

Bericht zur Wirksamkeit vom Luftreinigungssystem LUM 900 bei der Anwendung in einem Muster-Patientenzimmer für die Intensivpflege

Autor: Rüdiger Külpmann, Hochschule Luzern, Technik & Architektur
 Email: ruediger.kuelpmann@hslu.ch; Horw, August 2016

Aufgabenstellung

Für das Luzerner Kantonsspital (LUKS) sollen in einem Neubau mehrere Zimmer mit erhöhten Anforderungen an die Lufthygiene und thermische Behaglichkeit errichtet werden. Aufgrund der Projektvorgaben, geltenden Richtlinien und baulichen Gegebenheiten hat die Fa. S-LEIT swissengineering AG, Beckenried das Luftreinigungssystem LUM 900 entwickelt. Es enthält ein mehrstufiges Verfahren zur Raumluftreinigung. Zusammen mit einem Aussenluftanteil kann das Gerät den Raum ganzjährig heizen, kühlen, lüften und eine gewünschte Druckhaltung vornehmen. Die optimierte Zuluft- und Abluftfassung ergibt ein vollständiges Raumklimatisierungssystem. Die Möglichkeit zur Feuchteänderung im Raum ist über den zentral aufzubereitenden Aussenluftanteil vorzunehmen. Zur Überprüfung der Luftreinigungsleistung und thermischen Behaglichkeit des Systems wurden von der Hochschule Luzern T&A, Abteilung Gebäudetechnik Versuchsreihen mittels Probandenbefragungen in einem Musterraum durchgeführt. Der Bericht gibt Auskunft über die projektspezifischen Angaben, das Versuchskonzept und die Versuchsergebnisse.

Projektvorgaben

| | |
|-------------------------------------|--|
| Raumklima: | Wi +22°C, So +26°C, 30 – 60%r.F |
| Raumschalldruckpegel: | Tag/Nacht < 30 dB (A) |
| Geruchsreduktion: | Personenschutz |
| Betrieb: | 24 h / 365 d/a |
| Pollen-, Viren- u. Bakterienchutz: | Endständige H14 Filtrierung |
| Raumdruck: | Überströmung zu Gang/Ausguss |
| Nominale Luftwechselzahl: | 12 h ⁻¹ (= ZUL-Strom/Raumvolumen) |
| Installationsraum Zwischendecke: | Maximale Installationshöhe: 610 cm. |
| Für Lüftung belegbare Deckenfläche: | ca. 30 % der Deckenfläche |

| | Raum Volumen (m ³) | max. interne Wärmelast (kW) | ZUL-Strom (m ³ /h) | davon AUL-Strom (m ³ /h) |
|---------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| Isolierzimmer | 75 | 3 | 900 | 200 |
| 2er-Zimmer | 132 | 5 | 1580 | 400 |
| 4er-Zimmer | 225,5 | 9 | 2700 | 800 |

Tab.1: Raumtypen, Wärmelasten und erforderliche Luftströme

Konstruktive Lösung und Hauptmerkmale

Die Fa. S-LEIT swissengineering AG, Beckenried, hat ein Lüftungsgerät zur Zwischendeckeninstallation entwickelt. Bild 1 zeigt eine schematische Darstellung vom Musterraum mit dem Prüfling. Oberhalb einer Patientenkoje befindet sich ein Modul zur

Raumlüftung mit minimalem Aussenluftstrom und gereinigter Umluft mit dem patentierten Konzept „Leitfähige Luft®“. Nach Herstellerangaben (siehe auch Produktbeschreibung /1/) ist das System mit sieben Abscheide- und Behandlungsstufen ausgestattet. Es saugt zunächst über dem Kopfteil des Patientenbettes Raumlüftung über einen Flusen- und F7-Filter (siehe Bild 1, 1 und 2) an. Sie wird dann mit Luft-Grossionen beaufschlagt (3) und die Konzentration der Ladungen geregelt. Danach werden die luftgetragenen und an einem TiO₂ beschichteten Katalysator anhaftende Partikel mittels UVC-Strahlen photokatalytisch zersetzt und biologisch unwirksam gemacht (4, 5). Nach dem Luftkühler/-erwärmer und Ventilator (Bild 1, ohne Nr.) strömt die Zuluft über einen Filter H13 (6) und über eine Kleinionenstufe (7) in den Raum. Der Zuluftdurchlass ist so konzipiert, dass einerseits eine Mischströmung im Raum erfolgen kann, andererseits eine erhöhte Zuluftströmung in Deckennähe hin zum Einlass erfolgt, um die Abwärme von den nahe am Patientenbett stehenden Wärmequellen direkt zum Abluftdurchlass zu führen.

