.

2.4. Energiekennzahlen

2.4.1. Einleitung

Um Aussagen über den tatsächlichen Nutzen eines WRG-Systems machen zu können, wurden einige Kennzahlen berechnet. Sie werden aus den Jahressummen der Energien ermittelt und sind somit repräsentative Beurteilungskriterien für das WRG-System (Heiz- und Kühlfunktionen der WRG sind somit berücksichtigt).

2.4.2. Jahresarbeitszahl

Aus den Leistungsmessungen (Momentanwerte) kann die Leistungsziffer ε einer WRG-Anlage nach DIN EN 13053 [EN 13053] bestimmt werden:

$$\varepsilon = \dot{Q}_{WRG} / P_{el} \quad \text{Gl. 6}$$

Ähnlich wie bei Wärmepumpen bildet die Jahresarbeitszahl das Verhältnis zwischen Nutzen (rückgewonnene Wärme) und Aufwand (Hilfsenergie, z. B. Ventilatorantriebsenergie).

Horw, 27. Juli 2012
Seite 16/42
Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

Nach DIN EN 13053 [EN 13053] berechnet sich die Jahresarbeitszahl ε_a einer WRG-Anlage wie folgt:

$$\varepsilon_a = W_{WRG}/W_{el} \text{ bzw. im vorliegenden Kontext } \varepsilon_a = Q_{WRG}/W_{el} \quad \text{Gl. 7}$$

Dabei bedeuten:

Q_{WRG} Rückgewonnene Wärmeenergie (thermische Energie), in kWh bzw. MJ nach Gl. 5.
 W_{el} Energieaufwand für WRG (elektrische Energie), in kWh bzw. MJ

Da die thermische Energie und die elektrische Energie eine sehr unterschiedliche Wertigkeit aufweisen, wird diesem Umstand durch die Einführung eines Primärenergiefaktors f Rechnung getragen ([EN 13053]).

$$\varepsilon_a = \frac{Q_{WRG}}{f \cdot W_{el}} \quad \text{Gl. 8}$$

Dabei ist

Q_{WRG} thermische Nutzenergie der WRG
 f Primärenergiefaktor
 W_{el} elektrische Energie

2.4.3. Jahresdeckungsgrad

Bei dieser Betrachtung wird die RLT-Anlage (Lüftungsgerät) als Systemgrenze gewählt. Der Jahresdeckungsgrad beschreibt den Anteil der WRG am Gesamtwärmebedarf der RLT-Anlage W_{RLT} . Er ist charakteristisch des gewählten Betriebs der Anlage im Anwendungsfall (dort definierte Sollwerte).

$$N_a = \frac{W_{WRG}}{W_{RLT}} \text{ bzw. im vorliegenden Kontext } N_a = \frac{Q_{WRG}}{Q_{RLT}} \quad \text{Gl. 9}$$

Q_{RLT} : Gesamtwärmebedarf der RLT-Anlage, auch Q_t gemäss Gl. 3.

2.4.4. Reduktion des Jahresprimärenergieverbrauchs

Die Jahresprimärenergieeinsparung ΔG dank Anlagenreinigung lässt sich so ermitteln:

$$\Delta G = G_{nR} - G_{vR} \quad \text{Gl. 10}$$

mit:

G_{nR} Jahresprimärenergieverbrauch der RLT-Anlage nach Reinigung
 G_{vR} Jahresprimärenergieverbrauch der RLT-Anlage vor Reinigung

Bei Primärenergieeinsparung ist dann ΔG negativ.

Horw, 27. Juli 2012
Seite 17/42
Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

Der Primärenergieverbrauch der RLT-Anlage lässt sich nach Gl. 11 errechnen.

$$G_i = a \cdot Q_{\text{Erhitzer}} + b \cdot (P_{\text{AUL}}^{\text{RLT}} + P_{\text{FOL}}^{\text{RLT}}) \quad \text{Gl. 11}$$

Wobei:

- Q_{Erhitzer} Jahreswärmebedarf des Lufterhitzers, $Q_{\text{Erhitzer}} = Q_{\text{RLT}} - Q_{\text{WRG}}$
 $P_{\text{AUL}}^{\text{RLT}}$ Stromverbrauch des Aussenluftventilators für die Überwindung der aussenluftseitigen Druckverluste der RLT-Anlage
 $P_{\text{FOL}}^{\text{RLT}}$ Stromverbrauch des Fortluftventilators für die Überwindung der fortluftseitigen Druckverluste der RLT-Anlage
a,b Primärenergiefaktor für Wärmeerzeugung aus Erdgasverbrennung bzw. für Strom

3. Umsetzung

Es ist relevant, Anlagen mit WRG's zu wählen, welche einen möglichst geringen Leckagevolumenstrom aufweisen bzw. dieser durch die Reinigung der Anlage nicht verändert wird (z.B. Plattentauscher, Rotationswärmetauscher mit Anpressdichtlippen). Da die Leckagevolumenströme nicht bekannt sind, ist die Messung lediglich relativ zu vergleichen (vor und nach der Reinigung). Eine gute Zugänglichkeit der Anlage ist entscheidend für eine erfolgreiche Messung. Die Herstellerdaten für den Ventilator müssen vorhanden sein.

Im Laufe des Projekts stellte sich heraus, dass die Gewinnung einer geeigneten Demoanlage äusserst schwierig ist. Die angedachten Küchenanlagen stellen sich als reine Abluftanlagen heraus und waren somit für das Projekt ungeeignet. Nach langer Suche konnte im Jahr 2010 eine gut zugängliche RLT-Anlage im Grossraum Zürich gefunden werden. Bei dem dazugehörigen Versorgungsobjekt handelt es sich um ein Bistro mit einer Kleinküche, welche zum Kochen von Kaffee und Anrichten von Snacks, etc. genutzt wird. Das Bistro verfügt über Tür-Luftschleier an der automatischen Eingangstür, die ein Eindringen der Aussenluft und mögliche Wärmeverluste vermeiden sollen. Diese werden jedoch separat von der Heizung versorgt. Abbildung 10 zeigt das zugehörige Anlagenschema des Lüftungsgerätes. Während des gesamten Messzeitraumes wurde die zweistufige Ventilatorsteuerung ausser Betrieb gesetzt, damit Volumenstromänderungen aufgrund einer möglichen Änderung der Ventilatorstufe nicht hervorgerufen wurden.

Der Hygienezustand der untersuchten Anlagen war generell gut (keine Beanstandungen nach SWKI VA104-01), die Instandsetzung/Reinigung beschränkte sich auf die Beseitigung von Staubablagerungen in den Registern vom Lüftungsgerät (inkl. Reinigung der WRG) und Filterwechsel. Eine Reinigung des Kanals wurde als nicht notwendig erachtet.

Horw, 27. Juli 2012
Seite 18/42
Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

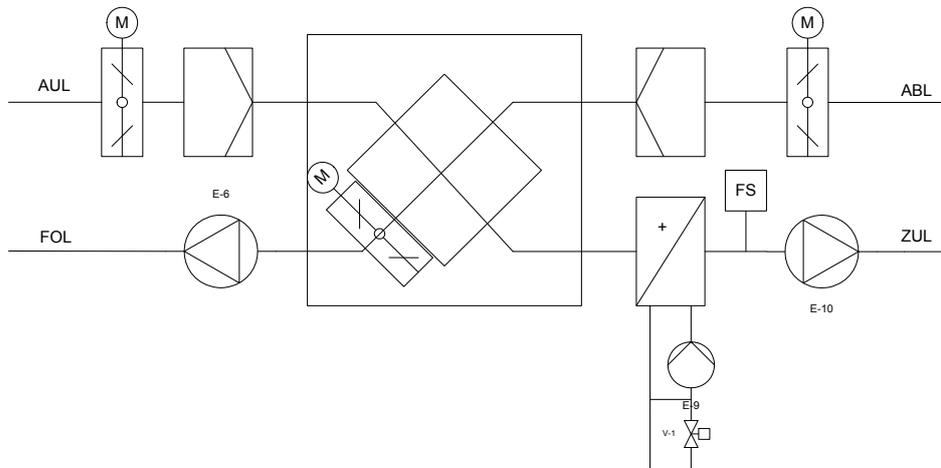


Abbildung 10: Schematische Darstellung des untersuchten Lüftungsgerätes im Grossraum Zürich

Die Details zu den Anlagenkomponenten sind im Kapitel 6.3 zu finden.

3.1. Messanordnung

Die verwendete Sensorik wurde im Vorfeld von einem akkreditierten Labor kalibriert. Die vorgeschlagene Methodik konnte zuvor an einer Beispielanlage der HSLU – T&A geübt werden, damit die Installation im Feld möglichst schnell und fehlerfrei erfolgt.

Nach einer ersten Ortsbegehung wurde neben der Erfassung des Hygienezustands eine Prüfanordnung erstellt (Abbildung 11), mit Bestimmung des Aufbauorts der jeweiligen Messfühler für Temperatur und rel. Feuchte, Luftvolumenströme, sowie die Bestimmung der Elektroanschlüsse für die Leistungsmessung der Ventilatoren.

Dabei wurden vier relevante Messstellen definiert, an denen die Messfühler angebracht wurden.

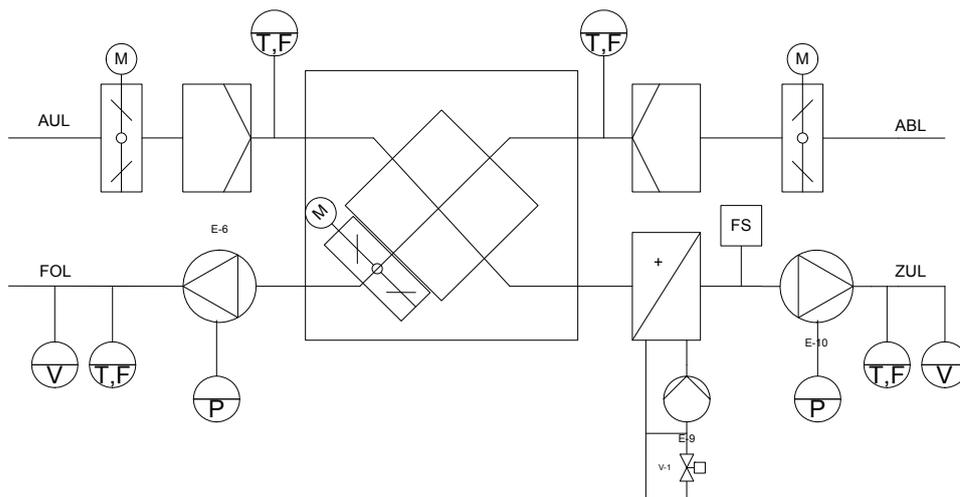


Abbildung 11: Messanordnung im Lüftungsgerät

Die Details zur verwendeten Messtechnik sind Kap. 6.4 zu entnehmen.

Horw, 27. Juli 2012
Seite 19/42
Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

3.2. Durchführung der Messung

Die Messtechnik wurde nachts in das Lüftungsgerät eingebaut (Abbildung 12) und in Betrieb genommen, um Störung des Bistrobetriebs zu vermeiden. Um die Sensorik innerhalb des Lüftungsgeräts zu platzieren und Sensorenkabel leckagenfrei aus dem Lüftungsgerät zu führen, wurden Holzplatten angefertigt, welche die Abdeckungen der WRG ersetzt haben. Diese wurden mit Hilfe von Spanngurten befestigt. Durch die Anbringung von Abdichtungen wurde zusätzlich darauf geachtet, dass keine Leckströme seitens der Holzplatten entstehen. Die Feldmessung dauerte insgesamt 2 Wochen und wurde im Winter 2010 durchgeführt.



Abbildung 12: Lüftungsgerät mit Messtechnik

Sämtliche Messfühler zur Temperatur- und Feuchtemessung wurden in den vier Kanälen installiert (jeweils vier Temperaturfühler, sowie ein kombinierter Temperatur- und Feuchtefühler, siehe Abbildung 13). Die geplanten LG-Ni 1000 1000-Mittelwertfühler (s. Kap. 2.2.1) standen für diese Messung nicht zur Verfügung.



Abbildung 13: Platzierung der Temperaturfühler, sowie des kombinierten Temperatur- und Feuchtefühlers im Abluftkanal

Horw, 27. Juli 2012

Seite 20/42

Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

Die Bestimmung der Luftvolumenströme erfolgte zu verschiedenen Zeitpunkten¹ durch Luftgeschwindigkeitsmessung mit einem Flügelradanemometer in einer sog. „Netzmessung“ (s. Kapitel 6.5) im Zu- und Fortluftkanal. Die Querschnitte der Kanäle wurden in gleichgrosse Messflächen aufgeteilt und bemessen. Damit eine Vergleichbarkeit der Werte gegeben ist wurde bei jeder Messung sehr penibel gearbeitet.

Mögliche Volumenstromänderungen während der zwei Messwochen wurden anhand von zwei nichtkalibrierten Messkreuzen² im Zu- und Fortluftkanal überwacht (Abbildung 14). Dabei wurde eine Wirkdruckdifferenz zwischen beiden Rohren des Messkreuzes gemessen.



Abbildung 14: Platzierung des Messkreuzes im Fortluftkanal (Links), Details zur Befestigung des Messkreuzes im Kanal (Rechts)

Zur Reinigung der Anlage wurde die Messtechnik abgebaut, die Platzierungen der Sensoren wurden aber markiert, damit eine Rekonstruktion nach der Reinigung möglich ist. Nach der Reinigung des Lüftungsgeräts wurde die Messtechnik wieder installiert und der Hygienezustand wurde erneut visuell erfasst. Die Rohrnetze wurden bei dieser Instandsetzungs-/Reinigungsmassnahme nicht gereinigt, die Bilanzgrenze der Untersuchung umfasst lediglich das Lüftungsgerät.

