

Wien, 9.12.2014

H&R Rettenbacher GmbHz.H.: Ing. Herbert Rettenbacher
Bayernstraße 12
5411 Oberalm

Endbericht zum Innovationscheck plus Projektnummer TU 14 002 *Reduktion von Keimen, Feinstaub und Gerüchen durch Betrieb des ZL Cube und Classic*

1) Reduktion von Luftkeimen (Pilze/Bakterien) durch Betrieb des Zirbenlüfters:

Methode:

Die Proben wurden mit einem MAS-100 Eco Air Monitoring System gezogen. Hierbei wurden unterschiedliche Luftvolumina (100 bzw. 500 L Luft) auf eine mit entsprechendem Nährmedium vorbereitete Selektivplatte für Pilze bzw. Bakterien gesaugt. Nach Inkubation der entsprechenden Platten für 24 Stunden wurden die Keime auf den Platten ausgezählt (Abb. 1). Als Ort der Messung diente ein herkömmlicher Büroraum, welcher ohne kontrollierte Lüftung ausgestattet ist. Die Fenster und Türen wurden während des Versuchsablaufens geschlossen gehalten, der Raum wurde nur für die Dauer der Messung (je Messung 45 min) betreten.

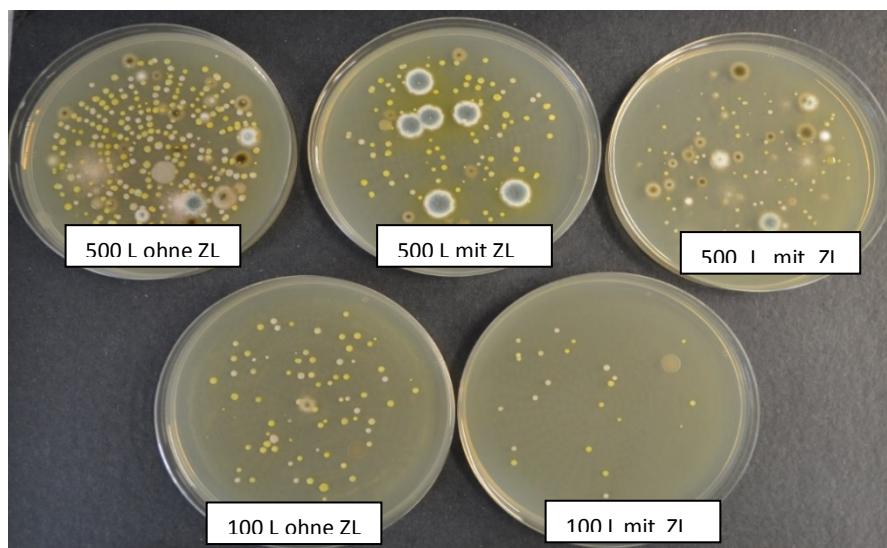


Abb. 1: Nährmedien zur Keimzahlbestimmung im Vergleich mit/ohne Betrieb des Zirbenlüfter CUBE (max. Leistung) für die Dauer von 4 Stunden. Bewertet werden unterschiedliche Luftvolumina.

Ergebnisse:

Es konnte gezeigt werden, dass bei Vorliegen eines konventionellen Raumklimas, wie es in den meisten Aufenthalts- Lebens und Arbeitsräumen vorherrscht, eine *signifikante Reduktion* von Bakterien in der Luft erzielt werden kann. Die Ergebnisse konnten in einem Wiederholungs-Versuch erfolgreich bestätigt werden (Abb. 2a und 2b).

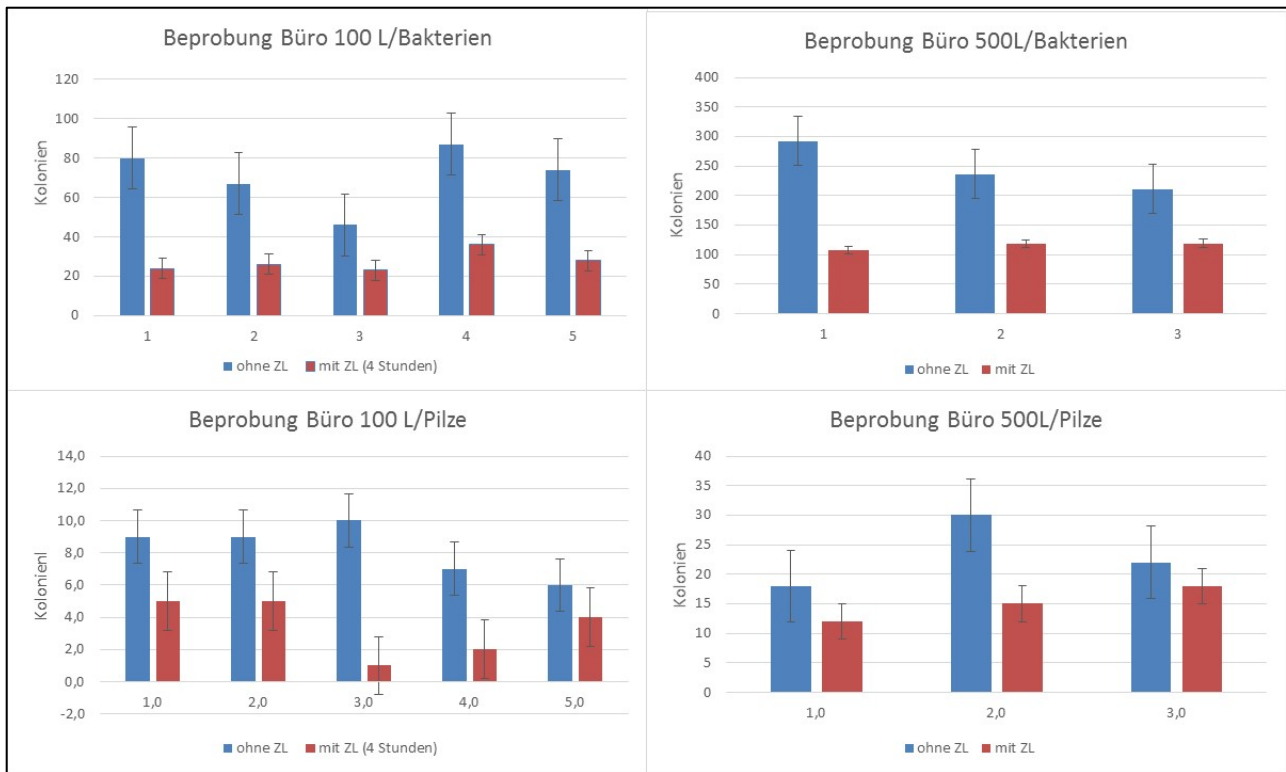


Abb. 2a: Signifikante Keimzahlreduktion für bakterielle Keime durch den Zirbenlüfter CUBE in einem Büroraum ohne kontrollierte Lüftung.