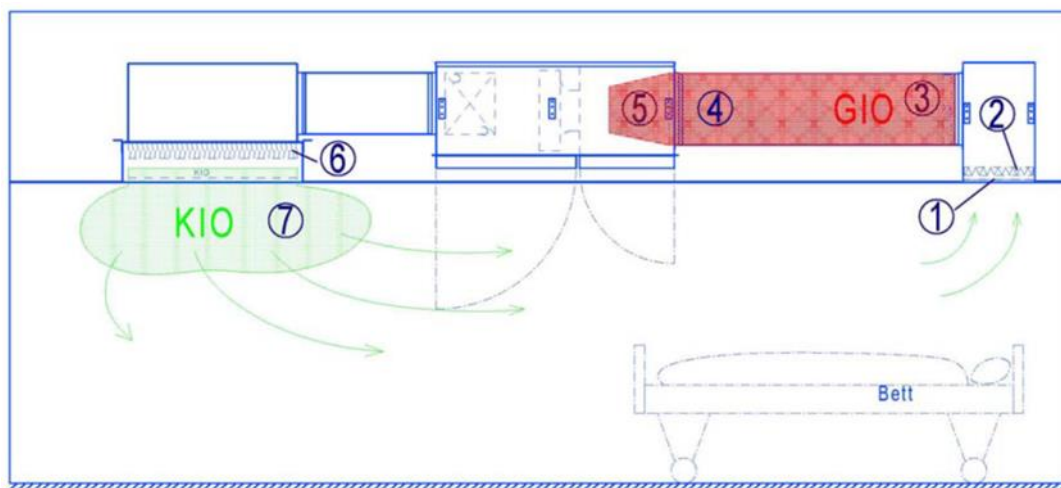


Bild 1: Schnitt vom Musterraum mit dem in der Zwischendecke eingebauten Lüftungsgert LUM 900. Erläuterungen siehe Produktbeschreibung /1/

Feststellung der Luftreinigungswirksamkeit

Versuchsmethode

Das als Musterraum original nachgebildete Intensivpflegezimmer hat ein Raumvolumen von ca. 75 m³. Bei den Versuchen sollte primär die Luftreinigungsleistung festgestellt werden. Als thermische Raumlast war daher lediglich die Raumbeleuchtung mit ca. 500 W permanent eingeschaltet. Das Lüftungssystem LUM900 wurde bei Auslegungsbedingungen erprobt: 900 m³/h Zuluftstrom, davon ca. 200 m³/h Aussenluftstrom.

Mittels einer Probandenbefragung /2/ wurde die Akzeptanz und empfundene Intensität der Luftqualität im Musterraum zu verschiedenen Zeitpunkten ermittelt während der Raum nach Aufgabe einer Geruchsbelastung durch das LUM900 gelüftet wurde. Als Raumlast dienten Geruchsproben, die von Intensivpflegestationen des LUKS stammten und aus Fäkalien, Erbrochenem und Wundsekreten bestanden.

Die Probandenbefragung entsprach weitgehend den Anforderungen nach DIN ISO 16000-30 /3/ und VDI 4302-2 /4/. Insgesamt wurden drei Versuche durchgeführt an der 28 Probanden teilnahmen. Die Probanden waren ungeschulte Personen im Alter von

20 – 69 Jahre, 9 weibliche und 19 männliche. Vor ihrer Teilnahme an der Geruchsbewertung wurden sie einem Eignungstest hinsichtlich ihres Geruchsempfindens unterzogen, indem sie drei typische und sehr unterschiedliche Geruchsproben bestimmen sollten. Der Aufenthaltsraum für die Probanden befand sich neben dem Musterraum. Er hatte etwa die gleichen thermischen Konditionen wie die des Musterraumes (siehe Tabelle 1) und war mittels Fenster- und Türöffnung gut mit Aussenluft zu lüften und hatte keine Geruchsbelastung. Jede Begehung des Musterraumes dauerte weniger als eine Minute. Sofort nach der Begehung sollte jeder Proband seine Befragungsunterlage ausfüllen bevor er wieder mit anderen Probanden redete.

| | Musterraum | Warteraum |
|--------------------|------------|-----------|
| Lufttemperatur °C | 18-20 | 17 – 18 |
| rel. Luftfeuchte % | 40-50 | 50-60 |
| CO2-Gehalt ppm | 450-650 | 500-800 |