3.3. Messdatenauswertung

Die Messwernerfassung der Temperatur, Feuchte, des Umgebungsdruckes und der Wirkdruckdifferenzen wurde im 10-Sekunden-Takt geloggt und in Microsoft Excel abgespeichert. Aufgrund der hohen Datenmenge wurden jedoch im Rahmen der Auswertung aus den 10-Sekunden-Werten Minutenmittelwerte gebildet. Bei der Stromaufnahme des Zu- und Fortluftventilators wurden die Daten pro Minute mit Hilfe einer anwendungsspezifischen Software gemittelt und abgespeichert.

Darüber hinaus wurde pro Messstelle ein arithmetischer Mittelwert aus den fünf gemessenen Temperaturen gebildet.

Mit Hilfe dieser Rohdaten lässt sich bestimmen, ob eine Oberflächenreinigung und/oder ein Filterwechsel zur Steigerung der Energieeffizienz beitragen.

¹ vor und nach der Reinigung, mit alten und neuen Filtern

² Die Messkreuze wurden speziell für die Messung angefertigt. Der Aufwand für eine Kalibrierung war nicht gerechtfertigt, da die Anlage mit konstantem Volumenstrom betrieben wird. Der reale Volumenstrom wurde in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** bestimmt.

Horw, 27. Juli 2012
Seite 21/42
Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

3.3.1. Ermittlung des fortluftseitigen Temperaturänderungsgrads

Da es ebenfalls aus bautechnischen Gründen nicht möglich war, die Zulufttemperatur vor dem Nacherhitzer zu messen, musste der Temperaturänderungsgrad auf die Fortluftseite bezogen werden. Dabei wird die Differenz zwischen Ab- und Fortlufttemperatur ins Verhältnis zur Differenz zwischen Ab- und Aussenlufttemperatur gesetzt.

$$\Phi_F = \frac{t_{11} - t_{12}}{t_{11} - t_{21}} \quad [-] \quad \text{Gl. 12}$$

Mit:

Φ_F : Temperaturänderungsgrad, bezogen auf die Fortluft

t_{11} – Ablufttemperatur in °C

t_{12} – Fortlufttemperatur in °C

t_{21} – Aussenlufttemperatur in °C

Für die Berechnung des Wärmerückgewinns hat der Temperaturänderungsgrad bezogen auf die Aussenluft die grössere Bedeutung. Mit ihm lässt sich der Zustand der Aussenluft nach dem Verlassen der WRG ermittelt, was für die Auslegung des nachgeschalteten Nacherhitzers nötig ist. Für die Umrechnung zu Φ_A schlägt die prEN 13141-7:2008 folgende Formel vor:

$$\Phi_A = \frac{t_{11} - t_{12}}{t_{11} - t_{21}} \cdot \frac{q_{m12}}{q_{m21}} = \Phi_F \cdot \frac{q_{m12}}{q_{m21}} \quad [-] \quad \text{Gl. 13}$$

Mit:

Φ_F : Temperaturänderungsgrad, bezogen auf die Fortluft

q_{m12} – Fortluftmassenstrom in $\frac{kg}{s}$

q_{m21} – Aussenluftmassenstrom in $\frac{kg}{s}$

Für die Bestimmung der Massenströme ist neben dem Volumenstrom, die Dichte der feuchten Luft nötig. Die Dichte wird mit folgender Formel berechnet ([Recknagel], S. 131):

$$\rho = 0,384 \cdot \frac{P}{T} - 0,132 \cdot \frac{p_D}{T} \quad \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad \text{Gl. 14}$$

Mit:

P – Umgebungsdruck in hPa

p_D – Dampfdruck in hPa

T – Temperatur des Mediums in °C

Über die rel. Feuchte ϕ lässt sich der Dampfdruck p_D wie folgt berechnen ([Recknagel], S. 125):

Horw, 27. Juli 2012
Seite 22/42
Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

$$\varphi = \frac{p_D}{p_S(t)} \rightarrow p_D = \varphi * p_S \quad [\text{hPa}] \quad \text{Gl. 15}$$

Mit:

$$\varphi - \text{rel. Feuchte in } \frac{\%}{100}$$

p_S – Sättigungsdruck in hPa

Der dafür benötigte Sättigungsdruck wird mit folgender Formel ermittelt ([Recknagel], S.115):

$$p_S = 611 * \exp(-1,91275 * 10^{-4} + 7,258 * 10^{-2} * t - 2,939 * 10^{-4} * t^2 + 9,841 * 10^{-7} * t^3 - 1,92 * 10^{-9} * t^4) \quad [\text{Pa}] \quad \text{Gl. 16}$$

Bereich: $0^\circ\text{C} \leq t \leq 100^\circ\text{C}$, Fehler: $<0,02\% \approx 11 \text{ Pa}$

Der Fehler ist vernachlässigbar klein und wird nicht weiter in die Berechnungen einbezogen. Da die Temperatur der Fortluft nach dem Ventilator gemessen wurde (s. Abbildung 11), muss von dieser Temperatur noch die Abwärme des Ventilators subtrahiert werden, damit keine Verfälschungen der Ergebnisse resultieren.

Die Temperaturerhöhung ΔT wird über den Gesamtdruckunterschied Δp_t und den Gesamtwirkungsgrad η_t errechnet ([Recknagel], S. 1139):

$$\Delta T \approx \frac{\Delta p_t}{1200 * \eta_t} \quad [\text{K}] \quad \text{Gl. 17}$$

Laut Herstellerangaben beträgt die Totaldruckerhöhung des Fortluftventilators 550 Pa und der Wirkungsgrad hat einen Wert von 53%.

4. Messergebnisse

4.1. Volumenströme

Tabelle 1 stellt die ermittelten mittleren Strömungsgeschwindigkeiten und die daraus resultierenden Luftvolumenströme im Zu- und Fortluftkanal jeweils vor der Reinigung, sowie nach der Reinigung mit alten und mit neuen Filtern dar. Zusätzlich angegeben ist die maximale Messunsicherheit³.

Die hohe Messunsicherheit, die von den unpassenden Messstellen verursacht wurde, erschwert jegliche Aussage. Zudem wurde die Messung 3 („nach Reinigung mit alten Filtern“) erst nach der Messung 2 („nach Reinigung mit neuen Filtern“) durchgeführt. Das Reinigungsteam hat am Reinigungstag die Filter gewechselt. Die Messung mit den alten Filtern erfolgt später, nachdem die alten Filter wieder eingebaut wurden. Deshalb ist Messung 1 nicht direkt mit Messung 3

³ Die vom Hersteller des Flügelradanemometers genannten Mindestabstände waren aufgrund des Aufbaus der RLT-Anlage nicht gut einzuhalten. Aus diesem Grund ist die Volumenstrommessung mit einer relativ hohen Messungenauigkeit behaftet.

Horw, 27. Juli 2012

Seite 23/42

Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

vergleichbar (z. B., weil der Filter anders sitzen könnte). Messung 3 wird nicht weiter im Bericht betrachtet.

Die Messwerte im Abluft-/Fortluftkanal zeigen, dass durch eine Oberflächenreinigung und einen Filterwechsel, höhere Geschwindigkeiten und somit auch grössere Volumenströme erreicht werden. Auf den Aussenluft-/Zuluftkanal lässt sich diese Aussage nicht übertragen: dort wird keine Erhöhung des Volumenstromes registrieren, sondern eine Abnahme. Nach den Ursachen dieses Befunds konnte im Projekt nicht weiter gesucht werden.

	Messung 1	Messung 2	Messung 3
	Vor Reinigung, alte Filter	Nach Reinigung, neue Filter	Nach Reinigung, alte Filter
Zuluft			
Luftgeschwindigkeit	7,16 ± 1,31	7,08 ± 1,29	7,02 ± 1,29
Volumenstrom	2969 ± 543	2936 ± 535	2910 ± 535
Fortluft			
Luftgeschwindigkeit	3,64 ± 0,64	3,97 ± 0,66	3,68 ± 0,64
Volumenstrom	1640 ± 288	1788 ± 297	1655 ± 288

Tabelle 1: Mittlere Strömungsgeschwindigkeiten (m/s) und Luftvolumenströme (m³/h) im Zu- und Abluftkanal (vor Reinigung; nach Reinigung, alte und neue Filter). Messung 3, rein informativ.

4.2. Elektrische Leistungsaufnahme der Ventilatoren

Tabelle 2 fasst die Messergebnisse zusammen. Die Stromaufnahme der Ventilatoren wurde während der zwei Messwochen kontinuierlich erfasst. In der Tabelle handelt es sich um einen Tagesmittelwert. Nennenswerte Schwankungen im Laufe des Messtages wurden nicht beobachtet. Im Aussenluft-/Zuluftkanal ist keine direkte Korrelation zwischen Stromaufnahme und Volumenstrom zu erkennen. Nach den Ursachen dieser Feststellung konnte im Projekt nicht weiter gesucht werden.

Die Leistungsaufnahme des Fortluftventilators bleibt quasi unverändert.

	Messung 1	Messung 2
	Vor Reinigung	Nach Reinigung, neue Filter
Stromaufnahme Zuluft	1.45 ± 0.02	1.50 ± 0.02
Stromaufnahme Fortluft	0.80 ± 0.01	0.80 ± 0.01

Tabelle 2: Mittlere Leistungsaufnahme (kW) der Ventilatoren im Zu- und Abluftkanal (vor Reinigung; nach Reinigung, alte und neue Filter).

4.3. Fortluftbezogener Temperaturänderungsgrad

Wie in der Methodik erwähnt, lässt sich der Wärmerückgewinn einer WRG durch den Temperaturänderungsgrad Φ_A darstellen. Dieser lässt sich aus dem Temperaturänderungsgrad Φ_F errechnen (s. Gl. 13).

Drei Betriebszustände wurden analysiert:

- die Ausgangslage vor der Reinigung

Horw, 27. Juli 2012

Seite 24/42

Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

- den Endzustand, nach Reinigung und Austausch der Filter
- und informativ, nach der Reinigung aber mit den alten Filtern

Für die Bestimmung von Φ_F und Φ_A wurden Messreihen mit 100 Messwerten (Minutenwerte) ausgewählt, an Tagen mit einer Aussenlufttemperatur höher als 1 °C damit die Auftretung von Kondensation ausgeschlossen werden kann (s. Anhang D, S. 41). In den zwei Messwochen war die Wetterlage in Zürich sehr unterschiedlich mit kühlen, „saisonüblichen“ Aussenlufttemperaturen, aber auch mit unüblich hohen Aussentemperaturen. Deshalb war es nicht möglich, genau überlappenden Messreihen hinsichtlich Aussenlufttemperatur zu finden. Bei einem Betriebszustand wurde bei Aussenlufttemperatur um 1,9 °C gemessen, bei dem zweiten, bei Temperaturen um 2,5 °C (beide Angaben, Mittelwert der 100 Messwerte).

Tabelle 3 fasst die Ergebnisse zusammen. Bei Φ_F ist der arithmetische Mittelwert sowie die Unsicherheit des Messwertes $\Delta\Phi_F$ angegeben. Die Unsicherheit des Messwertes ergibt sich durch die systematische Messunsicherheit des Herstellers und die zufällige Messunsicherheit der gemessenen Messgrösse und wird mit der Gl. 18 berechnet. Φ_A errechnet sich aus dem Mittelwert von Φ_F nach Gl. 13. Der maximale absolute Fehler $\Delta\Phi_A$ errechnet sich nach dem linearen Fortpflanzungsgesetz (s. Gl. 19).

$$\Delta x = \sqrt{(S_x^-)^2 + (r_{(P=68.3\%)})^2} \quad [-] \quad \text{Gl. 18}$$

Wobei S_x^- die empirische Standardabweichung des Mittelwertes einer Normalverteilung mit einer Wahrscheinlichkeit $P=68.3\%$ ist und $r_{(P=68.3\%)}$ die umgerechnete Standardabweichung einer Rechteckverteilung mit $P=95\%$ auf eine Normalverteilung mit einer Wahrscheinlichkeit $P=68.3\%$ ist.

$$\Delta\Phi_A = \sqrt{\left(\frac{\partial\Phi_A}{\partial\Phi_F} \cdot \Delta\Phi_F\right)^2 + \left(\frac{\partial\Phi_A}{\partial q_{m12}} \cdot \Delta q_{m12}\right)^2 + \left(\frac{\partial\Phi_A}{\partial q_{m21}} \cdot \Delta q_{m21}\right)^2} \quad [-] \quad \text{Gl. 19}$$

Wobei:

$\Delta\Phi_F$: absolute Messunsicherheit vom Temperaturänderungsgrad Φ_F

Δq_{m12} : absolute Messunsicherheit vom fortluftseitigen Volumenstrom

Δq_{m21} : absolute Messunsicherheit vom zuluftseitigen Volumenstrom

	Messung 1	Messung 2
	Vor Reinigung	Nach Reinigung, neue Filter
Temperaturänderungsgrad Φ_F	63.7 % ± 0.7 %	63.4 % ± 0.7 %
Temperaturänderungsgrad Φ_A	36.7 % ± 7.0 %	38.6 % ± 7.2 %

Tabelle 3: Fortluft- und aussenluftbezogener Temperaturänderungsgrad (Mittelwert und absoluter Fehler).

Die Reinigung per se bringt keine messbare Verbesserung, die Φ_F -Werte liegen nah aneinander. Bei der Umrechnung auf Φ_A (i.e. Berücksichtigung der Luftmassenströme) lässt sich eine geringe

Horw, 27. Juli 2012
Seite 25/42
Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

Steigerung erkennen. Jedoch aufgrund der Messunsicherheit bei der Luftmassenstrombestimmung sind diese Ergebnisse mit Vorsicht zu interpretieren.

Mit je nach Betriebszustand, 36.7 % bzw. 38.6 %, fällt der Faktor Φ_A ungewöhnlich niedrig aus und entspricht nicht dem Stand der Technik. Die Klärung der Ursache konnte im Projekt nicht mehr stattfinden. Ein Grund dafür liegt bei der hohen Disbalance zwischen Zuluft- und Fortluftmassenstrom.