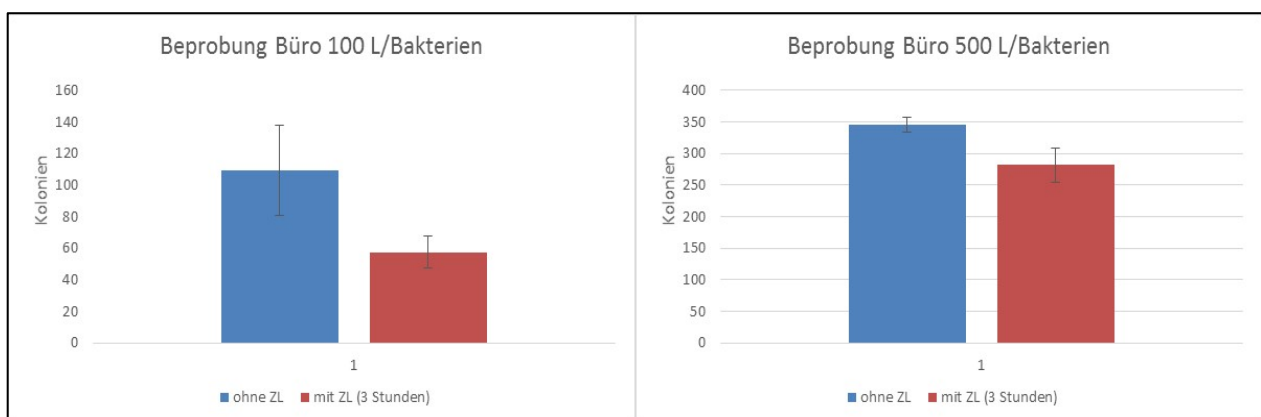


Abb. 2b: Signifikante Keimzahlreduktion für bakterielle Keime durch den Zirbenlüfter CUBE in einem Büroraum ohne kontrollierte Lüftung - Wiederholungsversuch.

In einem weiteren Versuch wurden auch Pilzsporen und deren Reduktion durch den ZL Betrieb untersucht. Hier wurde festgestellt, dass die Anzahl an Pilzsporen zu starken Schwankungen unterliegt, um eine Wirkung des Zirbenlüfters signifikant darstellen zu können. Generell kann zwar eine Senkung nach ZL Betrieb erkannt werden, diese ist aber statistisch nicht abgesichert. Eine gezielte Aussage bezüglich der Pilzsporendichte müsste in einem separaten Versuch an Hand eines umfassenden Versuchsdesigns mit Berücksichtigung aller eventuellen Einflussparameter durchgeführt werden (Abb. 3).

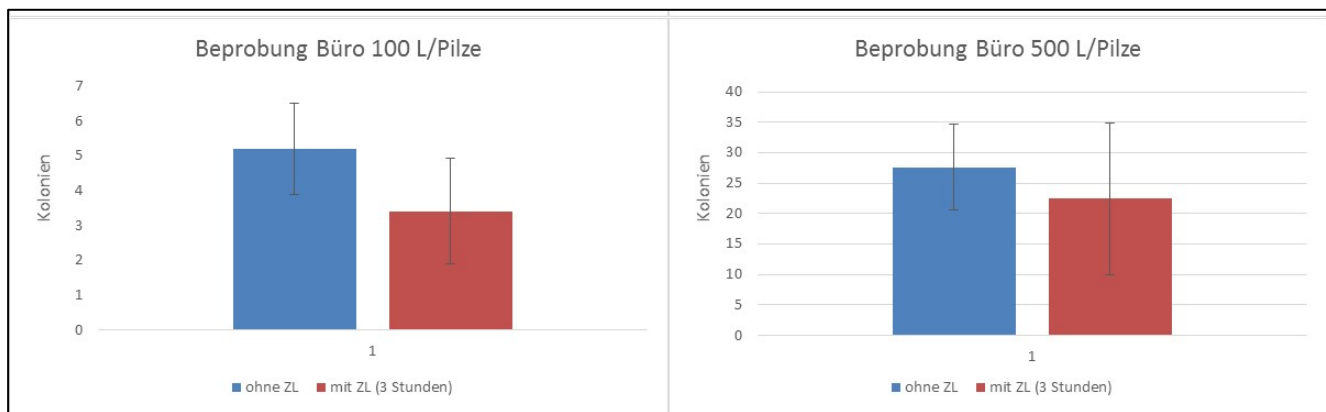


Abb. 3: Pilzsporendichte in einem Büroraum nach Betrieb des ZL CUBE.

Im nächsten Versuch wurden die ZL CUBE und CLASSIC in einem anderen, jedoch ebenfalls konventionell belüfteten Büroraum kombiniert über einen Zeitraum von mehreren Tagen aufgestellt. Die Schwankungen der bakteriellen und pilzlichen Keimzahlen waren hier jedoch bereits bei Nicht-Betrieb des ZL zu groß, um einen sinnvollen Effekt der Keimzahlreduktion bei ZL-Betrieb erwarten zu können.

2) Reduktion von Feinstaub durch Betrieb des Zirbenlüfters:

Die Feinstaubkonzentration bzw. die Staubzusammensetzung unterschiedlicher Partikelgrößen wurde unter zwei verschiedenen Versuchsbedingungen untersucht.

Anmerkung:

Da im vorliegenden Versuch beim Rauchen von Zigaretten nur **Feinstaub** gefunden wurde, wurde die Nomenklatur Feinstaub zwar gewählt, hierbei ist jedoch immer der Feinstaub, PM 1.0, gemeint (Tab. 1).