Tab. 1: Konditionen im Musterraum und Warteraum

| Schritt | Zeit (min) | Betrieb LUM 900 | Merkmal |
|---------|------------|-----------------|--|
| 1 | -10 | AUS | Ohne Raumlast, Raum vor Begehung ca. 30 min gelüftet Erste Begehung und Bewertung |
| 2 | -10 -0 | AUS | Aufprägung Geruchsbelastung Verwirbelung mittels Ventilator |
| 3 | 0 | AUS | Zweite Begehung und Bewertung |
| 4 | 12 | EIN | Dritte Begehung und Bewertung |
| 5 | 22 | EIN | Vierte Begehung und Bewertung |
| 6 | 32 | EIN | Fünfte Begehung und Bewertung |
| 7 | 42 | EIN | Sechste Begehung und Bewertung |

Tab. 2: Versuchsablauf bei der Probandenbefragung

Ergebnisse

In den nachfolgenden Darstellungen sind die zeitlichen Bewertungen durch die Probanden dargestellt. Die drei unterschiedlichen Punkte markieren die mittleren Voten der Probanden bei dem dreimal unverändert durchgeführten Versuch. Die senkrechten Begrenzungslinien entsprechen den Standardabweichungen der mittleren Voten. Im Einzelnen zeigen die Darstellungen:

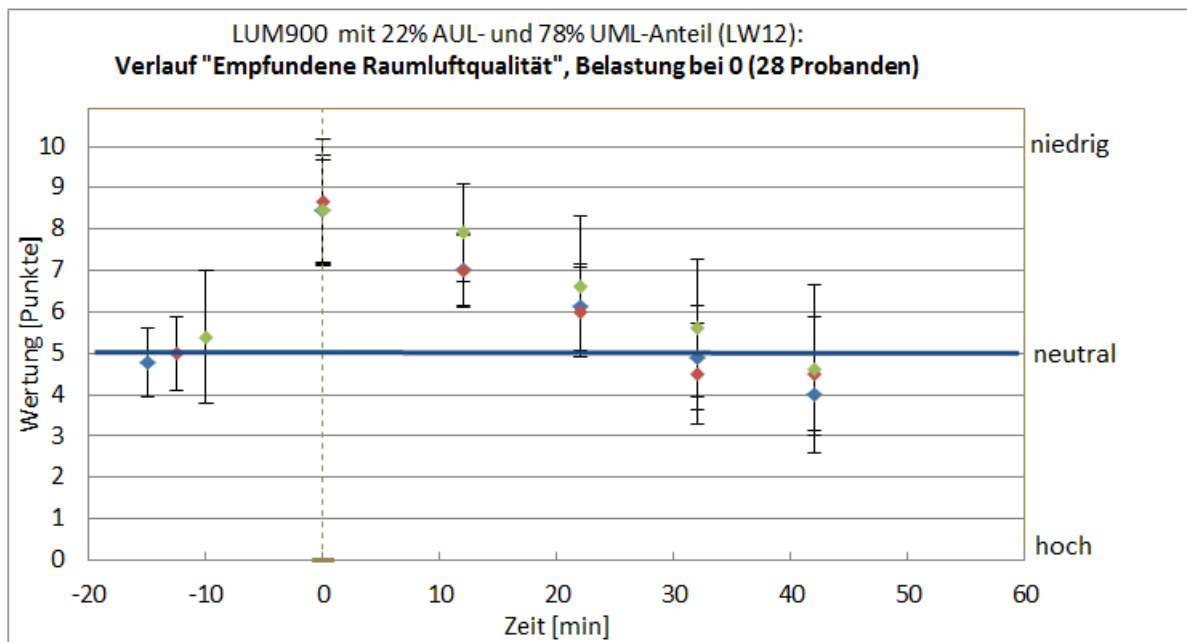


Bild 2: LUM900: Ergebnisse zur empfundenen Raumlufthqualität: niedrig-hoch

Der Anfangswert der empfundenen Raumlufthqualität (= Niveau der blauen Linie) wird nach ca. 32 min. wieder erreicht.