Der hohe maximale Fehler bei Φ_A ist auf die hohe Messunsicherheit bei den Luftmassenströmen q_{m12} und q_{m21} zurückzuführen.

4.4. Jahresberechnung

4.4.1. Vorwort

In Tabelle 3 im Kapitel 4.3 wurde der Temperaturänderungsgrad der Feldanlage Φ_A messtechnisch ermittelt. Mit zwischen 36.7% und 38.6%, je nach Betriebszustand, fällt dieser ungewöhnlich niedrig aus und entspricht nicht dem Stand der Technik. Die Klärung der Ursache konnte im Projekt nicht mehr stattfinden.

Zudem, die hohe Messunsicherheit bei der Ermittlung der zuluftseitigen und fortluftseitigen Luftmassenströme erschwert die Aussage stark, ob eine Effizienzsteigerung durch hygienische Instandhaltung/Reinigung stattfindet. Auf die Jahresberechnungen auf Basis der Messdaten wird deshalb verzichtet. Zu Dokumentationszweck möchte aber der Autor den gewählten Lösungsweg vollständig dennoch darstellen, damit eine Art Leitfaden und Auswertevorlage für künftige Messprojekte zur Verfügung steht.

4.4.2. Randbedingungen und Annahmen

Für die Errechnung der Lüftungsgradstunden G_t und der rückgewonnene Energie Q_{TR} kann auf Berechnungstool wie *JEB-L1* zurückgegriffen werden. Dieses generiert auf Basis von Wetterdaten eine Summenhäufigkeitskurve der Aussenlufttemperatur am gewählten Standort und berechnet unter Angabe des Temperaturänderungsgrades Φ_a und eines Betriebsprofiles die Jahreswerte für die zurückgewonnene Wärme durch die Rückgewinnungsanlage und die benötigte Wärme für den Luftherhitzer (s. [JEB-L1]).

In Anlehnung an das Profil für Restaurant des SIA MB 2028 wurde ein zweistufiger Betrieb mit Nachtabstaltung für die Berechnung gewählt. Abbildung 15 stellt das Betriebs-Tagesprofil dar. Das Restaurant ist täglich und das ganze Jahr geöffnet. Das Betriebsprofil ist an Werk-, Sonn- und Feiertagen identisch.

Horw, 27. Juli 2012
Seite 26/42
Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

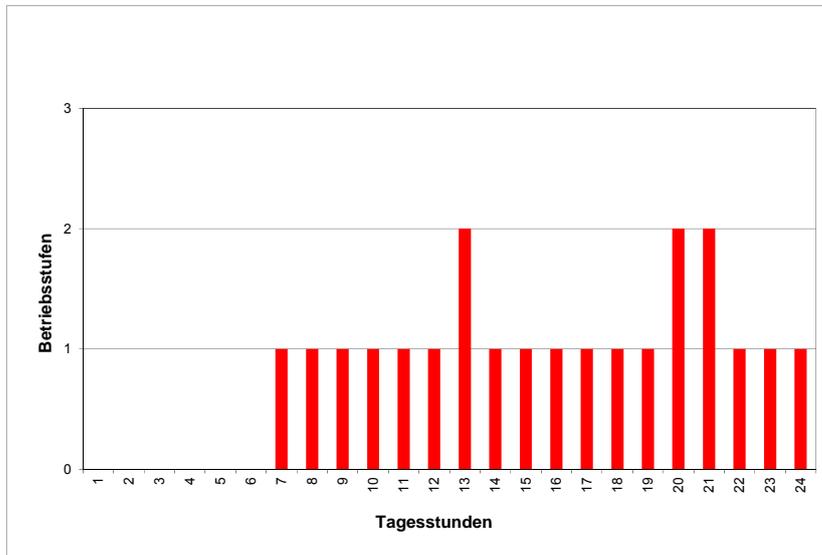


Abbildung 15: Tagesprofil für den Betrieb der RLT-Anlage (Annahme für die Jahresberechnung)

Gemäss Herstellerangabe (s. Kap. 6.3) wurde für die Stufe 1 eine Ventilator Drehzahl von 905 U/Min und für Stufe 2, 1420 U/Min gewählt. Mittels der direkten Proportionalität zwischen Drehzahl und Volumenstrom bei Ventilatoren lässt sich aus den Messwerten (s. Tabelle 1), die Volumenströme bei Stufe 1 errechnen (s. Tabelle 4).

	Einheit	Vor Reinigung	Nach Reinigung
Fortluftvolumenstrom Stufe 1	[m ³ /h]	1'097	1'196
Zuluftvolumenstrom Stufe 1	[m ³ /h]	1'986	1'964
Fortluftvolumenstrom Stufe 2	[m ³ /h]	1'640	1'788
Zuluftvolumenstrom Stufe 2	[m ³ /h]	2'969	2'936

Tabelle 4: Volumenströme der Aussen- und Fortluft bei den Betriebsstufen I und II der Ventilatoren

Durch das quadratische Verhältnis zwischen Druckverlust und Volumenstrom lassen sich die Druckverluste bei unterschiedlichen Volumenströmen errechnen.

$$\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} = \frac{V_1^2}{V_2^2} \quad [-]$$

Gl. 20

Für den Betriebszustand nach hygienischer Instandsetzung wurde angenommen, dass die internen Druckverluste den Herstellerangaben (Stufe II) - nach Volumenstromkorrektur - entsprechen (s. Hersteller Daten in Kap. 6.3).

Für den Betriebszustand vor hygienischer Instandsetzung wurde angenommen, dass die gesamten Druckverluste um 50 Pa im fortluftseitigem Kanal und um 100 Pa im zuluftseitigem Kanal bei Betriebsstufe II und Nennvolumenstrom, wegen Beladung des Filters höher sind.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Horw, 27. Juli 2012

Seite 27/42

Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

	Einheit	Vor Reinigung ⁴	Nach Reinigung ⁵
Interner Druckverlust (AUL) Stufe 1	[Pa]	625	461
Interner Druckverlust (FOL) Stufe 1	[Pa]	99	89
Interner Druckverlust (AUL) Stufe 2	[Pa]	1397	1030
Interner Druckverlust (FOL) Stufe 2	[Pa]	220	199

Tabelle 5: Interner Druckverlust des Lüftungsgeräts bei Luftvolumenströmen gemäss Tabelle 4

Die Leistung des Ventilatorantriebs für die Überwindung der Druckverluste in dem Lüftungsgerät errechnet sich aus dem Produkt Volumenstrom und interner Druckverlust unter der Annahme eines Gesamtwirkungsgrads von 53%. Die Betriebsstundenzahlen für Stufe I und II ergeben sich aus dem gewählten Betriebsprofil. Der Jahresstromverbrauch für die Ventilatoren (für die Überwindung der Druckverluste im Lüftungsgerät) lässt sich dann aus der Summe der Produkte der Beiden bestimmen (s. Tabelle 6).

	Einheit	Vor Reinigung	Nach Reinigung
Anteil der elektrischen Aufnahmeleistung des Ventilators bei Stufe 1	[W]	707	530
Anteil der elektrischen Aufnahmeleistung des Ventilators bei Stufe 2	[W]	2'365	1'772
Betriebsstundenzahl Stufe I	[h]	5'475	5'475
Betriebsstundenzahl Stufe II	[h]	1'095	1'095
Jahresverbrauch des Ventilators für die Überwindung der Druckverluste in dem Lüftungsgerät	[kWh]	6'465	4'846

Tabelle 6: elektrische Leistungsaufnahme der Ventilatoren für die Überwindung der Druckverluste in dem Lüftungsgerät

Ersichtlich ist, dass eine Erhöhung des Druckverlusts von 50 bzw. 100 Pa den Jahresverbrauch des Ventilators bei dem gewählten Betriebsprofil um 25% erhöht.

In Tabelle 3 im Kapitel 4.3 wurde der Temperaturänderungsgrad der Feldanlage Φ_A messtechnisch ermittelt. Mit je nach Betriebszustand, 35.5 % bzw. 38.6 %, fällt er ungewöhnlich niedrig aus. Zudem beträgt der maximale Fehler über einen Drittel des Mittelwerts. Damit lassen sich schwer Aussagen über die Auswirkung der hygienischen Instandsetzung auf Φ_A ableiten.

Wäre Φ_A mit genügender Genauigkeit bekannt wäre der nächste Schritt in der Auswertung, die Berechnung des Jahreswärmebedarfs gewesen. Die Ergebnisse der Berechnung sind:

- Rückgewonnene Wärme der WRG
- Jahreswärmeverbrauch des Luftherhitzers
- Gesamtwärmebedarf der RLT-Anlage Q_{RLT}
- die graphisch Darstellung der Summenhäufigkeitsverteilung der Temperaturen (in Abbildung 19 exemplarisch dargestellt).

Weitere auskunftreiche Kennzahlen sind:

- Jahresarbeitszahl $\varepsilon_a = \frac{Q_{WRG}}{f \cdot W_{el}}$

⁴ Druckverlustkennlinie gemäss Herstellerangaben, zusätzlich 100 Pa Druckverlust Zuluftfilter und 50 Pa Abluftfilter

⁵ Druckverlustkennlinie gemäss Herstellerangaben (i.e. Anlagen wurde hygienisch instandgesetzt)

Horw, 27. Juli 2012

Seite 28/42

Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

- Jahresdeckungsgrad $N_a = \frac{Q_{WRG}}{Q_{RLT}}$

Die Berechnungsergebnisse vor Reinigung und nach Reinigung und mit neuen Filtern werden in der Form des Jahresprimärenergiebedarfs⁶ G (i.e. inklusiv Hilfsenergie) gemäss Gl. 11 gegenübergestellt.

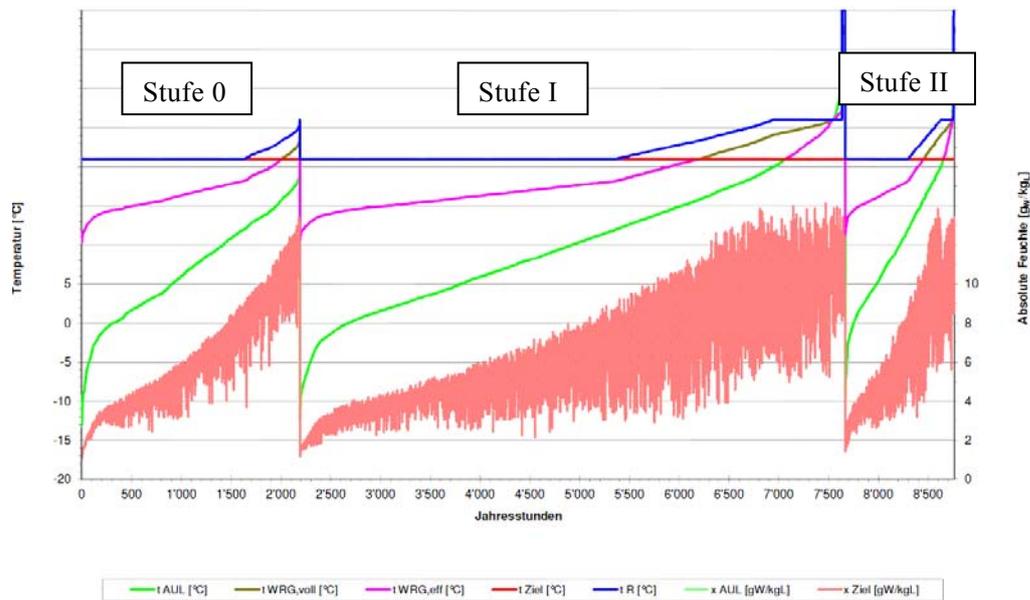


Abbildung 16: Beispiel einer Summenhäufigkeitsverteilung von Temperaturen bei zweistufigen Lüftungsanlagen (Quelle: [JEB-L1]).

⁶ Um Energien unterschiedlicher Gütegrade zu vergleichen, bedient man sich des Ansatzes der Primärenergie. Für die in der WRG zurückgewonnene Wärme wird ein Faktor = 1,15 eingesetzt (Annahme: Wärmeerzeugung aus Erdgasverbrennung), für die Stromaufnahme beträgt dieser Faktor = 2,97 ([SIA 2031]). Der Primärenergiefaktor f beträgt in diesem Fall, 2.58.

Horw, 27. Juli 2012
Seite 29/42
Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

5. Diskussion

Die Zielsetzung der energetischen Untersuchungen war die messtechnische Überprüfung der Auswirkung einer hygienischen Instandsetzung/Anlagenreinigung auf die Energieeffizienz eines Lüftungsgerätes.

Es wurde postuliert, dass durch Reinigung der Oberflächen der WRG ein höherer Temperaturänderungsgrad Φ_A erreicht werden soll. Durch Filtererneuerung und die dadurch verursachte Senkung der Druckverluste sollten sich ein höherer Volumenstrom und somit höhere Geschwindigkeiten im Plattenwärmetauscher einstellen.

Eine Messung mit Erfassung des Stromverbrauchs, der Temperaturen und der Luftfeuchte sowie der Luftgeschwindigkeit wurde an einer gut zugänglichen Anlage vorgenommen. Die Anlage war nur gering verschmutzt und wies eine hohe Massenstromdisbalance zwischen Zuluft und Fortluft auf. Aufgrund von ungenügend gerader Messstrecke weist die Luftgeschwindigkeitsmessung eine hohe Messunsicherheit auf. Dies erschwert abschliessende Aussagen stark, da bautechnisch bedingt lediglich der fortluftbezogene Temperaturänderungsgrad messtechnisch bestimmt werden konnte.