Für die Messung wurde vom Institut für Innenraumluft, IBO ein entsprechendes und geeignetes Gerät angemietet und für die Dauer des Versuches aufgestellt.

Techn. Details:

Die Sammlung für die Bestimmung der Feinstaubkonzentration erfolgte durch Ansaugen der Raumluft mittels radialsymmetrischem Ansaugkopf und Messung mittels eines Aerosolspektrometers nach dem Prinzip der Lichtstreuung in einer Laser-Messkammer (Dustmonitor 1.108, Fa. Grimm).

Die Angaben die Kanäle PM10, PM2.5 und PM1.0 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Mikrogramm pro m^3) wurden geräteintern aus der Partikelanzahl und dem verfahrensspezifischen C-Faktor rechnerisch ermittelt. Der Default-Wert für den C-Faktor beträgt 1.

Bezeichnung	Beschreibung
Gesamt-schwebestaub (TSP)	Als Gesamtschwebestaub (Total suspended particulates = TSP) wird die mit konventionellen Sammlern gemessene Schwebestaub-Konzentration bezeichnet. Dabei wird ein Großteil der luftgetragenen Partikel erfasst.
PM10	Bei PM10-Messverfahren ist das Ziel, eine Sammelcharakteristik zu verwirklichen, welche der thorakalen Fraktion (jener Masseanteil einatembarer Partikel, der über den Kehlkopf hinausgeht) entspricht. Bei diesen Verfahren sollen per definitionem 50 % der Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von 10 μm erfasst werden; bei größeren Partikeln wird der gesammelte Anteil deutlich geringer, bei kleineren höher. Die derart bestimmte Staubfraktion ist eine Teilmenge des TSP. Im deutschen Sprachraum hat sich die Bezeichnung "Feinstaub" für PM10 eingebürgert.
PM2.5	Bei diesem Verfahren sollen per definitionem 50 % der Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von 2,5 μm erfasst werden (der etwa dem Anteil entspricht, der bis in die Alveolen gelangt); bei größeren Partikeln wird der gesammelte Anteil deutlich geringer, bei kleineren höher. Die derart bestimmte Staubfraktion ist eine Teilmenge des PM10 und sollte weitgehend der alveolengängigen Fraktion entsprechen.
PM10-2.5	Partikel, die größer als 2,5 μm aber kleiner als 10 μm sind. Im Englischen als „coarse fraction“ bezeichnet.
PM1.0	Sehr feine Partikel, deren aerodynamischer Durchmesser kleiner als 1 μm ist. (Typisch für Zigarettenrauch)

Tab. 1: Techn. Daten des Feinstaubmessgeräts

a) Reduktion von Feinstaub durch Betrieb des Zirbenlüfters CLASSIC in einem Modellraum mit kontrollierter Lüftung:

Ein signifikanter Unterschied zwischen der Menge an Feinstaub konnte bei eingeschalteter Lüftung im Betrieb mit und ohne Zirbenlüfter nicht festgestellt werden (Abb. 4).

Dies lässt sich mit Sicherheit darauf zurückführen, dass die Lüftung die Feinstaubkonzentration sehr beeinflusst und eine mögliche Wirkung des Zirbenlüfters überdeckt wird.

