

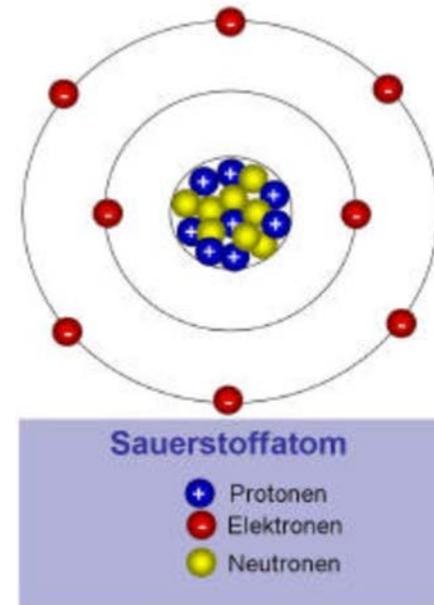
Luftionengehalt – Ein Bewertungsmaßstab für die Raumlufthqualität?

Vortrag für die VDI- und DKV- Bezirksvereine Karlsruhe von
Rüdiger Külpmann, Hochschule Luzern Technik & Architektur

18. Juni 2019

Inhalt

- Wieso dieses Thema?
- Anwendungsbeispiele
- Verfahren und Merkmale
- Prüfkriterien von Luftionisationssystemen
- Einige Planungshinweise
- Zusammenfassung

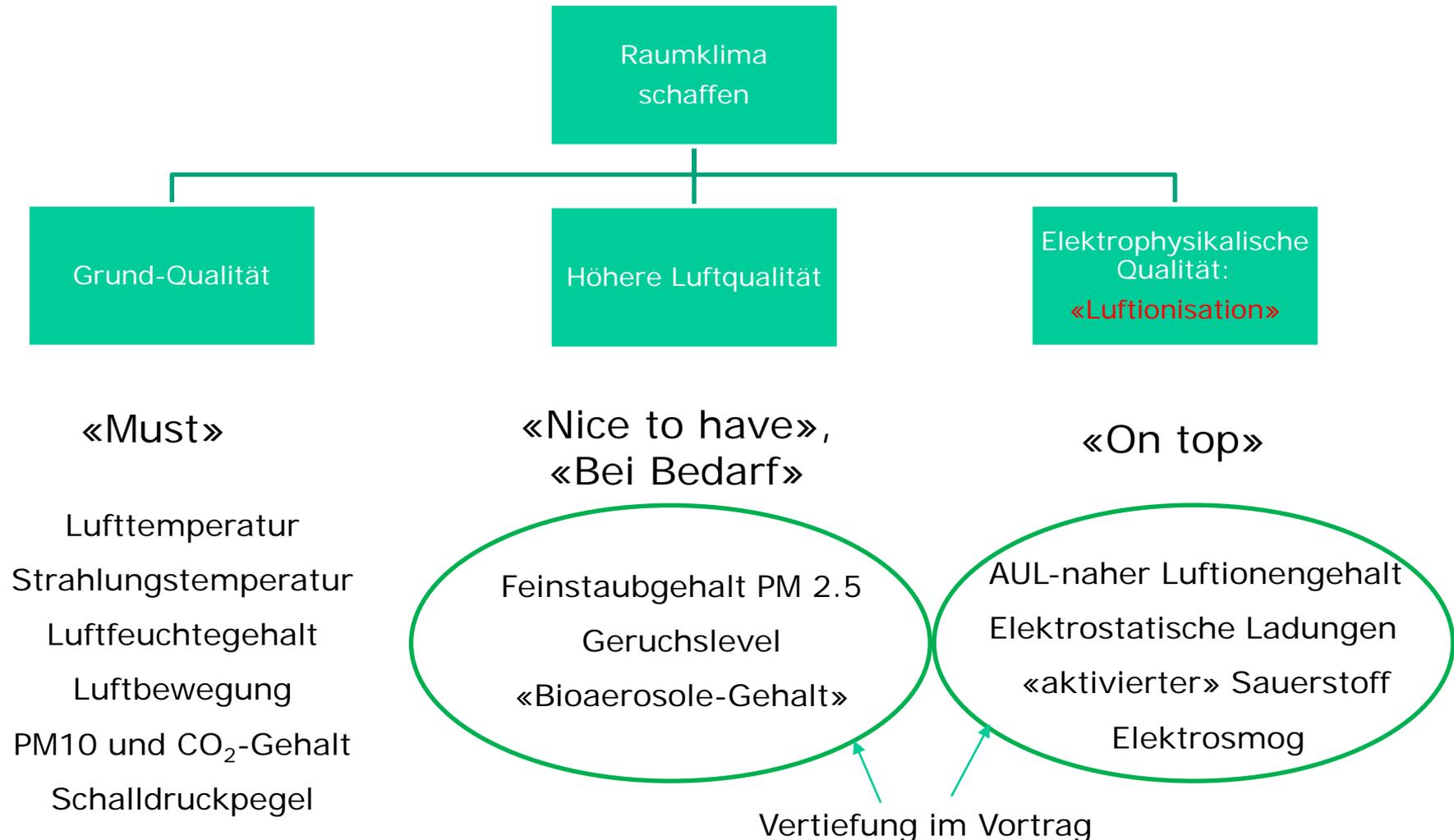


<http://www.chempage.de/theorie/atome.htm>

Wieso dieses Thema?