Die Auswertung der Messdaten ergab, dass sich die Effizienzsteigerung der WRG in einem Bereich befindet, die bei der eingesetzten, felddauglichen Messtechnik nur mit ungenügender Genauigkeit erfassbar ist. Ein Trend ist bei den Messungen vor und nach Reinigung zu erkennen, aber der Effizienzanstieg ist nicht genau quantifizierbar. Es gibt Hinweise, dass der fortluftseitige Temperaturänderungsgrad nicht durch die Oberflächenreinigung begründet ist, sondern durch die Ausstattung mit neuen Filtern gestiegen ist. Durch den Filterwechsel wurden fortluftseitig etwas höhere Geschwindigkeiten (+8 %) beobachtet, woraus sich ableiten lässt, dass ein gesteigerter konvektiver Wärmeübergang erlangt wurde. Mit einem Wert im Bereich 38% fällt jedoch der Faktor Φ_A ungewöhnlich niedrig aus und entspricht nicht dem Stand der Technik. Die Ursachenfindung war im Projekt nicht mehr möglich. Eine Ursache dafür könnte aber die hohe Disbalance der Massenströme Zu- und Fortluft sein. Auf weitere Energiebetrachtungen wurde deshalb verzichtet.

Empfehlenswert wäre, den Volumenstrom der Anlage auf den geplanten Sollwert einzustellen (hier zu reduzieren mittels z.B. Drehzahlregulierung), denn ein zu hoher Volumenstrom erhöht den Lüftungswärmebedarf des Gebäudes. Eine Drehzahlregelung war an der untersuchten Anlage nicht vorhanden, sodass dieser Ansatz im Projekt nicht untersucht wurde.

Das Verhalten einer RLT Anlage in Bezug auf Energieeinsparpotential durch Volumenstromveränderungen (ob aus Gründen der Reinigung, des Filterwechsels,...) bedarf einer sorgfältigen Prüfung. Die Veränderungen sind stark abhängig, wo und wie und vor allem, wo die Druckveränderungen im Luftnetz gemessen werden.

Es bestand keine optimale Einstellung der Anlage bezüglich der Massenströme. Ein nicht ausgewogenes Verhältnis der Massenströme hat bekanntlich einen erheblichen Einfluss auf die Rückwärmzahl der WRG, je grösser das Verhältnis von Fortluft- zu Aussenluftmassenstrom, umso besser der Temperaturänderungsgrad, je kleiner dieser jedoch ist, umso schlechter die Rückwärmzahl. Eine entsprechende Nachregulierung der RLT-Anlage erscheint den Autoren notwendig.

Der angewandte Messaufbau hat sich als praktikabel erwiesen. Ein relativ geringer Aufwand bei der Installation macht dieses Messverfahren attraktiv und es kommt kaum zu Unterbrechungen des laufenden Betriebes. Vor allem müssen keine bzw. nur geringfügige Veränderungen an der RLT-Anlage durchgeführt werden. Elektrische Messgeräte müssen allerdings von einer Elektrofachperson angeschlossen werden. Eine Messung des internen Druckverlusts im Lüftungsgerät wäre hilfreich gewesen und würde wertvolle Dienste bei der Datenauswertung und –

Horw, 27. Juli 2012

Seite 30/42

Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

interpretation leisten. Ebenfalls wären Verfahren zur Bestimmung des genauen Verschmutzungsgrades (nicht nur visuell, sondern analytisch⁷) eine Möglichkeit, um quantitativ die Genauigkeit der Untersuchungen noch zu verbessern.

Im Bericht wurden einige Verbesserungsvorschläge betreffend der Messmethoden formuliert. Voruntersuchungen im Labor, mit künstlich verschmutztem Lüftungsgerät sollen zeigen, ob diese Verbesserung zu einem messbaren Ergebnis führen. Ist dies gegeben kann eine weitere Feldmessung mit einer grösseren Anzahl an Anlagen in Erwägung gezogen werden. Dabei sollte aber eine sorgfältige Auswahl an Anlagen vorgenommen werden. Die Auswahl soll die Anlagenvielfalt wiedergeben sowohl in der total geförderten Luftmenge wie auch der betroffenen bzw. mit Luft versorgten Zahl an Personen. So sind Büro- und Dienstleistungsbauten, Hotels und Schulen wie auch Spitäler sicherlich im Visier. Spezialitäten der Gewerbe und Industrie wie auch Produktionsstätten wie z.B. Grossküchen sind gesondert und mit dem erhöhten nötigen Aufwand zu betrachten. Dabei sollte die gleiche Methodik bei der Durchführung und Auswertung der Messungen angewendet werden, damit eine Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse sichergestellt ist. Bei der Massenstrombestimmung soll abhängig der örtlichen Gegebenheiten auf das geeignete Messprinzip geachtet werden. Bei der Wahl von Messobjekten sollen Aspekte wie Zugänglichkeit der Anlage, technische Bedienbarkeit und Ausrüstung, technische Dokumentation (Komponenten, elektrische Installation, Betriebsführung) in Betrachtung gezogen werden. Die WRG muss für die Messung auch geeignet sein, d.h. geringe Leckagen aufweisen. Eine Messung über einen grösseren Zeitraum ist für die Qualität der Ergebnisse vorteilhaft. Darüber hinaus ermöglicht sie die Überwachung des Anlagenbetriebs. Somit lässt sich diese Messung mit Dienstleistungen wie z.B. eine energetische Anlagenoptimierung oder eine Nachweismessung (z.B. Nachweis nach EPBD) gut koppeln.

Schliesslich wird darauf hingewiesen, dass die Verschmutzung der Lüftungsanlage nicht nur den Energieverbrauch der Anlage erhöhen sondern auch die hygienischen Bedingungen in den versorgten Räumen verschlechtern kann (i.e. „Frischluftmangel“). Bei CO₂-geregelten Anlagen werden die Ventilatoren automatisch auf einer höheren Stufe betrieben, was zu einem „ungewollten“ erhöhten Stromverbrauch führt.

Dank

Die Autoren möchten sich bei Herrn David Burkhardt und Herrn Prof. Kurt Hildebrand für die Beratung, sowie bei der Firma Gesa Umwelthygienetechnik AG für die Unterstützung bei der Objektsuche herzlich bedanken.

⁷ Z.B. durch die Bestimmung der Staubflächendichte

6. Anhang

6.1. Literaturverzeichnis

- [06-6V-10] Mattli S., Walker Th.: Semesterarbeit 06-6V-10 «Verschmutzung und Energieeffizienz bei Lüftungsanlagen», Hochschule für Technik+Architektur Luzern, 2006
- [06-DV-10] Mattli S., Walker Th.: Diplomarbeit 06-DV-10 «Einfluss von Verschmutzungsfaktoren bei Lüftungskomponenten auf die Energieeffizienz», Hochschule für Technik+Architektur Luzern, 2006
- [Belimo, Abluftklappe] Webseite:
<http://www.belimo.ch/CH/DE/Product/Actuators/ProductDetail.cfm?MatNr=L M230A&CatNr=0201010101&>, 26.02.2010
- [Belimo, Aussenluftklappe] Webseite:
<http://www.belimo.ch/CH/DE/Product/Actuators/ProductDetail.cfm?MatNr=L M230A&CatNr=0201010101&>, 26.02.2010
- [Belimo, Bypassklappe] Webseite:
<http://www.belimo.ch/CH/DE/Product/Actuators/ProductDetail.cfm?MatNr=L M24A-SR&CatNr=0201010102&>, 26.02.2010
- [EN 12599] Lüftung von Gebäuden - Prüf- und Messverfahren für die Übergabe eingebauter raumlufthechnischer Anlagen. Deutsche Fassung, 2011
- [EN 13053] DIN EN 13053: «Lüftung von Gebäuden – Zentrale raumlufthechnische Geräte – Leistungskenndaten für Geräte, Komponenten und Baueinheiten; Deutsche Fassung EN 13053:2006+A1:2011», Februar 2012
- [Haustechnik Express] Webseite: http://www.haustechnik-express.de/product_info.php?products_id=162, 26.02.2010
- [Impulsprogramm Haustechnik] Impulsprogramm Haustechnik des Bundesamtes für Konjunkturfragen, «Wärmerückgewinnung in Lüftungs- und Klimaanlage», 1987
- [JEB-L1] Burkhardt, D.: HLKK-Tools, EXCEL-Tool «JEB-L1» für Berechnung des Jahresenergiebedarfs von einfachen Lüftungsanlagen, Version 5.0, 2002
- [prEN 13141-7:2008] prEN 13141-7:2008: Lüftung von Gebäuden – Leistungsprüfungen von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen – Teil 7: Leistungsprüfung von mechanischen Zuluft- und Ablufteinheiten (einschliesslich Wärmerückgewinnung) für mechanische Lüftungsanlagen in Einfamilienhäusern; Englische Fassung, 2008
- [Recknagel] Recknagel, H, Sprenger, E., Schramek, E.-R.: «Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik». Ausgabe 05/06, Oldenbourg Industrieverlag, München, 2005
- [Seven-Air] Webseite: <http://www.seven-air.ch/index.php?id=12>, 26.02.2010
- [SIA 2024] Merkblatt SIA 2024 Merkblatt: «Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik»; Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein; Zürich, 2006

Horw, 27. Juli 2012

Seite 32/42

Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

- [SIA 2028] Merkblatt SIA 2028 Merkblatt: «Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik»; Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein; Zürich, 2010
- [SIA 2031] Merkblatt SIA 2031: «Energieausweis für Gebäude»; Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein; Zürich, 2009
- [testo] Broschüre der Fa. testo: «Klimamessung für Praktiker», 1. Auflage

6.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ablaufplan des Teilprojekts 3	7
Abbildung 2: Messanordnung für die Ermittlung des Temperaturänderungsgrades	8
Abbildung 3: Kennlinie des Temperaturänderungsgrades und Betriebspunktverschiebung durch Volumenstromänderung (qualitativ)	9
Abbildung 4: Summenhäufigkeitskurve der Aussenlufttemperatur am gewählten Standort und Angabe der Zuluftgrenztemperatur t_{fin}	10
Abbildung 5: Ermittlung der Lüftungsgradstunden G_t	11
Abbildung 6: Summenhäufigkeitskurve einer Anlage mit Betriebszeit täglich von 7 bis 19 Uhr	12
Abbildung 7: Effizienzsteigerung durch Reinigung des Wärmeübertragers	13
Abbildung 8: Messanordnung Zuluft-/Fortluftventilator	13
Abbildung 9 Darstellung der Anlagekennlinien	14
Abbildung 10: Schematische Darstellung des untersuchten Lüftungsgerätes im Grossraum Zürich	18
Abbildung 11: Messanordnung im Lüftungsgerät	18
Abbildung 12: Lüftungsgerät mit Messtechnik	19
Abbildung 13: Platzierung der Temperaturfühler, sowie des kombinierten Temperatur- und Feuchtefühlers im Abluftkanal	19
Abbildung 14: Platzierung des Messkreuzes im Fortluftkanal (Links), Details zur Befestigung des Messkreuzes im Kanal (Rechts)	20
Abbildung 15: Tagesprofil für den Betrieb der RLT-Anlage (Annahme für die Jahresberechnung)	26
Abbildung 16: Summenhäufigkeitsverteilung von Temperaturen für die Betriebsstufen 0, I und II vor der Reinigung (Quelle: [JEB-L1])	28
Abbildung 21: Schema der Netzmessung (Quelle: [testo])	39
Abbildung 22: Empirischer Zusammenhang zwischen Unregelmässigkeiten des Strömungsprofils und dem relativen	40
Abbildung 23: Unsicherheit der Messung bei annähernd drallfreier Strömung in Abhängigkeit von der Anzahl der	40
Abbildung 24: Auszug aus der Berechnungstabelle <i>Temperaturänderungsgrad vor der Reinigung</i>	41
Abbildung 25: Auszug aus der Berechnungstabelle <i>Temperaturänderungsgrad nach Reinigung, mit neuen Filtern</i>	42

Horw, 27. Juli 2012
Seite 34/42
Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

6.3. Anhang A - Herstellerdaten

Die folgenden Daten geben Aufschluss über die RLT-Anlage. Es handelt sich um Herstellerdaten bzw. Daten, welche von den jeweiligen Typenschildern der Komponenten entnommen wurden.