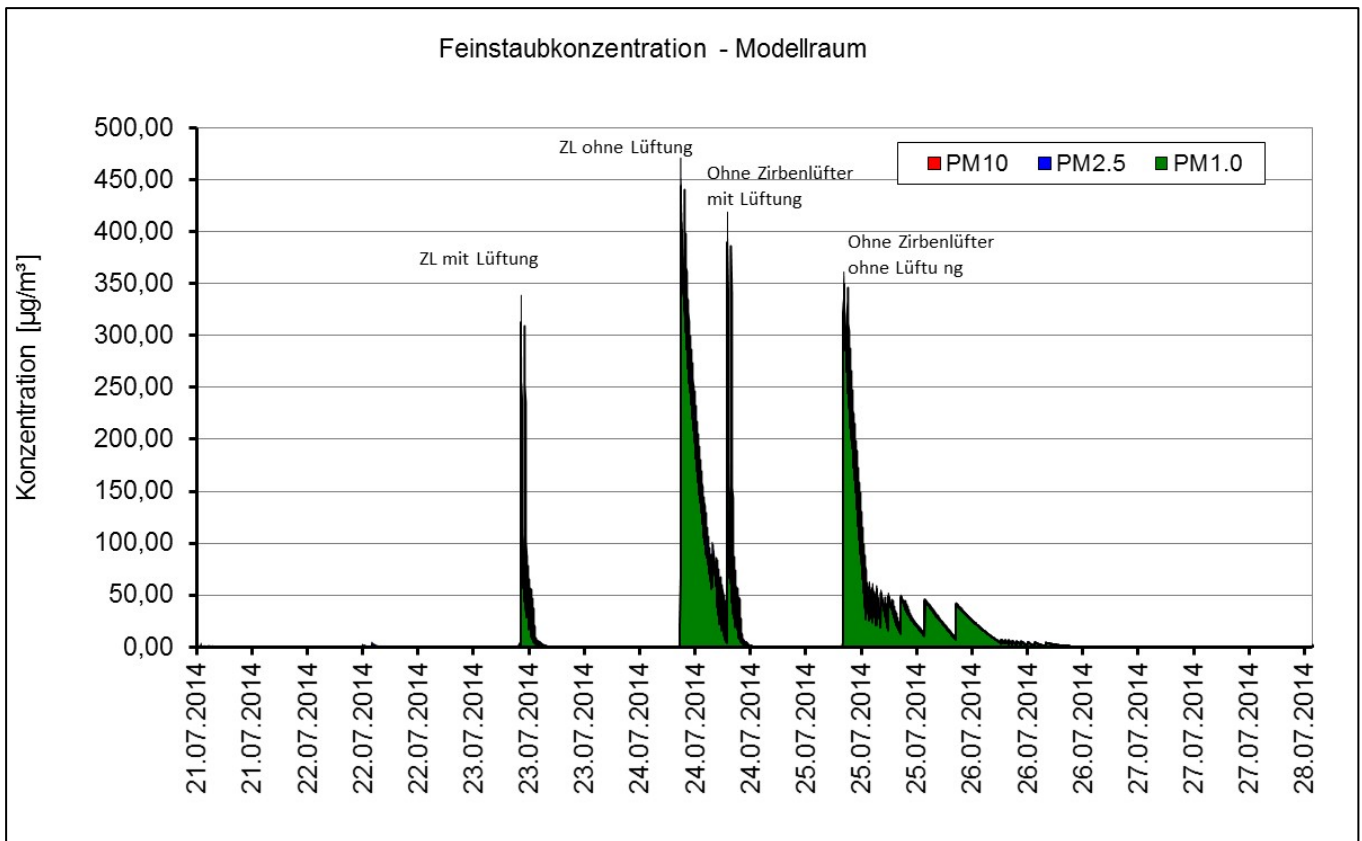


Abb. 4: Feinstaubkonzentrationsverlauf im Modellraum mit kontrollierter Lüftung bei Durchführung eines 2-maligen Rauchszenarios/Tag im Vgl. zwischen Betrieb mit und ohne ZL CLASSIC jeweils bei eingeschalteter und ausgeschalteter Lüftung.

Im Folgenden wurde das Versuchsszenario geändert: Es wurde ein Büroraum gewählt, der keine kontrollierte Lüftung aufweist, die Fenster wurden während der Versuchsdauer geschlossen gehalten, um eine gleichmäßige Feinstaub-Konzentration zu gewährleisten. An jedem Versuchstag wurde in Abständen von 4 Stunden je eine Zigarette geraucht (2-maliges Rauchszenario).

b) Reduktion von Feinstaub durch Betrieb des Zirbenlüfters CLASSIC in einem Büroraum ohne kontrollierte Lüftung:

Zwischen dem Betrieb mit und ohne Zirbenlüfter konnte im untersuchten Büroraum unter den o. a. Versuchsbedingungen eine leicht verringerte Feinstaubbelastung bezüglich der *absoluten Peakhöhe* festgestellt werden. Hier sollte jedoch kein absoluter Zusammenhang mit dem Zirbenlüfterbetrieb hergeleitet werden, es muss außerdem davon ausgegangen werden, dass sich die Tätigkeit des Zigarettenrauchens nicht 100% konstant durchführen lässt.

Die erhoffte Auswirkung des Zirbenlüfter Betriebs auf das Abklingverhalten der Feinstaub Konzentration (Kürzere Abklingzeit/rascheres Abklingen) konnte nicht festgestellt werden (Abb. 5).