Zum Vergleich:

Da das Geruchsempfinden vom Menschen bis heute messtechnisch nicht repräsentativ bestimmbar ist wurde als Vergleichskenngrösse die sogenannte Erholzeit berechnet. Sie gibt an, in welcher Zeit eine anfängliche Verunreinigungskonzentration auf ein bestimmtes Mass verdünnt ist, wenn mit einer idealen Mischlüftung keine neue Belastung eingebracht und mit geruchsfreier Luft gelüftet werden. Die Erholzeit (t) wurde aus der nachfolgenden Gleichung ermittelt und ist in der Grundform z.B. in SIA 382-1 /5/ zu finden. Die Erholzeit wird vielfach als Vergleichsgrösse zur Bewertung der Idealität eines Mischlüftungsystems beim Abbau von Partikeln herangezogen.

$$C_{RAL,t} = C_{RAL,0} * e^{(-q_{ZUL} / V_R * t)}$$

mit:

- $C_{RAL,t}$: Konzentration im Raum zur Zeit t
- $C_{RAL,0}$: Konzentration im Raum zur Zeit t = 0
- q_{ZUL} : Zuluftstrom
- V_R : Raumvolumen
- t : Zeit

Quelle der Grund-Formel: SIA 382-1 (2014), Seite 44

Auf den Versuch bezogen beträgt die Erholzeit (t) bei 12 fachen Luftwechsel (q_{ZUL}/V_R) von anfänglich 100% Last ($C_{RAL,0}$) bis zum Erreichen von 1% ($C_{RAL,t}$): 23 Minuten und

bis zum Erreichen von 0.1%: 35 Minuten. Es ist unbekannt, in welchem Verhältnis die anfängliche Geruchskonzentration für die Probanden zur Konzentration nach Lastausbringung bestand. Es ist aber anzunehmen, dass sie im Bereich von 1 bis 0,1 % liegt. Insofern zeigt der Vergleich in Bild 2 zur empfundenen Raumluftqualität, dass das Lüftungssystem sehr effizient arbeitet: obwohl es mit einem Umluftanteil von $700/900 = 78\%$ arbeitet erreicht es praktisch ideale Mischlüftungswirkung mit 100% geruchsfreier Aussenluft bei 12-fachen Luftwechsel.

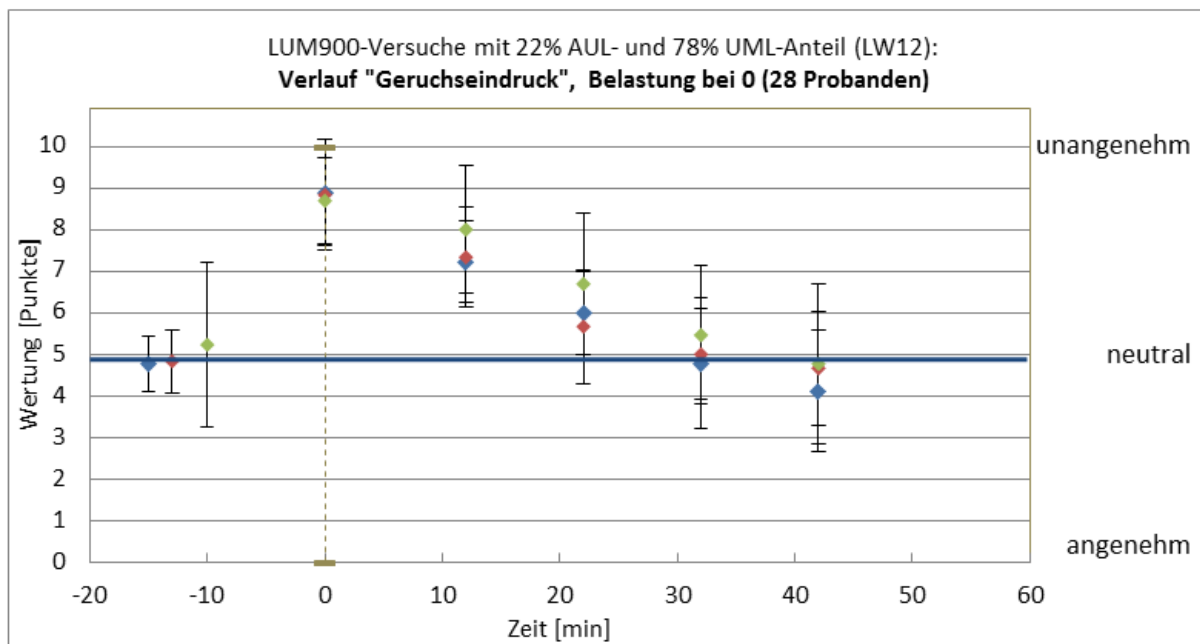


Bild 3: LUM900: Ergebnisse zum Geruchseindruck: unangenehm-angenehm

Der neutrale Anfangs-Geruchseindruck (siehe blaue Linie) wird nach ca. 32 min wieder erreicht und dann eher noch als sich weiter verbessernd votiert.