Kompaktgerät mit Aluminiumplatten-WRG (Quelle: [Seven-Air])

Seven-Air Typ SSG – 4,2
Baujahr 2005
Nennvolumenstrom 4'200 m³/h
(Luftvolumenstrom bei Filterbelastung von ca. 4'250 m³/h pro Normzelle 610 x 610 mm)
Luftvolumenstrom 1'710 m³/h (Luftvolumenstrom bei 2,0 m/s Anströmgeschwindigkeit auf lamellierte Stirnfläche des Lufterhitzers)
Gerätehöhe 1'360 mm
Gerätebreite 680 mm
Gerätelänge 2'660 mm

Fortluftgerät

Ventilatorteil

Typ		GXLF 025
Volumenstrom		1'600 m ³ /h
Gesamtdruck		550 Pa
Druckverlust	ext.	400 Pa
	Int.	160 Pa
Drehzahl		1'582 U/min
Leistungsbedarf		0,5 kW

Elektromotor

Fabrikat	ABB
Typ	VHU 90 L4-6 A
Drehzahl	1'415/955 U/min
Nennleistung	0,9/0,3 kW
Betriebsspannung	3 x 400 V
Nennstrom	2,4/1,2 A

Taschenfilter

Fabrikat	Unifil
Filterklasse	F6
Typ	1 x FX65-610-H
Anfangswiderstand	26 Pa
Endwiderstand	100 Pa

Klappenantrieb Abluftklappe (Quelle: [Belimo, Abluftklappe])

BELIMO Typ LM230A
Nennspannung AC 100...240 V, 50/60 Hz

Horw, 27. Juli 2012

Seite 35/42

Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

Klappenantrieb Bypassklappe (Quelle: [Belimo, Bypassklappe])

BELIMO Typ LM24A-SR

Nennspannung AC 24 V, 50/60 Hz
DC 24 V

Zuluftgerät

Ventilatorteil

Typ GXLf 025
Volumenstrom 1'600 m³/h
Gesamtdruck 706 Pa
Druckverlust ext. 400 Pa
Int. 306 Pa
Drehzahl 1'785 U/min
Leistungsbedarf 0,6 kW

Elektromotor

Fabrikat ABB
Typ VHU 90 L4-6 A
Drehzahl 1'420/950 U/min
Nennleistung 1,1/0,37 kW
Betriebsspannung 3 x 400 V
Nennstrom 2,6/1,2 A

Taschenfilter

Fabrikat Unifil
Filterklasse F6
Typ 1 x FX65-610-H
Anfangswiderstand 26 Pa
Endwiderstand 100 Pa

Erhitzerteil

Luft Eintritt 11 °C
Luft Austritt 22 °C
Leistung 5,5 kW
Wassermenge 470 l/h
Druckverlust 0,6 kPa

Kühlerteil

Luft Eintritt 32 °C
Luft Austritt 22 °C
Leistung 5,5 kW
Wassermenge 788 l/h
Druckverlust 6,8 kPa

Horw, 27. Juli 2012

Seite 36/42

Hygienestatus von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

Pumpe vom Nacherhitzer (Quelle: [Haustechnik Express])

Grundfos Typ UPS 25-50

Netzanschluss	230 V / 50 Hz
Drehzahlstufen	3
Leistungsaufnahme	35 / 45 / 50 W
Stromaufnahme	0.16 / 0.20 / 0.23 A

Klappenantrieb Aussenluftklappe (Quelle: [Belimo, Aussenluftklappe])

BELIMO Typ LM230A

Nennspannung	AC 100...240 V, 50/60 Hz
--------------	--------------------------

Horw, 27. Juli 2012
Seite 37/42
Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

6.4. Anhang B - Verwendete Sensorik

Temperaturfühler: Anzahl 16

Hersteller	Moser AG
Typ	PT100 Widerstandsthermometer
Messbereich	-100°C bis +250°C
Genauigkeit	1/5 DIN Klasse B, $\pm 1/5 * (0,30 \text{ °C} + 0,005 * t)$ in °C

Feuchte-Temperatur Sensormodul: Anzahl 3

Hersteller	Rotronic
Typ	Hygroclip S
Messbereich	rel. Feuchte: 0 bis 100 %, Temperatur: -20 °C bis +85 °C
Genauigkeit	Bei 23 °C: rel. Feuchte $\pm 2\%$, Temperatur $\pm 0,3$ K

Feuchte-Temperatur Sensormodul: Anzahl 1

Hersteller	Rotronic
Typ	Hygroclip S mit Handfühler HPH – CG20XX
Messbereich	rel. Feuchte: 0 bis 100 %, Temperatur: -20 °C bis +85 °C
Genauigkeit	Bei 23 °C: rel. Feuchte $\pm 1 \%$, Temperatur $\pm 0,3$ K

Differenzdruck-Messumformer, elektr.: Anzahl 2

Hersteller	Rosemount
Typ	3051 CD
Messbereich	0 – 750 Pa
Genauigkeit	$\pm 2 \%$ v. Messbereichsendwert

Horw, 27. Juli 2012
Seite 38/42
Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

Datenlogger: Anzahl 2

Hersteller	Agilent		
Typ	HP 34970A		
Messbereich:	Spannung	100 mV, 1 V, 10 V, 100 V, 300 V, Autorange	
	Strom	10 mA, 100 mA, 1 A, Autorange	
	Widerstand	100 Ω , 1 k Ω , 10 k Ω , 100 k Ω , 1 M Ω , 10 M Ω , 100 M Ω , Autorange	
Genauigkeit	6 ½ Stellen		

Power Analyzer (Strom- und Spannungsmessung): Anzahl 2

Hersteller	LEM Instruments		
Typ	Memobox 603		
Messbereiche	0-6 A, 0-60 A, 0-1200 A		
Genauigkeit			
Spannung	U < 1 %		
Wirkleistung	P < 1,5 %		
Blindleistung	Q und $\cos \varphi$ < 2,5 %		

Software Power Analyzer

Typ	Codam 600
Hersteller	LEM Instruments

Software zum Messen der Temperatur, Feuchte und der Wirkdruckdifferenzen

Hersteller	National Instruments
Typ	LabVIEW 8.6
Add-On	LabHLK von Matthias Häflinger

Flügelradanemometer

Hersteller	testo
Typ	4510
Messbereich	0,4 ... 40 m/s
Abweichung	± 1 % v. Endwert (m/s) – Gerät und Fühler

Horw, 27. Juli 2012

Seite 39/42

Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

6.5. Anhand C - Netzmessung zur Ermittlung des Volumenstromes

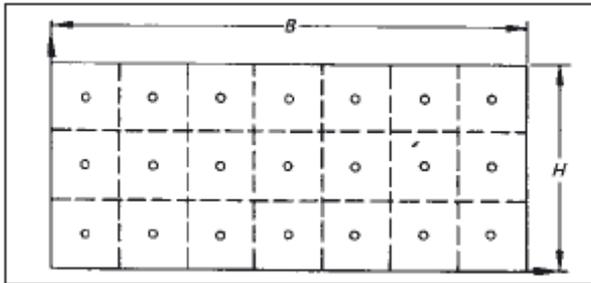


Abbildung 17: Schema der Netzmessung (Quelle: [testo])

Aus den gemessenen Werten wurde die mittlere Strömungsgeschwindigkeit \bar{v} in m/s gebildet. Für die Messung der Geschwindigkeit wurde eine Unsicherheit $u(\bar{v})$ berechnet. Dies geschieht nach einer Formel des Geräteherstellers ([testo]), welche auch in SN EN 12599 aufgeführt ist.

$$u(\bar{v}) = \pm \sqrt{\tau_u^2 + \left(\frac{\delta_H}{H} * 100\right)^2 + \left(\frac{\delta_B}{B} * 100\right)^2 + \left(\frac{\delta_v}{v} * 100\right)^2 + \left(\frac{v_E}{v} * \tau_G\right)^2} \quad (\text{Gl. 7})$$

Für die Berechnung der Unsicherheit und Ermittlung einzelner Parameter werden die folgenden Angaben benötigt:

H, B	Seitenlängen des Kanals, in mm
n	Anzahl der Messpunkte
a/D_h	relativer Abstand zur Störstelle
	a = Abstand zur Störstelle
	D_h = hydraulischer Durchmesser
\bar{v}	mittlere Strömungsgeschwindigkeit, in m/s
U	Unregelmässigkeit des Profils, in %
τ_u	Unsicherheit des Messortes, in %
τ_G	Unsicherheit des Anemometers, in % v. E.
δ_v	Unsicherheit für die Ablesung, in m/s (bei schwankender Anzeige)
v_E	Messbereich des Anemometers, in m/s
δ_H, δ_B	Unsicherheit für die Seitenlänge, in mm

Um die Unsicherheit U des Profils zu bestimmen, ist es nötig den relativen Abstand der Messstelle zur Störstelle a/D_h zu bestimmen. Abbildung 18 zeigt, je grösser dieses Verhältnis ist, umso geringer wird dadurch die Unsicherheit. In der Praxis ist der Abstand a zur Störstelle jedoch ein Problem. Laut des Herstellers wird zu stromaufwärts liegenden Störstellen ein Mindestabstand empfohlen, der dem 6-fachen hydraulischen Durchmesser D_h entspricht. Bei stromabwärts liegenden Störstellen wird ein Abstand von $2 D_h$ als ausreichend angesehen. Leider können diese Vorgaben bei Feldmessungen an realen RLT-Anlagen aus bautechnischen Gründen sehr oft nicht eingehalten werden.

Horw, 27. Juli 2012

Seite 40/42

Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

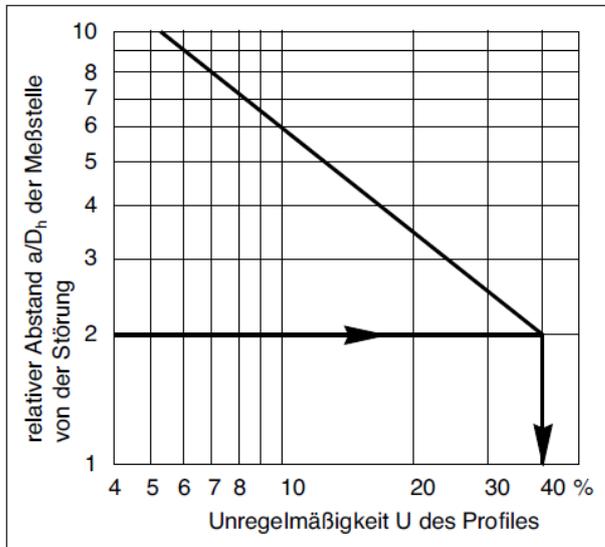


Abbildung 18: Empirischer Zusammenhang zwischen Unregelmässigkeiten des Strömungsprofils und dem relativen Abstand a/D_h von der Störstelle (Quelle: [testo])

Mit der ermittelten Unsicherheit und der Anzahl der Messpunkte n lässt sich die Unsicherheit der Messung τ_U bestimmen (Abbildung 19). Um diese auch bei einer hohen Unsicherheit des Profils gering zu halten, ist eine grössere Anzahl von Messpunkten nötig.

Anzahl der Meßpunkte	Unsicherheit der Messung τ_U in %					
	Unregelmäßigkeit des Profils U in %					
	2	10	20	30	40	50
4	6	12	20	28	36	42
5	5	11	17	24	31	36
6	5	10	15	21	27	32
8	4	8	13	18	23	27
10	3	7	12	16	20	24
20	2	5	8	11	14	16
30	2	4	7	9	11	14
50	1	3	5	7	8	10
100	1	2	3	5	6	7
200	1	1	2	3	4	5

Abbildung 19: Unsicherheit der Messung bei annähernd drallfreier Strömung in Abhängigkeit von der Anzahl der Messpunkte (Quelle: [testo])

Horw, 27. Juli 2012

Seite 41/42

Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

6.6. Anhang D – Berechnungsblätter Temperaturänderungsgrad

Datum: 10.03.2010					
Zustand: vor Reinigung, alte Filter					
	V [m3/h]	m [kg/h]	Dichte [kg/m3]	dT [K]	
Zuluft	2969	3384.66	1.14		
Fortluft	1640	1951.6	1.19		
Temp.-Erhöhung (Verdichtungs+Motorabwärme)				0.865	
	AUL Mittelwert	ABL Mittelwert	FOL Mittelwert	FOL Mittelwert Korr.	Phi_F
	°C	°C	°C	°C	
Mittelwert	1.89	20.43	9.49	8.63	0.637
Std-Abw	0.17	0.11	0.09	0.09	0.007
Min	1.47	20.17	9.25	8.38	0.631
Max	2.23	20.65	9.66	8.80	0.642
	1.99	20.59	9.54	8.67	0.64
	1.88	20.55	9.53	8.67	0.64
	1.90	20.50	9.49	8.63	0.64
	1.80	20.47	9.48	8.62	0.63
	1.63	20.44	9.42	8.55	0.63
	1.47	20.44	9.34	8.48	0.63
	1.50	20.45	9.28	8.42	0.63
	1.74	20.45	9.35	8.48	0.64
	1.87	20.45	9.42	8.56	0.64
	1.90	20.44	9.47	8.60	0.64
	1.88	20.42	9.45	8.58	0.64
	1.94	20.39	9.46	8.60	0.64
	2.09	20.36	9.53	8.66	0.64
	2.11	20.32	9.55	8.69	0.64
	2.00	20.31	9.59	8.72	0.63
	1.94	20.36	9.55	8.69	0.63
	1.95	20.59	9.56	8.69	0.64
	2.10	20.57	9.59	8.73	0.64
	2.10	20.53	9.61	8.75	0.64
	1.87	20.53	9.58	8.71	0.63
	1.91	20.59	9.57	8.71	0.64
	1.92	20.62	9.56	8.70	0.64
	1.92	20.60	9.53	8.66	0.64
	1.92	20.58	9.53	8.67	0.64
	1.86	20.52	9.52	8.66	0.64
	1.86	20.48	9.52	8.66	0.64
	1.87	20.46	9.52	8.65	0.64
	1.85	20.45	9.51	8.64	0.63
	1.80	20.42	9.44	8.58	0.64
	1.90	20.40	9.47	8.60	0.64
	1.88	20.38	9.51	8.64	0.63
	1.95	20.38	9.50	8.64	0.64
	2.12	20.37	9.55	8.69	0.64
	2.07	20.35	9.57	8.71	0.64
	2.12	20.34	9.58	8.72	0.64
	2.10	20.37	9.61	8.74	0.64
	2.12	20.39	9.62	8.75	0.64
	2.17	20.39	9.63	8.77	0.64
	2.10	20.39	9.60	8.74	0.64
	2.05	20.43	9.60	8.74	0.64
	2.14	20.46	9.61	8.75	0.64
	2.15	20.42	9.62	8.75	0.64
	1.93	20.57	9.62	8.75	0.63
	1.73	20.57	9.49	8.62	0.63
	1.58	20.52	9.39	8.53	0.63

Abbildung 20: Auszug aus der Berechnungstabelle Temperaturänderungsgrad vor der Reinigung

Horw, 27. Juli 2012

Seite 42/42

Hygienezustand von RLT-Anlagen in der Schweiz – Teilprojekt 3
Energetische Untersuchungen