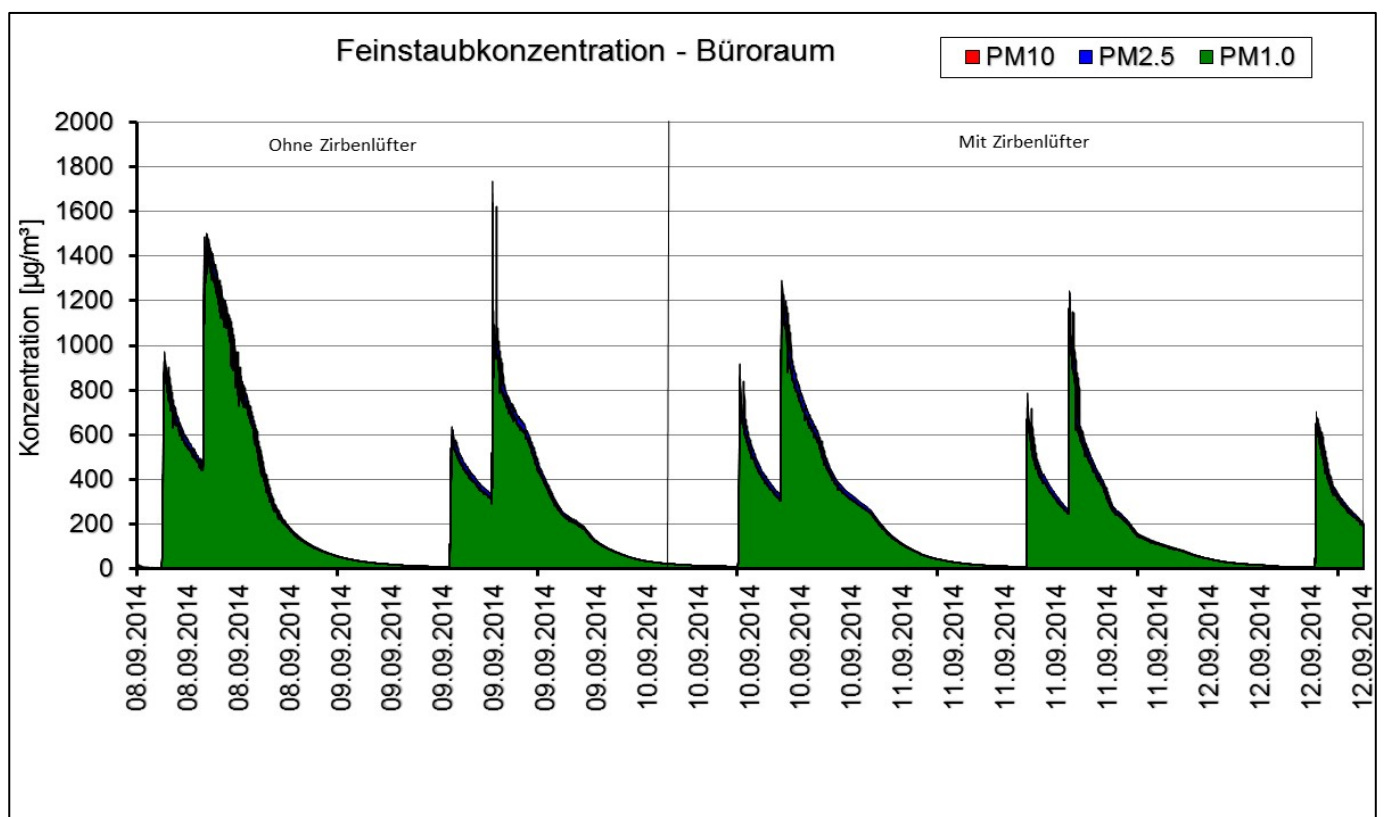


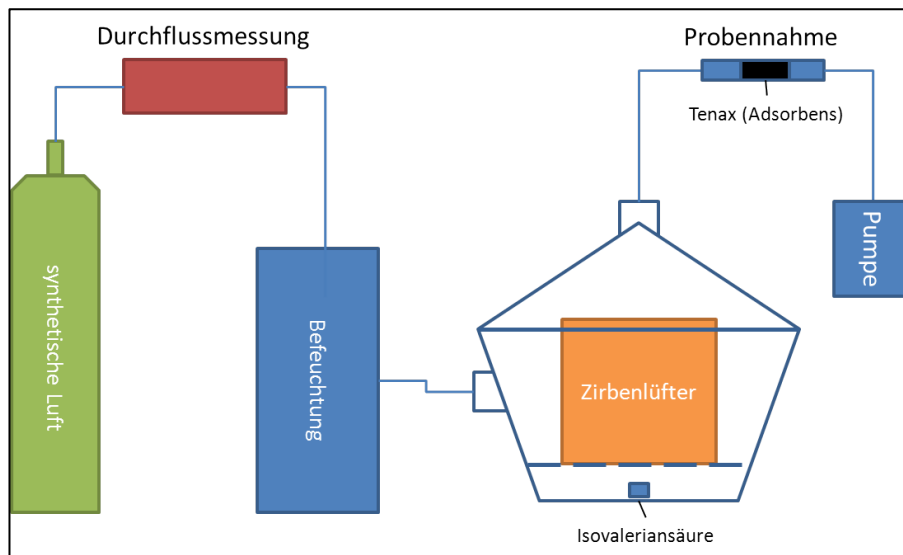
Abb. 5: Feinstaubkonzentrationsverlauf im Büroraum ohne kontrollierte Lüftung bei Durchführung eines 2-maligen Rauchszenarios/Tag im Vgl. zwischen Betrieb mit und ohne ZL CLASSIC.

3) Reduktion von störenden Geruchsverbindungen durch Betrieb des Zirbenlüfters:

Leitsubstanz Schweißgeruch – Isovaleriansäure:

In diesem Versuch wurde unter Einsatz der bewährten 23 L Prüfkammer (Glasekkator) die Reduktion von Isovaleriansäure (3-methylbutansäure), der Leitsubstanz für Schweißgeruch, evaluiert:

Versuchsaufbau: Für die Messung von Isovaleriansäure wurde der Versuchsaufbau aus der Formaldehydreduktion (Innovationsscheck 5000) herangezogen und geringfügig adaptiert (Skizze 1).



Skizze 1: Versuchsaufbau zur Messung von Isovaleriansäure.

Die Isovaleriansäure wurde in der 23 L Prüfkammer Tagen appliziert und der Verlauf über einen Zeitraum von 4 gemessen, wobei jeden 2. Tag für 24 Stunden der Zirbenlüfter CUBE eingesetzt wurde. Eine geöffnete Flasche mit 2 ml Isovaleriansäure wurde in die Prüfkammer gestellt, und dort belassen, bis sich ein Konzentrationsgleichgewicht eingestellt hatte. Als Anfangskonzentration wurde hier ein Wert von $1500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen, nach einigen Stunden stellte sich ein Gleichgewicht zwischen 4500 und $5500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ein.

Ergebnis:

In der Prüfkammer konnte durch Betrieb des ZL CUBE eine *fast vollständige Reduktion* von Isovaleriansäure auf **rund 1% der Ausgangskonzentration** festgestellt werden, dies konnte bereits in einem Wiederholungsversuch bestätigt werden. Der Zeitverlauf ist in Abb. 6 dargestellt.

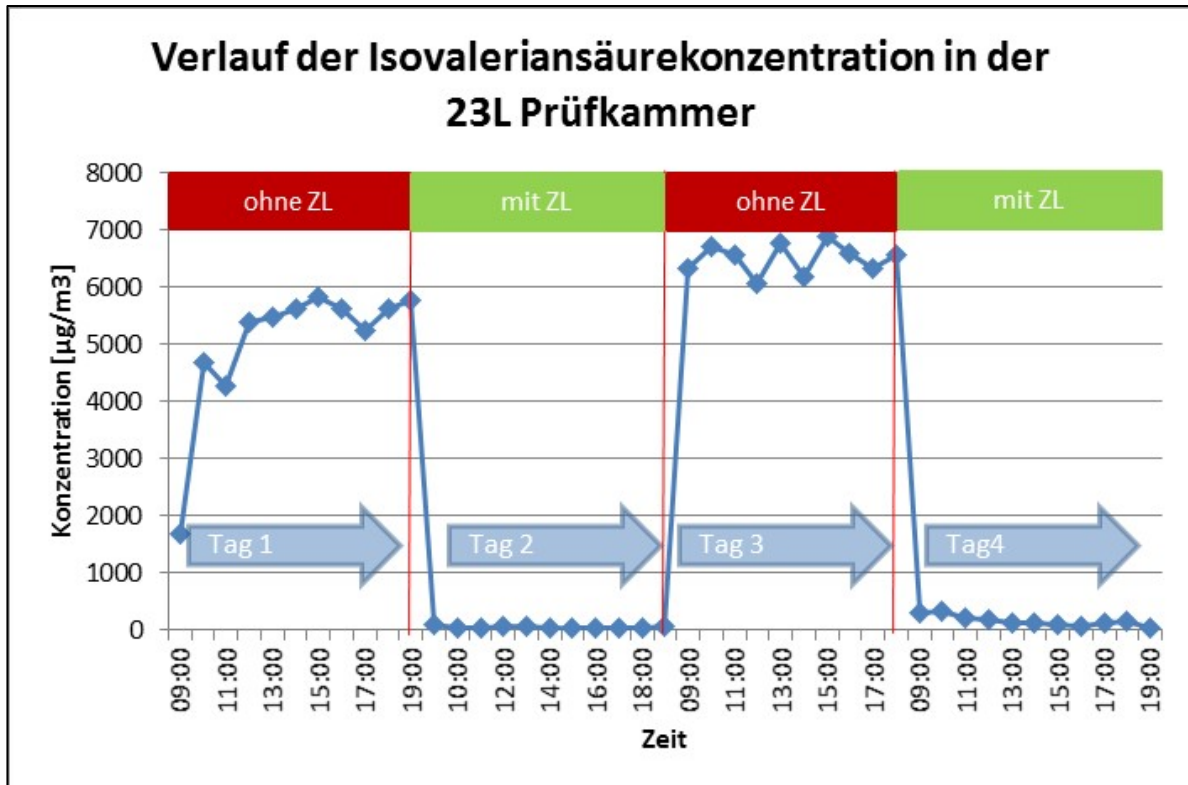


Abb. 6: Darstellung der Reduktion von Isovaleriansäure durch den Betrieb des ZL CUBE in einer 23 L Prüfkammer.