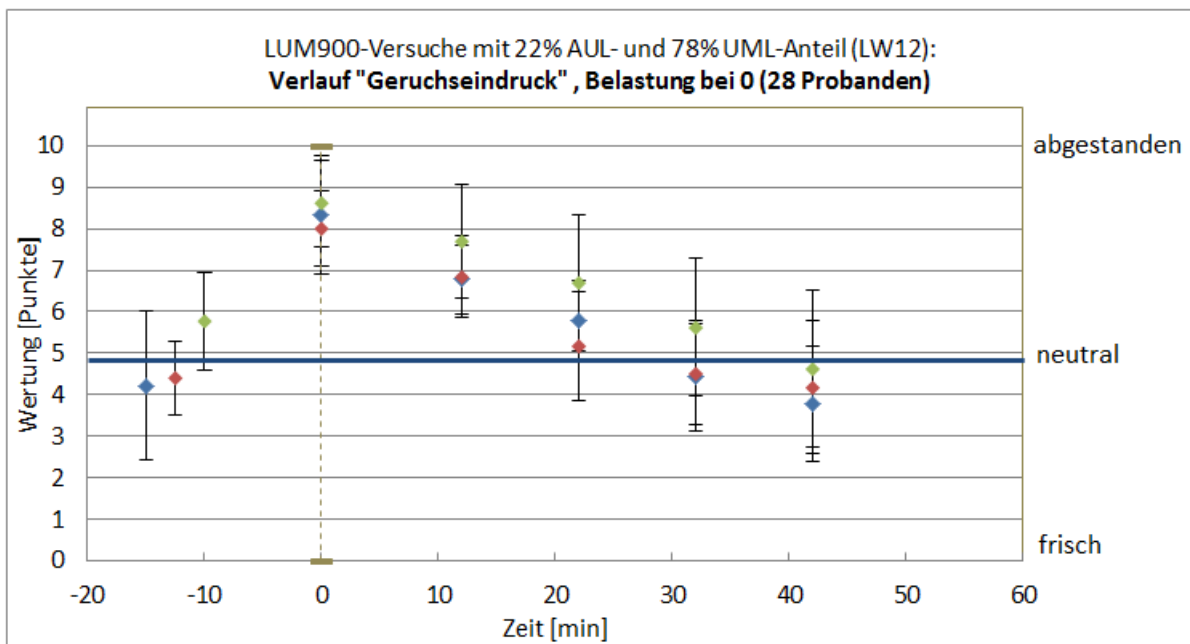


Bild 4: LUM900: Ergebnisse zum Geruchseindruck: abgestanden-frisch

Der neutrale Anfangs-Geruchseindruck wird nach ca. 32 min wieder erreicht und dann eher als sich weiter verbessernd votiert.