Datum: 17.03.2010						
Zustand: nach Reinigung, neue Filter						
	[m ³ /h]	[kg/h]	Dichte [kg/m ³]	[K]		
Zuluft	2936	3376	1.15			
Fortluft	1788	2056	1.15			
Temp.-Erhöhung (Verdichtungs+Motorabwärme)				0.86		
17.03 nach Reinigung neue Filter						
Temp.-Erhöhung (Verdichtungs+Motorabwärme)						
	AUL Mittelwert	ABL Mittelwert	FOL Mittelwert	FOL Mittelwert Korr.	Phi_F	
	Minutenwerte °C	°C	°C	°C		
Mittelwert	2.50	20.76	10.05	9.18	0.634	
Std-Abw	0.97	0.20	0.66	0.66	0.007	
Min	0.90	20.49	8.98	8.11	0.626	
Max	4.34	21.17	11.27	10.41	0.639	
	0.90	20.59	8.98	8.11	0.63	
	1.11	20.55	9.01	8.14	0.64	
	1.07	20.51	9.05	8.19	0.63	
	1.06	20.49	9.04	8.18	0.63	
	1.11	20.66	9.24	8.37	0.63	
	1.19	20.73	9.29	8.42	0.63	
	1.31	20.69	9.21	8.34	0.64	
	1.39	20.69	9.25	8.39	0.64	
	1.34	20.69	9.30	8.43	0.63	
	1.31	20.64	9.24	8.38	0.63	
	1.51	20.60	9.29	8.42	0.64	
	1.71	20.57	9.40	8.54	0.64	
	1.60	20.57	9.43	8.57	0.63	
	1.42	20.82	9.55	8.69	0.63	
	1.30	20.81	9.41	8.54	0.63	
	1.46	20.75	9.35	8.49	0.64	
	1.46	20.73	9.37	8.50	0.63	
	1.43	20.72	9.37	8.50	0.63	
	1.54	20.69	9.38	8.52	0.64	
	1.46	20.62	9.37	8.50	0.63	
	1.34	20.58	9.31	8.45	0.63	
	1.33	20.55	9.27	8.41	0.63	
	1.45	20.53	9.31	8.45	0.63	
	1.59	20.55	9.36	8.50	0.64	
	1.87	20.74	9.62	8.75	0.64	
	2.00	20.72	9.63	8.77	0.64	
	2.11	20.69	9.69	8.83	0.64	
	1.98	20.67	9.67	8.80	0.63	
	1.88	20.65	9.65	8.78	0.63	
	1.75	20.63	9.62	8.75	0.63	
	1.58	20.63	9.54	8.67	0.63	
	1.61	20.63	9.54	8.67	0.63	
	1.54	20.63	9.50	8.64	0.63	
	1.57	20.62	9.49	8.63	0.63	
	1.76	20.61	9.53	8.66	0.63	
	1.93	20.59	9.62	8.76	0.63	
	1.77	20.57	9.58	8.72	0.63	
	1.75	20.56	9.53	8.67	0.63	
	1.80	20.55	9.56	8.69	0.63	
	1.69	20.53	9.54	8.67	0.63	
	1.84	20.51	9.54	8.67	0.63	
	2.03	20.49	9.60	8.73	0.64	
	2.00	20.59	9.70	8.83	0.63	

Abbildung 21: Auszug aus der Berechnungstabelle Temperaturänderungsgrad nach Reinigung, mit neuen Filtern

Hygienezustand von Raumluftechnischen Anlagen in der Schweiz

Unifil AG Filtertechnik,
A. Nägeli, dipl. Masch. Ing. ETH.
Leiter Entwicklung bei Unifil AG Filtertechnik

Teilprojekt 4: Beurteilung der Luftfilterqualität

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Vorgehen.....	3
3	Resultate	4
3.1	Fraktionale Wirkungsgrade von neuen Luftfiltern	4
3.2	Wirkungsgrade F6 Filter aus Anlagen	5
3.3	Wirkungsgrade F7 Filter aus Anlagen	5
3.4	Wirkungsgrade F8 Filter aus Anlagen	6
3.5	Wirkungsgrade F9 Filter aus Anlagen	6
3.6	Auswertung nach Schutzwirkung in Bezug auf Luftkeime	7
3.7	Verteilung Filterklassen auf Luftkeimverhältnisse.....	10
3.8	Auswertung nach Abklatsch-Probe	10
4	Zusammenfassung / Interpretation	11
5	Abbildungsverzeichnis	12

1 Einleitung

Im Teilprojekt 4 wurde untersucht, was für Zusammenhänge zwischen fraktionalem Filterwirkungsgraden und den mikrobiologischen Messergebnissen aus der Hygieneinspektion der RLT-Anlagen bestehen. Ziele der Untersuchungen und der Auswertung waren:

- Besteht eine gesicherte Korrelation zwischen Filterwirkungsgraden und Anlagenhygiene (Keimbelastung) bzw. Zuluftqualität?
- Was für Empfehlungen für die Wahl der Filterqualität lassen sich ableiten?

Im Schlussbericht zu TP1 sind ähnliche Analysen aus Sicht des Hygienespezialisten enthalten. Die vorliegende Auswertung ist entstanden aus der Sicht des Filterspezialisten. Die unterschiedlichen Sichtweisen haben letztlich zu denselben Erkenntnissen geführt, auch wenn im Detail Unterschiede vorhanden sind. Diese sind darauf zurückzuführen, dass in TP1 und TP4 nicht ganz identische Datenkollektive verwendet werden.

TP1 betrachtet 100 Anlagen die aus dem Gesamtkollektiv von 137 gemessenen Anlagen als repräsentativer Querschnitt (in Bezug auf Objekttyp und geografische Verteilung) ausgewählt wurden. Die Betrachtungen in TP1 beziehen sich auch auf Anlagen, für die keine Filtermessungen durchgeführt wurden sowie auf Anlagen mit zwei Filterstufen.

Der Grund liegt darin, dass die Beschaffung von Filtern aus den Anlagen zu Beginn des Projektes schlecht angelaufen ist. Aus diesem Grund liegen für viele im Schlussbericht zu TP1 enthaltenen Anlagen keine Filtermessungen vor. Für TP1 wurden deshalb alle gemessenen Anlagen genommen für die, Filtermessungen vorlagen. Hingegen beschränkt sich die Auswertung in TP4 auf Anlagen mit nur einer Filterstufe.

2 Vorgehen

Aus den untersuchten Anlagen wurde, wenn möglich, ein Filter pro Filterstufe entnommen und im Filterprüflabor der Firma Unifil AG Filtertechnik untersucht. Gemessen wurde der Filterwirkungsgrad bei unterschiedlichen Partikeldurchmessern sowie der Druckverlust bei Nennvolumenstrom 3400 m³/h (bezogen auf Standardfiltergrösse 592 mm x 592 mm Frontabmessung).

Die Messung erfolgte mit DEHS-Aerosol mit einem Partikelzähler TOPAS LAP.

Die Partikel wurden in folgende Kanäle aufgeteilt:

Kanalbreite µm	0.3 ...0.5	0.8...1.0	1.5 2.0	2.0 3.0	3.0 ... 4.0
Klassenmitte µm	0.40	0.90	1.75	2.50	3.50

Die Filterwirkungsgrade bei unterschiedlichen Partikeldurchmessern wurden mit den mikrobiologischen Resultaten aus der Hygieneinspektion der Anlagen verglichen. (s. auch TP1 Kap. 6.6)

Die Untersuchung wurde auf Filter der Filterklassen F6 und höher fokussiert. Vorfilter der Klasse G4 wurden nur ausnahmsweise untersucht, weil deren Wirkungsgrade gegenüber kleinen Partikeln sehr gering und damit schlecht messbar sind.

Aus den 137 inspizierten Anlagen (s. TP 1, §4.1.1) wurden insgesamt 70 Filter gemessen. 41 Filter stammen aus Anlagen mit nur einer Filterstufe, 29 Filter aus zweistufigen Anlagen.

3 Resultate

3.1 Fraktionale Wirkungsgrade von neuen Luftfiltern

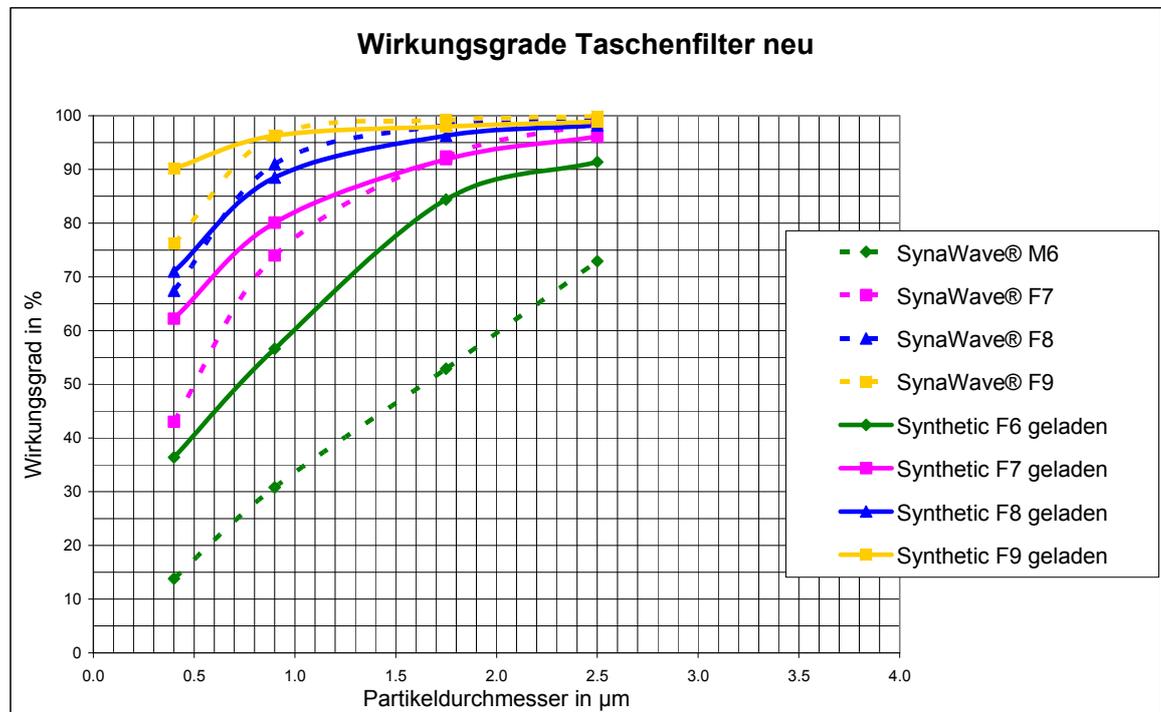


Abbildung 1 Fraktionale Wirkungsgrade von neuen Taschenfiltern

Als Vergleich zu den Filtern aus den Anlagen sind hier die fraktionalen Wirkungsgrade von neuen synthetischen Taschenfiltern dargestellt. Die Modelle des Typs SynaWave® sind nicht geladen und erfüllen die Norm FprEN779:2011. Die Filter des Typs "synthetic geladen" erfüllen die Norm EN779:2002.

Die verschiedenen Typen und Klassen stecken ein breites Feld möglicher Wirkungsgrade ab, wie sie auch an den beladenen Filtern aus den Anlagen gemessen wurden.

3.2 Wirkungsgrade F6 Filter aus Anlagen

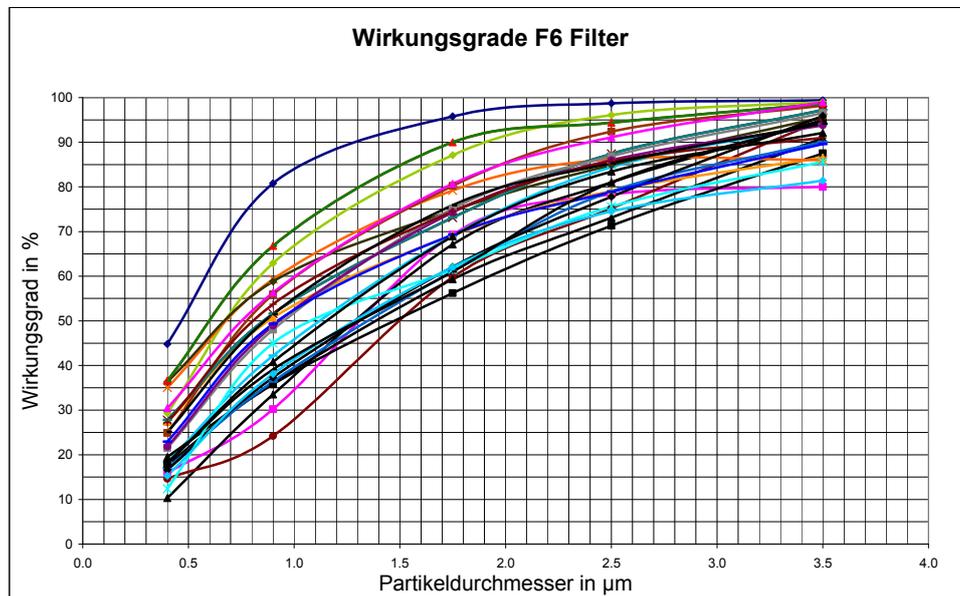


Abbildung 2 Fraktionale Wirkungsgrade F6 Filter

Die Wirkungsgrade von F6 Filtern liegen typischerweise unter 35% bei 0.4 µm. Die höheren Wirkungsgrade sind an stark beladenen Filtern, die am Ende ihrer Lebensdauer stehen, gemessen worden.