Im Modellraum wurde auf selbige Weise mit dem ZL CLASSIC verfahren, hier wurde jedoch eine 50 ml Flasche Isovaleriansäure eingebracht; aufgrund des wesentlich höheren Prüfkammervolumens wurde hier bei einer niedrigeren Konzentration von $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gestartet, nach einer Stunde hatte sich ein Konzentrationsgleichgewicht von ca. $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eingestellt.

Ergebnis:

Im Versuchsaufbau Modellraum konnte durch den Betrieb des ZL CLASSIC eine *nahezu vollständige Reduktion* erreicht werden (Abb. 7).

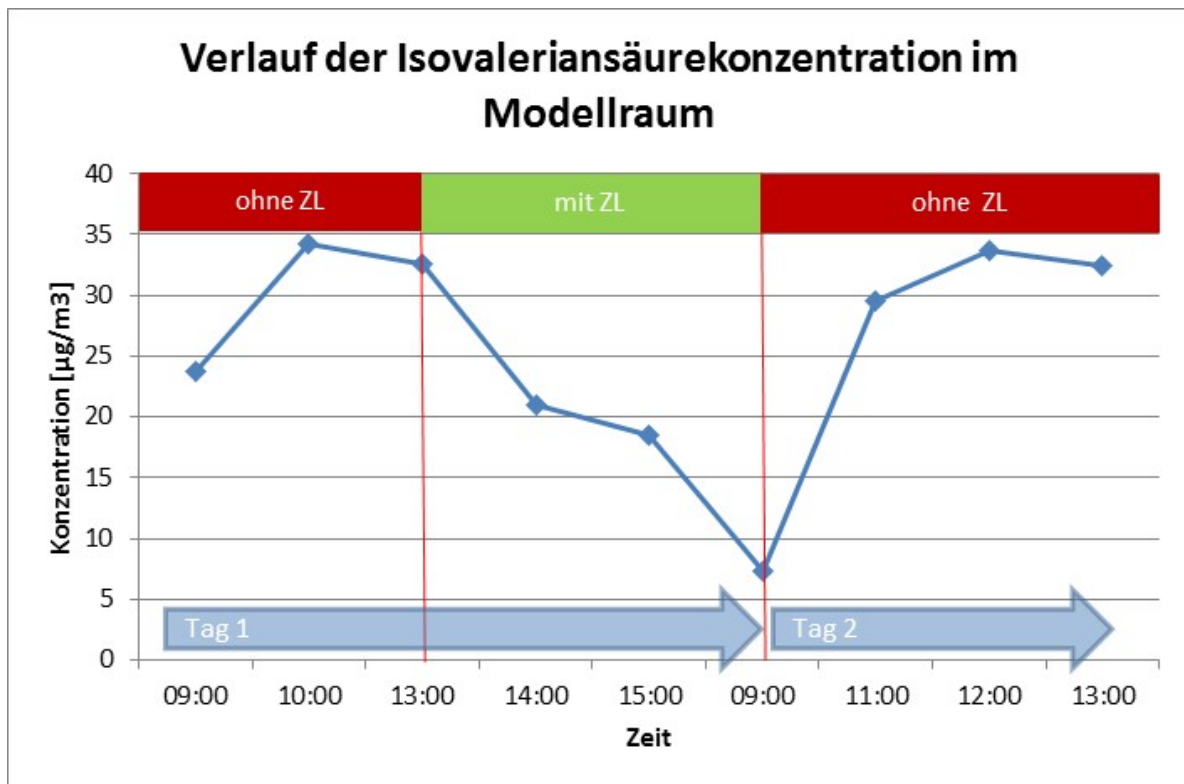


Abb. 7: Darstellung der Reduktion von Isovaleriansäure durch den Betrieb des ZL CLASSIC im Modellraum (30 m^3).

Leitsubstanz Schimmelpilzgeruch – Geosmin:

Im nächsten Schritt wurde Geosmin in der 23 L Prüfkammer untersucht. Geosmin ist ein bicyclischer Alkohol, welcher von Mikroorganismen produziert wird, und einen sehr ausgeprägten erdig-muffigen Geruch aufweist. Geosmin ist auch für den Geruch von Schimmelpilzen verantwortlich und wurde daher für den vorliegenden Versuch als Leitsubstanz für Schimmelpilzgeruch eingesetzt.

Die Vorgehensweise beim Versuchsablauf Geosmin erfolgte ident zu jener mit Isovaleriansäure.

Ergebnis:

In der 23 L Prüfkammer konnte durch Betrieb des ZL CUBE eine *vollständige Reduktion* von Geosmin festgestellt werden. Der Zeitverlauf ist in Abbildung 8 dargestellt.