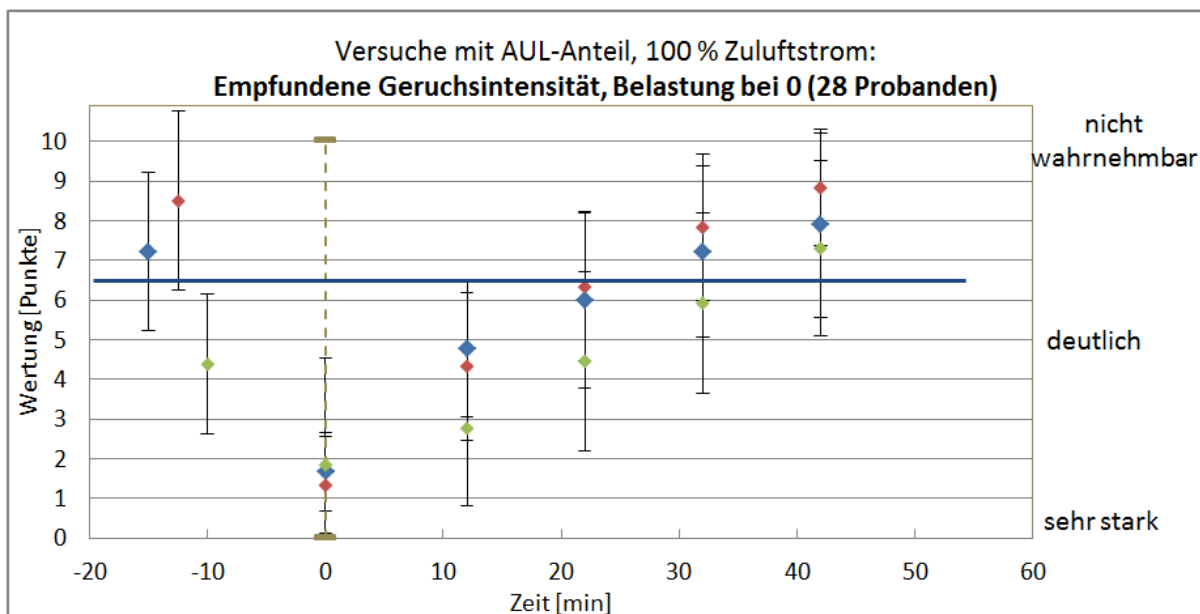


Bild 5: LUM900: Ergebnisse zur empfundenen Geruchsintensität:
 nicht wahrnehmbar- sehr stark

Die Anfangs-Geruchsintensität wird nach ca. 32 min wieder erreicht und dann eher als sich weiter verbessernd gewertet. Bei dieser Frage sind die Standardabweichungen bei den Wertungen deutlich grösser als bei anderen Fragestellungen.

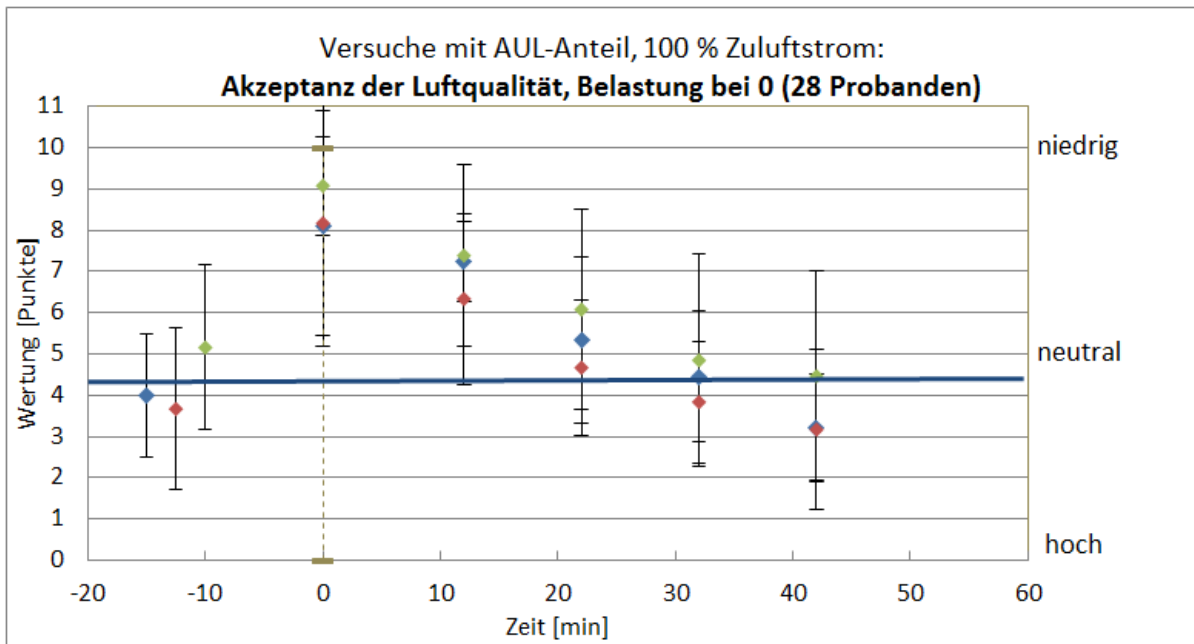


Bild 6: LUM900: Ergebnisse zur Akzeptanz der Luftqualität: niedrig - hoch

Die Akzeptanz der Luftqualität vom Anfang wird nach ca. 32 min wieder erreicht und dann als sich weiter verbessernd bewertet. Auch bei dieser Frage sind die Wertungen mit grösseren Standardabweichungen als bei anderen Fragen.