3.3 Wirkungsgrade F7 Filter aus Anlagen

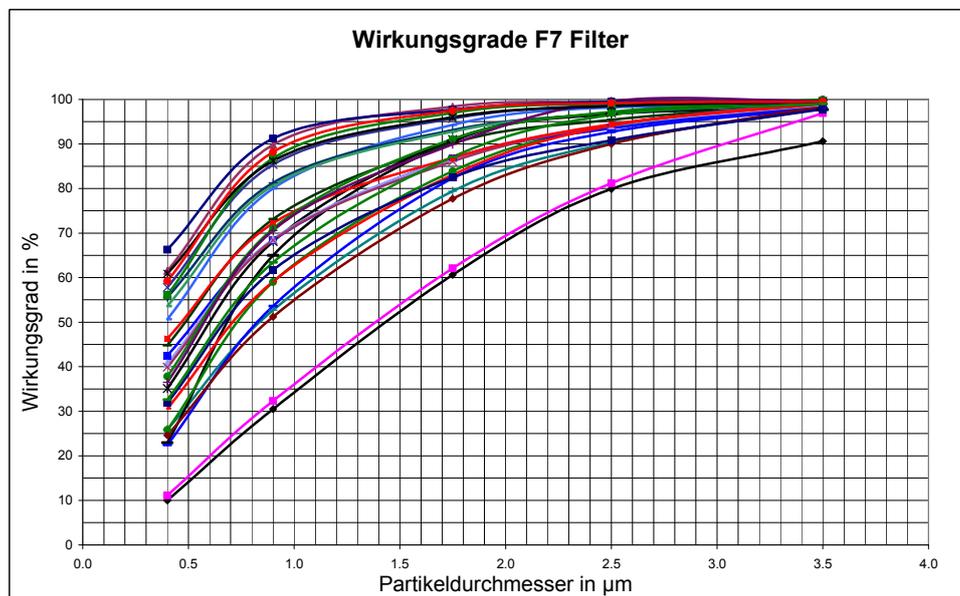


Abbildung 3 Fraktionale Wirkungsgrade F7 Filter

Die Wirkungsgrade für 0.4 µm der F7 Filter liegen typisch im Bereich 25 bis 60%. Die beiden Filter mit 10% Wirkungsgrad sind Synthetic-Filter welche durch Entladung stark an Wirkungsgrad eingebüsst haben.

3.4 Wirkungsgrade F8 Filter aus Anlagen

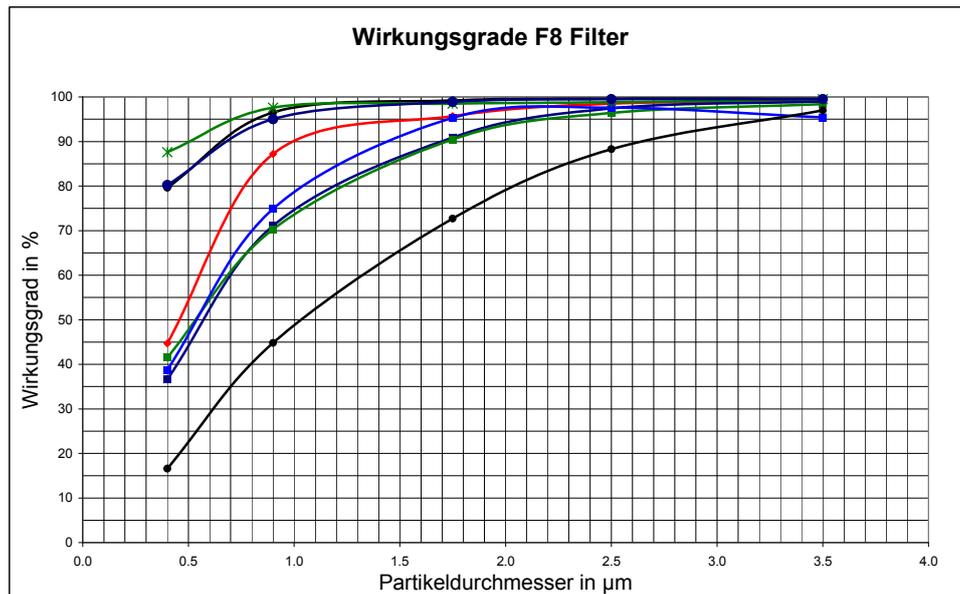


Abbildung 4 Fraktionale Wirkungsgrade F8 Filter

Die Wirkungsgrade für 0.4 µm von F8 Filtern liegen typisch im Bereich 35 bis 45%. Ein Filter hat stark an Wirkungsgrad verloren. Die Filter mit höheren Wirkungsgraden sind bereits relativ stark beladen und haben dadurch an Wirkungsgrad gewonnen.

3.5 Wirkungsgrade F9 Filter aus Anlagen

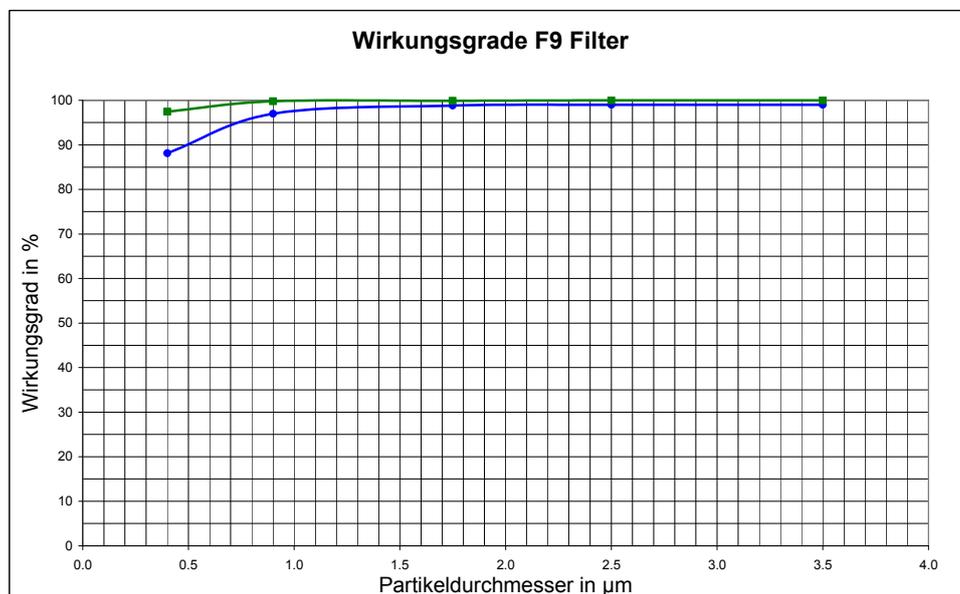


Abbildung 5 Fraktionale Wirkungsgrade F9 Filter

Es wurden nur zwei F9 Filter gemessen. Beides sind Kassettensfilter mit Mikroglassmedium. Die Wirkungsgrade sind durch die Beladung angestiegen. Die Wirkungsgrade neuer Filter dieser Bauart liegt bei 70 - 80% bei 0.4 µm Partikeldurchmesser.

3.6 Auswertung nach Schutzwirkung in Bezug auf Luftkeime

Anders als in TP 1 bezeichnen wir als Luftkeimverhältnis (LKV), das Verhältnis der Anzahl Keime in der Vergleichsluft (i.d.R. Aussenluft) zu Anzahl Keimen in der Zuluft.

Die Auswertung wurde nur für Anlagen mit einstufiger Filtrierung durchgeführt. Für Anlagen mit zweistufiger Filtration kann der Zusammenhang Luftkeimverhältnis zum Wirkungsgrad eines Filters nicht hergestellt werden. Die beiden Filterstufen wirken als Ganzes auf das Luftkeimverhältnis zwischen Aussenluft und Zuluft. Insgesamt konnten dafür 38 Filtermessungen verwendet werden.

Für die Filterbewertung wurden die mikrobiologischen Laborergebnisse folgendermassen bereinigt wenn keine konkreten Zahlenwerte vorlagen: anstelle $GKE_{ZUL} < 4$ wurde der Wert 2, anstelle $GKE = 0$ der Wert 1 zur Berechnung des Luftkeimverhältnisses eingesetzt¹.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass alle Anlagen die Mindestanforderung $KBE_{Zuluft} \leq KBE_{Aussenluft}$ bezogen auf die Gesamtkeimzahl erfüllen. Für die weitere Interpretation der Werte wurde eine Einteilung in Luftkeimverhältnisklassen < 10 , $10 - 100$ und > 100 getroffen. Diese Einteilung ist vom Autor gewählt und nicht auf Anforderungen von Normen, Richtlinien oder Gesetzen gestützt.

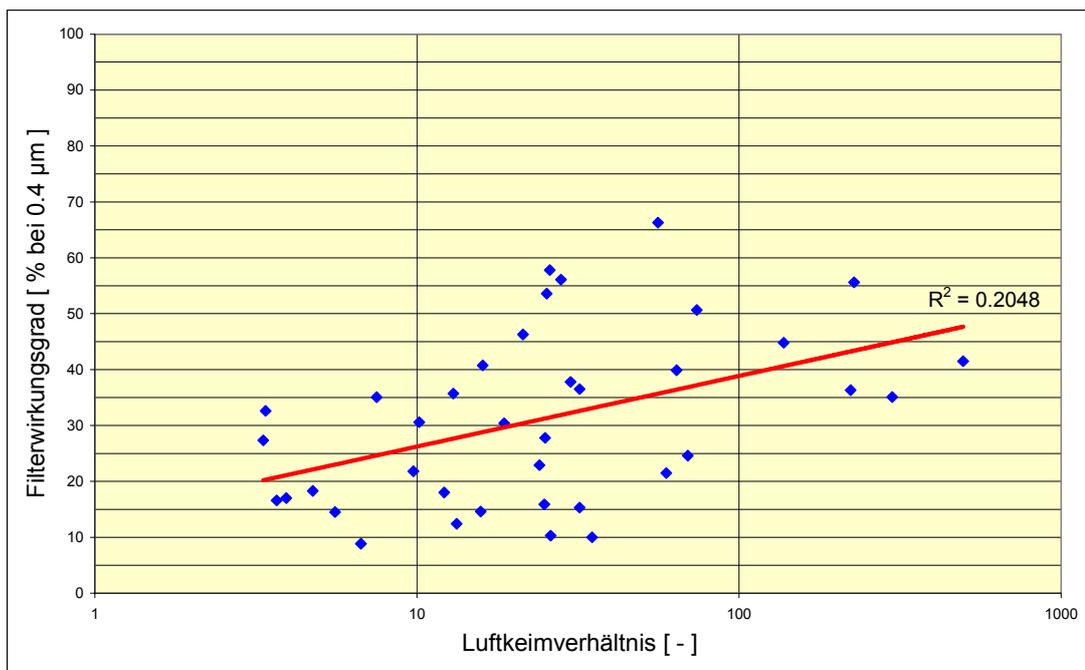


Abbildung 6 Filterwirkungsgrad 0.4 µm vs. Luftkeimverhältnis

Die Darstellung zeigt die gemessenen Wirkungsgrade bei 0.4 µm über den ermittelten Luftkeimverhältnissen (bezogen auf die Gesamtkeimzahl). Die Regressionsanalyse zeigt, dass zu über 99% ein Zusammenhang zwischen den beiden Grössen besteht.

Erläuterung zur Regressionsanalyse:

Angewandt wurde der t-Test zur Prüfung des Korrelationskoeffizienten. Bei 38 Datenpaaren bedeutet $r^2=0.11$, dass zu 95%, $r^2=0.17$ dass zu 99% ein Zusammenhang besteht. Dies bedeutet nicht, dass dieser Zusammenhang der Regressionsgeraden entspricht.

¹ GKE: Gesamtkeimzahl (Summe Bakterien und Schimmelpilze)