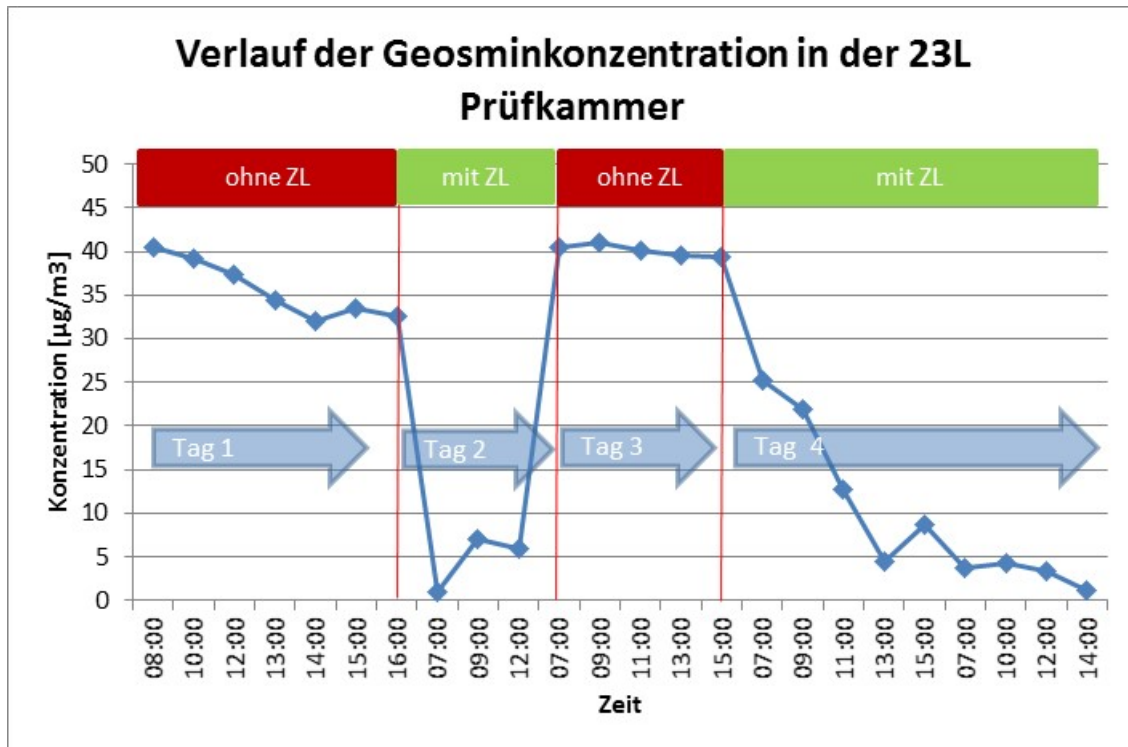


Abb. 8: Darstellung der Reduktion von Geosmin durch den Betrieb des ZL CUBE in der 23 L Prüfkammer. Im Falle von Geosmin wurde der Versuchsaufbau Modellraum nicht durchgeführt, da diese Leitsubstanz in großen Mengen sehr kostenintensiv ist.

4) Reduktion von Schadstoffen in der Raumluft durch Betrieb des Zirbenlüfters:

Aufbauend auf den Ergebnissen zum Innovationsscheck 5000 wurde der Versuch zur Reduktion von Schadstoffen wie Formaldehyd aus der Raumluft in einer 23 L Prüfkammer erneut wiederholt. Im Unterschied dazu wurde mit einer geringeren Luftwechselrate (0,25) und einer niedrigeren Formaldehydkonzentration (0,3 ppm) gearbeitet:

Dieser Wert wird auch als MAK Wert (minimale Arbeitsplatzkonzentration) vorgeschlagen (MAK und BAT-Werte Liste 2013 Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe Mitteilung 49)

Im Vergleich zu einem Realraum war im vorliegenden Versuchsaufbau die Raumbeladung (Verhältnis der Oberfläche des Zirbenlüfters zu Raumvolumen) sehr hoch.

Ergebnis:

Es konnte erneut eine Verringerung der Formaldehydkonzentration um mehr als 90 % festgestellt werden (Abbildung 9).

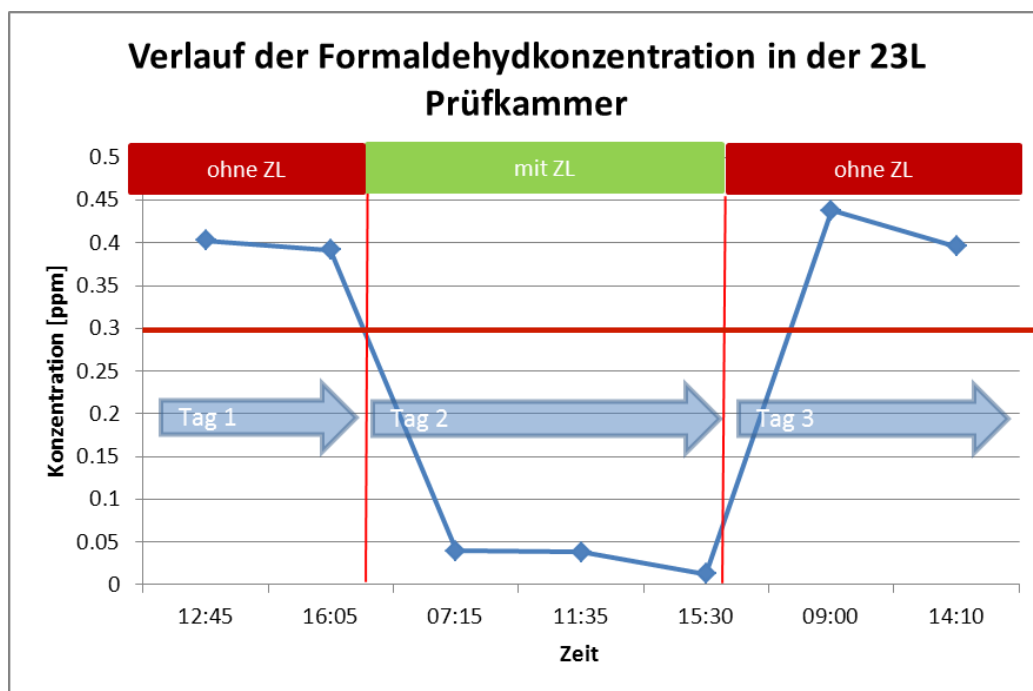


Abb. 9: Formaldehydreduktion durch Betrieb des Zirbenlüfters CUBE in einer 23 L Prüfkammer bei sehr hohem Beladungsfaktor. Waagrechte rote Linie: MAK Konzentration.

Der Versuch wurde mit dem Zirbenlüfter CLASSIC im 30 m³ Modellraum wiederholt, um eine Aussage über die Reduktion von Formaldehyd in realitätsnahen Raumvolumina zu erhalten (Abbildung 10).

Ergebnis:

Trotz der sehr hohen Formaldehydbeladungen (5-facher MAK Wert) konnte auch hier der reduzierende Effekt festgestellt werden. Allerdings dürfte bei solch hohen Konzentrationen ein Sättigungseffekt erreicht werden.