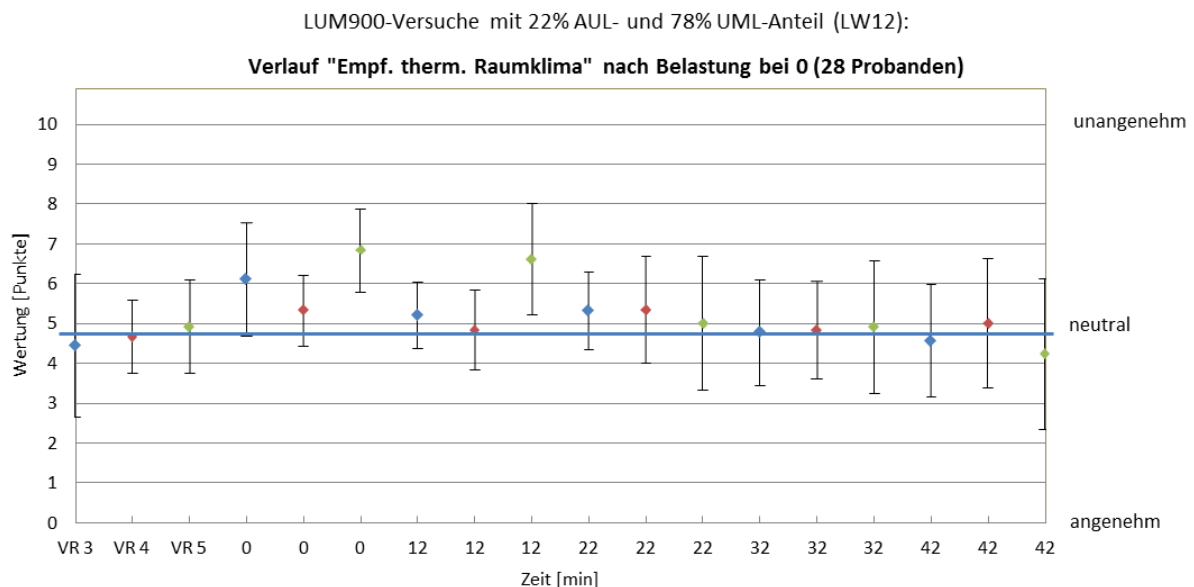


Bild 7: LUM900: Ergebnisse zum empfundenen thermischen Raumklima: unangenehm - angenehm

Im Bild 7 ist für die drei Versuchsreihen der Wertungsverlauf für das empfundene thermische Raumklima während der Raumbegehungen gezeigt. Es ist zu erkennen, dass es etwas schlechter eingestuft wird, wenn die Geruchsbelastung am größten ist. Nach ca. 32 min wird wieder der Anfangswert votiert.

Ohne Darstellung sei mitgeteilt, dass die Probanden keine Zegerscheinungen empfanden.

Es sei auch ergänzt, dass keiner der Probanden die Wahrnehmung eines Ozongeruches (genauer: den Geruch von einem durch Kaltoxidation mit Ozon erzeugten Abbauproduktes) geäussert hat und auch kein Ozongehalt messbar war.

Zwischenfazit

Aus allen Wertungen für die verschiedenen Fragestellungen zum Geruchempfinden zeigt sich, dass das System eine hohe Reinigungsleistung hat, die mit einer idealen Mischlüftung mit 100% Aussenluft bei einem 12-fachen Luftwechsel vergleichbar ist. Zegerscheinungen wurden nicht geäussert.

Versuche mit 100% Umluft Betrieb

Versuchsweise wurde das Gerät nur mit Umluft bei einem Volumenstrom von 900 bzw. 700 m³/h betrieben. Beweggrund dazu war die Erfassung der Leistungsgrenzen des Systems. Die Probandenbefragungen ergaben für die empfundene Raumluftqualität die in Bild 8 dargestellten Verläufe (Anzahl Probanden bei 900 m³/h: 9, bei 700 m³/h: 10).