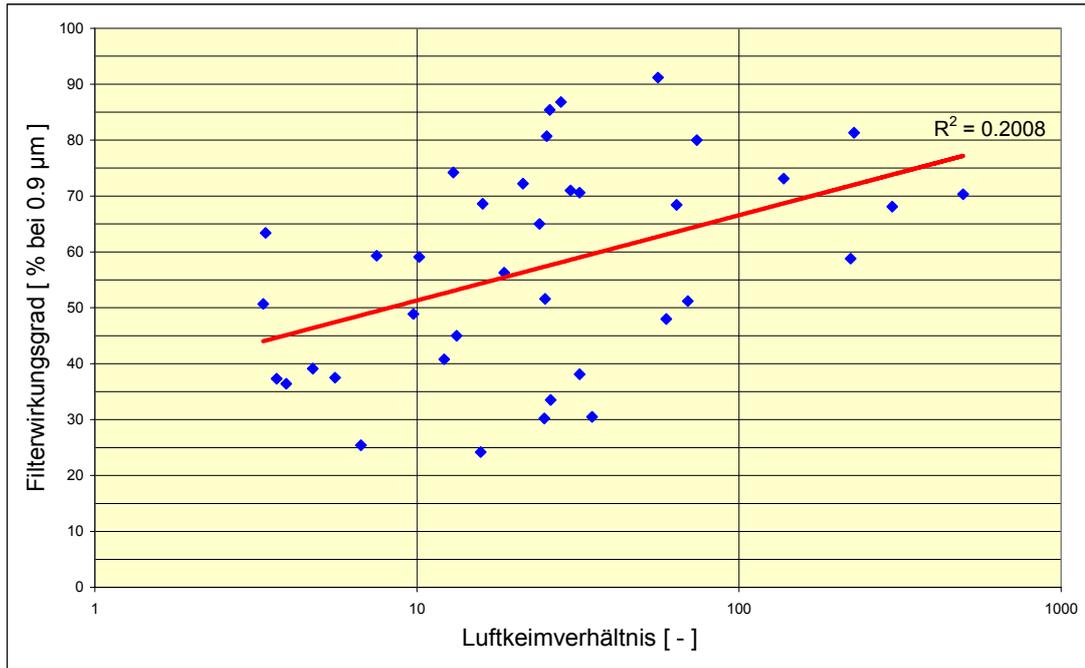


Abbildung 7 Filterwirkungsgrad 0.9 µm vs. Luftkeimverhältnis

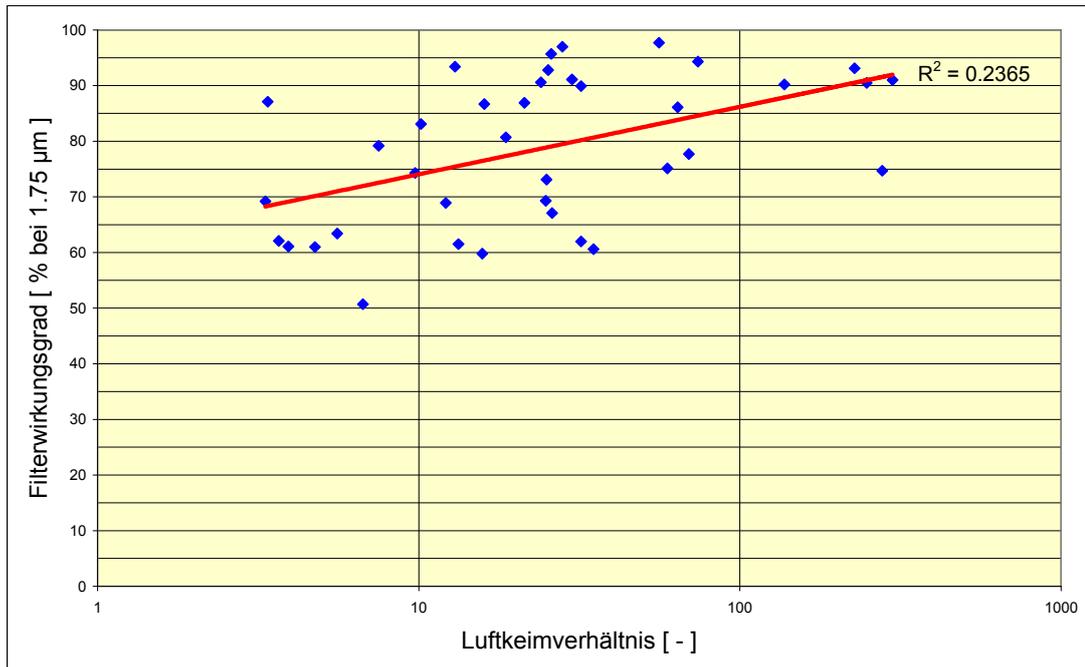


Abbildung 8 Filterwirkungsgrad 1.75 µm vs. Luftkeimverhältnis

Die Darstellung zeigt die gemessenen Wirkungsgrade bei 1.75 µm über den ermittelten Luftkeimverhältnissen, bezogen auf die Gesamtkeimzahl, aufgetragen. Die Regressionsanalyse zeigt, dass zu über 99% ein Zusammenhang zwischen den beiden Grössen besteht. Die Korrelation ist stärker als beim Vergleich mit den 0.4 µm Wirkungsgraden.

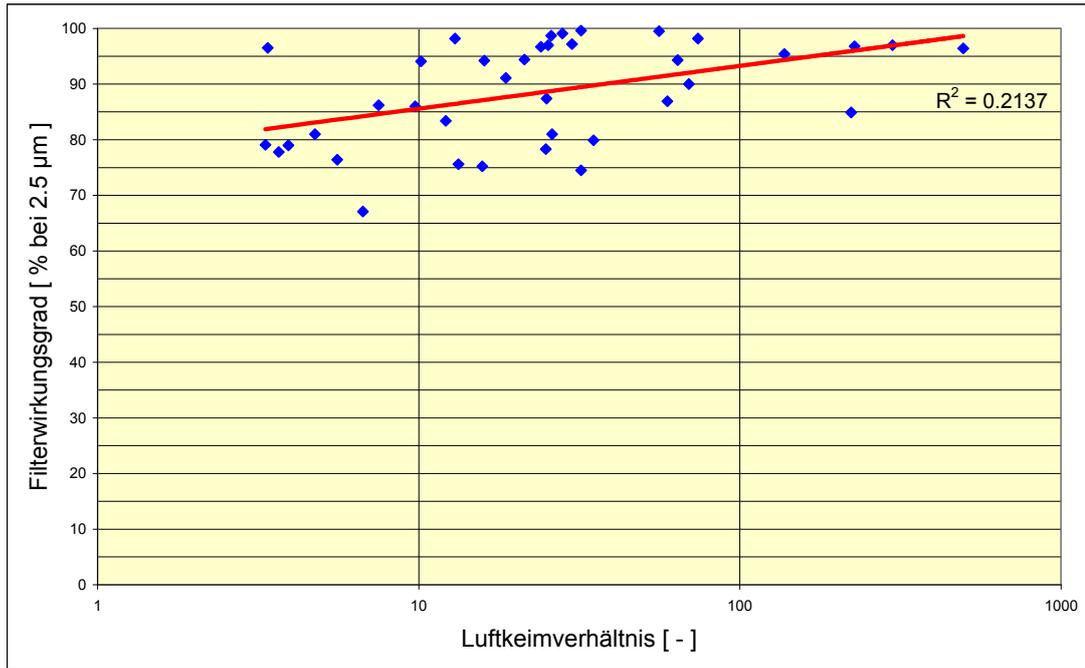


Abbildung 9 Filterwirkungsgrad 2.5 µm vs. Luftkeimverhältnis

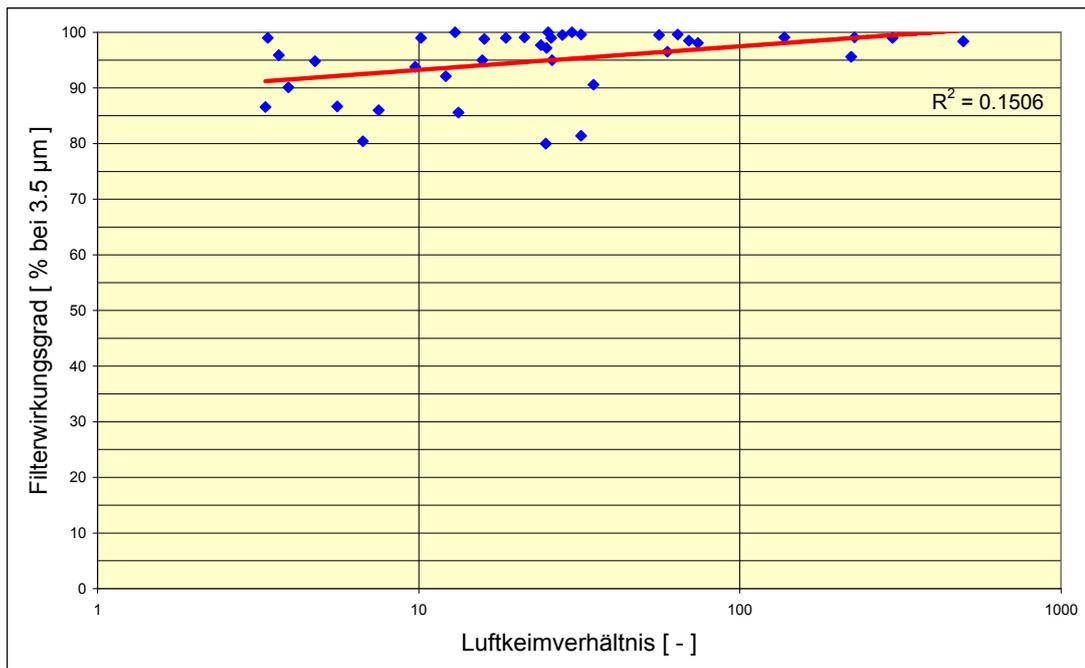


Abbildung 10 Filterwirkungsgrad 3.5 µm vs. Luftkeimverhältnis

Die Regressionsanalyse ergibt, dass zu über 98% ein Zusammenhang zwischen den beiden Grössen besteht. Die Korrelation ist schwächer als beim Vergleich mit den Wirkungsgraden bei 0.4, 0.9, 1.75 und 2.5 µm. Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, dass die Wirkungsgradmessungen bei 3.5 µm Partikeldurchmesser weniger genau sind, weil hier zu wenig Partikel für eine statistisch gesicherte Messung vorhanden waren.

Eine getrennte Auswertung Filterwirkungsgrad zu Luftkeimverhältnis für Bakterien und Schimmel wurde ebenfalls vorgenommen. Diese korreliert jedoch wesentlich schlechter als in Bezug auf die Gesamtkeimzahlen. Auf die Darstellung im Bericht wird deshalb verzichtet.

3.7 Verteilung Filterklassen auf Luftkeimverhältnisse

Filterklasse	LKV <10	LKV 10-100	LKV >100
F6	8 / 44%	9 / 50%	1 / 6%
F7	1 / 5%	15 / 79%	3 / 16%

Filter der Klassen F8 und F9 kommen in dieser Auswertung nicht vor, da hier nur Anlagen mit einstufiger Filtrierung ausgewertet werden konnten.

Es zeigt sich, dass F7 Filter in zu 955 ein LKV > 10 ergeben.

3.8 Auswertung nach Abklatsch-Probe

Der Zusammenhang zwischen Filterklassen, Filterwirkungsgraden und den Resultaten der Abklatschproben ist in TP1 ermittelt und dargestellt worden. Wir verweisen hier auf die entsprechenden Darstellungen und Kommentare in TP1.

4 Zusammenfassung / Interpretation

Es besteht ein zu über 99% gesicherter Zusammenhang zwischen Filterwirkungsgrad und Luftkeimverhältnis. Das Bestimmtheitsmass für die Korrelation zwischen Filterwirkungsgrad und LKV ist am grössten für die Wirkungsgrade bei 1.75 bzw. 2.5 μm . Aus hygienischer Sicht scheint eine Filterklassierung aufgrund von Wirkungsgraden um 2 μm angemessener als die heutige Klassierung basierend auf Wirkungsgraden bei 0.4 μm Partikeldurchmesser.

Im Vergleich zum gemessenen Wirkungsgrad bei 2.5 μm Partikelgrösse sind die Luftkeimverhältnisse im Mittel jedoch um Faktor 3.9 zu hoch. Neben den Luftfiltern gibt es also andere Faktoren die zur Entfernung oder Abtötung von Keimen in der Zuluft führen.

Die Luftkeimproben in der Vergleichsluft wurden nicht gleichzeitig mit den Luftkeimproben in der Zuluft entnommen. Dies bedeutet, dass die so ermittelten LKV im Einzelnen erheblich vom tatsächlichen Wert abweichen können. Zusätzlich sind auch die ermittelten Wirkungsgrade mit einer gewissen Unsicherheit belastet. Dies erklärt zumindest teilweise die grosse Streuung der ermittelten LKV.

Sämtliche Anlagen deren Filter Wirkungsgrade grösser 35% bei 0.4 μm aufweisen haben Luftkeimverhältnisse >10 oder >100 erzielt. Dies stützt die Festlegungen die in der SWKI Richtlinie VA101-01 und der Feinstaubfilternorm FprEN779:2011 bezüglich dem Mindestwirkungsgrad von F7 Filtern getroffen wurden.

Die Verteilung der Filterklassen auf die Luftkeimverhältnisse zeigt, dass mit F7 Filtern im Normalfall ein Luftkeimverhältnis >10 erreicht wird. Der Einsatz von Filtern mit höheren Wirkungsgraden als für F7 nach FprEN779:2011 gefordert ergibt jedoch nicht zwingend Luftkeimverhältnisse >100 .

Aus Sicht des Filterexperten empfiehlt sich aus hygienischen und energetischen Überlegungen der Einsatz von F7 Filtern nach FprEN779:2011 mit einem Mindestwirkungsgrad von 35% bei 0.4 μm als einzige oder als zweite Filterstufe. Der Einsatz von höherwertigen Filtern erscheint aus hygienischer Sicht nicht notwendig, kann aber sinnvoll sein wenn erhöhte Belastungen in der Aussenluft vorliegen, oder spezielle Anforderungen bezüglich Feinstaubgehalt oder Keimfreiheit der Zuluft bestehen.

Die Wirkungsgrad-Messungen zeigen, dass eine grosse Streuung der Wirkungsgrade innerhalb einer Filterklasse vorhanden ist. Dies hat mit der Festlegung der Filterklassen in der EN779:2002 zu tun, welche einen mittleren Wirkungsgrad während einer Beladung mit künstlichem Prüfstaub fordert. Dies lässt einen gewissen Spielraum bei der Wahl der eingesetzten Filtermedien. Mit der kommenden Prüfnorm FprEN779:2011 wird dieser Spielraum eingeschränkt durch die Festlegung von Mindestwirkungsgraden, auch in entladenen Zustand, für die Filterklassen F7 bis F9.

Eine weitere Ursache für die starke Streuung ist der Beladungszustand der Filter. Durch Einfluss von Feuchte und Russpartikel nehmen die Wirkungsgrade von geladenen synthetischen Filtermedien ab. Andererseits steigt der Wirkungsgrad normalerweise durch Einlagerung von Staubpartikeln im Filtermedium. Die an gebrauchten Filtern gemessenen Wirkungsgrade weichen dadurch von den Wirkungsgraden im Neuzustand ab. Es wurden jedoch in vielen Fällen höhere Wirkungsgrade festgestellt, als dem Mindestwirkungsgrad von neuen, entladenen Filtern entspräche.

5 **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1 Fraktionale Wirkungsgrade von neuen Taschenfiltern	4
Abbildung 2 Fraktionale Wirkungsgrade F6 Filter	5
Abbildung 3 Fraktionale Wirkungsgrade F7 Filter	5
Abbildung 4 Fraktionale Wirkungsgrade F8 Filter	6
Abbildung 5 Fraktionale Wirkungsgrade F9 Filter	6
Abbildung 6 Filterwirkungsgrad 0.4 μm vs. Luftkeimverhältnis	7
Abbildung 7 Filterwirkungsgrad 0.9 μm vs. Luftkeimverhältnis	8
Abbildung 8 Filterwirkungsgrad 1.75 μm vs. Luftkeimverhältnis	8
Abbildung 9 Filterwirkungsgrad 2.5 μm vs. Luftkeimverhältnis	9
Abbildung 10 Filterwirkungsgrad 3.5 μm vs. Luftkeimverhältnis	9