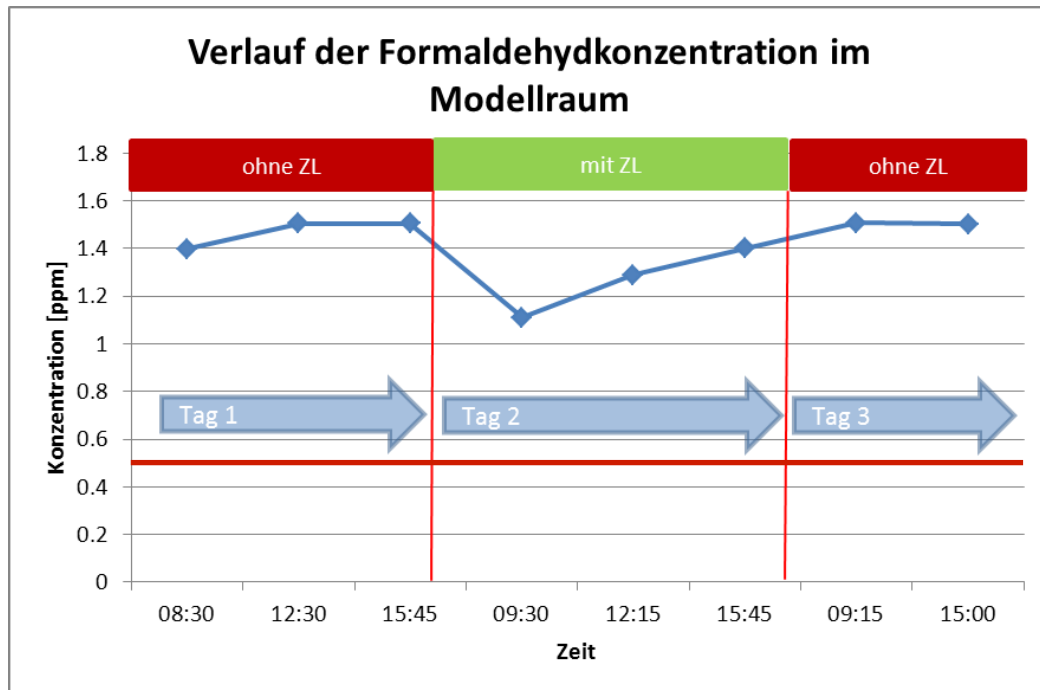


Abb. 10: Formaldehydreduktion durch Betrieb des Zirbenlüfters CLASSIC in einem 30 m³ Modellraum. Waagrechte rote Linie: MAK Konzentration.

Die Analyse des Wassers nach 24h Einsatz des ZL in der 23 L Prüfkammer (Reduktion der Wassermenge um rund 1/3 während dieser Zeit) zeigte, dass mehr als 85% des Formaldehyds im Wasser gelöst waren. Daher empfiehlt sich bei stark belasteter Umgebung ein regelmäßiger Wasseraustausch. Einem möglicher Sättigungseffekt, wie bezüglich des Modellraumversuches und hohen FA-Konzentrationen erwähnt, kann dadurch entgegengewirkt werden.

Diskussion:

Die Definition des Raumklimas ist eine sehr komplexe, welche sich aus verschiedenen biotischen und abiotischen Einflussfaktoren zusammensetzt: Als biotische Einflussfaktoren sind hier vor allem Luftkeime wie Pilze und Bakterien zu nennen.

Bei abiotischen Faktoren liegen eine Vielzahl mehr vor: Feinstaub, Feinstaub, CO₂ Gehalt, geruchsaktive Substanzen (flüchtige organische Kohlenstoffverbindungen (VOC)), hoch flüchtige organische Kohlenstoffverbindungen (VVOC wie Formaldehyd), Temperatur sowie Luftfeuchtigkeit sind hier nur einige der zu nennenden. Durch diese Komplexität sind Maßnahmen zur Verbesserung des Raumklimas an unterschiedlichsten Punkten anzusetzen. Im vorliegenden Versuchsaufbau konnte gezeigt werden, dass der Betrieb des Zirbenlüfters einen positiven Einfluss auf die bakterielle Keimzusammensetzung im Raum, sofern ein konventionell belüfteter Raum vorliegt, hat.

Weiters konnte sehr erfolgreich dargestellt werden, dass eine Reduktion von Schweißgeruch, welcher durch die geruchsaktive Leitsubstanz Isovaleriansäure dargestellt wurde, sowohl in kleinen, 23 L Testprüfkammern als auch in 30 m³ Modellräumen, welcher der simulierten Realsituation entsprechen, erzielt werden kann. Für die geruchsaktive Substanz Geosmin, welche den Geruch von Schimmelpilzen definiert, konnte ebenfalls eine vollständige Reduktion in der 23 L Prüfkammer nachgewiesen werden.

Da durch die Versuchsergebnisse zur Isovaleriansäurereduktion anzunehmen ist, dass eine vollständige Reduktion bei Geosmin auch in größeren Prüfräumen stattfinden kann, wurde von einer Versuchswiederholung in der Modellkammer abgesehen, da die Anschaffung von größeren Menge Geosmin sehr kostenintensiv ist. Generell kann aus den Versuchsergebnissen eine hochsignifikante bis vollständige Reduktion von Schimmelgeruch und Schweißgeruch, welche üblicherweise als belästigende Faktoren in Räumen auftreten, durch den Einsatz des Zirbenlüfters bestätigt werden.

Die Reduktion von Schadstoffen wie Formaldehyd, welche bereits in einem ersten Vorversuch im Rahmen des Innovationschecks 5000 gezeigt werden konnte, wurde im vorliegenden Versuch bestätigt. Auch hier konnte sowohl in der 23 L Prüfkammer als auch im realitätsnäheren Modellraum eine hochsignifikante Verringerung von Formaldehyd durch den Betrieb des ZL CUBE und CLASSIC erzielt werden.

Schlussfolgerung:

Durch den Betrieb des Zirbenlüfters (sowohl CUBE als auch CLASSIC) konnte eine Reduktion von Luftschadstoffen und geruchsaktiven Substanzen festgestellt werden, welche als signifikant anzusehen ist. Weiters konnte eine positive Wirkung auf die bakterielle Keimzusammensetzung eines konventionell belüfteten Raumes festgestellt werden.

Demzufolge kann postuliert werden, dass der Zirbenlüfter bei empfohlener Handhabung (Betriebszustand mit regelmäßigem Wasserwechsel) das Raumklima bezüglich der o. a. Punkte positiv beeinflusst.