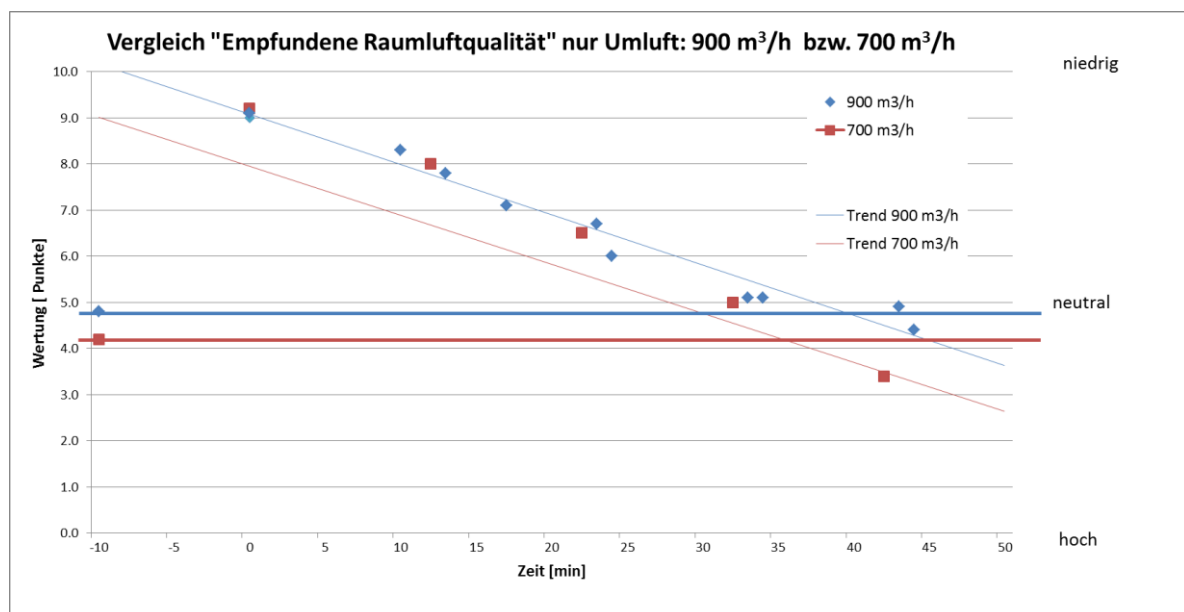


Bild 8: LUM 900: Ergebnisse zur empfundenen Raumluftqualität bei Gerätebetrieb nur mit Umluft: niedrig - hoch

Das Wiederreichen des Anfangszustandes votieren die Probanden bei einem Gerätebetrieb mit 900 m³/h Umluft und ohne Aussenluftanteil auf ca. 40 min (siehe Bild 8). Im Vergleich zum gleichen Zuluftstrom, aber mit ca. 200 m³/h Aussenluftanteil ergab sich gemäss Bild 3 eine Zeit von ca. 32 min. Die Verlängerung kann mit der verkürzten Reinigungszeit bei Durchströmen des erhöhten Umluftstromes durch das Gerät erklärt werden. Diese Erklärung kann auch aus dem Vergleich der „Erholzeiten“ bei verschiedenen hohen Umluftvolumenströmen durch das Gerät gemäss Bild 8 abgeleitet werden: Bei 700 m³/h Zuluftvolumenstrom und ohne Aussenluftanteil wird der

Anfangszustand gemäss Probandenvotum nach ca. 35 min wieder erreicht. Berechnet man die ideale Erholzeit gemäss der oben aufgeführten Gleichung, ergeben sich bei einer Reduktion von 100/1: 29 min bzw. von 100/0,1: 44 min. Die aus den Probandenvoten ermittelte Erholzeit von 35 min bei reinem Umluftbetrieb von 700 m³/h liegt damit wieder im Bereich der idealen Werteberechnung und zeigt die gute Wirksamkeit des Systems.

Zusammenfassung

In einem originalgetreu nachgebauten Patientenzimmer zur Intensivpflege wurde das Lüftungssystem LUM900 hinsichtlich seiner Wirksamkeit beim Abbau von Geruchsbelastungen geprüft, wie sie in derartigen Zimmern häufig auftreten können und eine hohe Belastung für Personal und Patienten darstellen.

Die Lüftungswirksamkeit wurde mittels Probandenbefragung in Anlehnung an DIN ISO 16000-30 /3/ und VDI 4302-2 /4/ermittelt. Es zeigte sich, dass das System sehr effizient ist und zu gleichen Erholzeiten kommt, wie sie näherungsweise für eine ideale Mischlüftung mit 100 % reinem Aussenluftbetrieb berechenbar sind.

Literatur

1. Dokumentation Umluftreinigungssystem LUM 900, s-Leit swissengineering AG, Stand Febr. 2015
2. Bachelor-Diplomarbeit 17-15: Daniel Walti, Maurice Ramel, Hochschule Luzern Technik & Architektur, unveröffentlicht. Kontakt: Rüdiger Kämpmann.
3. DIN ISO 16000-30 (2015): Innenraumluftverunreinigungen – Teil 30: Sensorische Prüfung der Innenraumluft. Beuth Verlag Berlin
4. VDI 4302-2 (2012) Entwurf: Geruchsprüfung von Innenraumluft und Emissionen aus Innenraummaterialien. Beuth Verlag Berlin
5. SIA 382-1 (2015): Lüftungs- und Klimaanlageanlagen – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen. SIA Zürich