- Die Feinstaubbelastung in Räumen wird zunehmend als gesundheitsbeeinträchtigend anerkannt.
- Die Zunahme von Atemwegserkrankungen ist fast weltweit.
- Energiesparbedarf führt zur Minimierung von Lüftungsraten.
- Der Platzbedarf für normal normgerechte Raumluftechnik ist oft nicht da.
- NTP-Geräte sind praktisch unkontrolliert auf dem Vormarsch.
- Es bestehen Wissenslücken über die Langzeitwirkung solcher Geräte.
- Wissenschaftliche Untersuchungen über die Möglichkeiten und Grenzen dieser Systeme fehlen zur Planungssicherheit für die HLK-Branche.
- Eigene Erkenntnisse zu NTP-Systemen führen zur Frage, ob der Luftionengehalt in der Raumluf nicht von höherer Bedeutung für die Behaglichkeit ist, als bisher bekannt?

Erwartungen an Komfort-Klimaanlagen: Kenngrößen & Ranking



Ein unbekanntes Konzept weckt Aufmerksamkeit

Hotel-Villa***** Honegg, Bürgenstock

Probleme: fehlende Luftmengen,
Gerüche in Zimmern durch Raucherlounge,
Gülle-Düngung der umliegenden Felder

Herstellerangaben (Baujahr 2011-12):

Einbau «s-leit-System» in Lüftung:

- Abbau von Ammoniak- und Schwefelgeruch in der Aussenluft
- Raumweise Verbesserung ZUL-Qualität
- Abluftreinigung der Raucherlounge

Ergebnis laut Nutzerangaben:

- Seit 2012 keine Beanstandungen mehr
- Einmal jährlich Systemwartung



23 Suiten und Zimmer, Spa, Konferenz,
Kino, Raucherlounge & Gourmet-Restaurant

Beispiel (1): Anwendung der Luftionisation im Bürobereich

«Foyer Zug»: Bürogebäude ca. 25.000 m², Fenster nicht zu öffnen!

Betrieb seit 2012, Standard: Minergie-Eco, US-LEED: Platinum Label

RLT-Anlagen:

- spez. AUL-Strom nur 25 statt 36 m³/h pro Person (-30%)
- Mit «Leitfähige Luft»-System in allen ZUL-Durchlässen

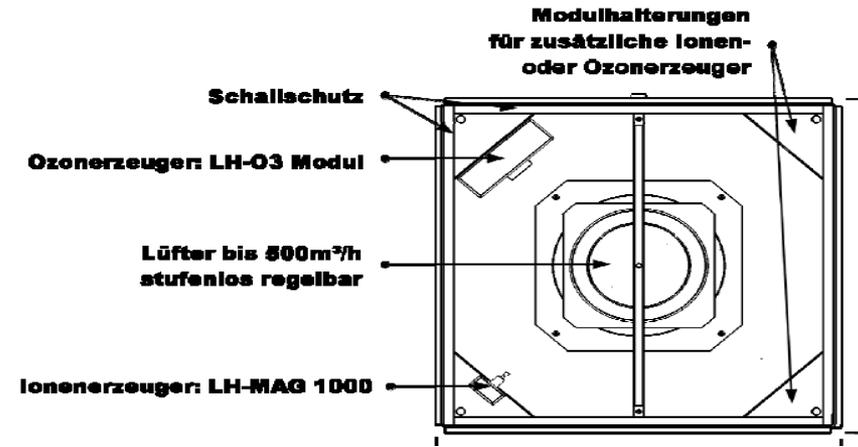


Ergebnisse

- Energiebedarf um ca. 30% geringer durch Installation von LL-System
- Platzbedarf für Technikflächen geringer: ca. 1 % höhere vermietbare Fläche.
- Messungen und mündliche Befragung seit Sept. 2013: Luftqualität wird als sehr gut empfunden. Keine erhöhten Ozonwerte.

Beispiel (2): Neues Kranzler Eck: 2 Seminarräume

Nutzung: 9–14 Uhr, 30–35 Personen,
Räume ca. 102 m², 2,8 m hoch.
AUL: 23-27 m³/h pro Person über Quellauslässe
mit GSB-Ionisierungsmodulen
+ 5 UML-Geräte je 250m³/h mit Ionen- und
Ozonerzeuger, M5- und Aktivkohlefilter.



Ergebnisse (1)



Abbildung 4: Verlauf Ozon-Konzentration

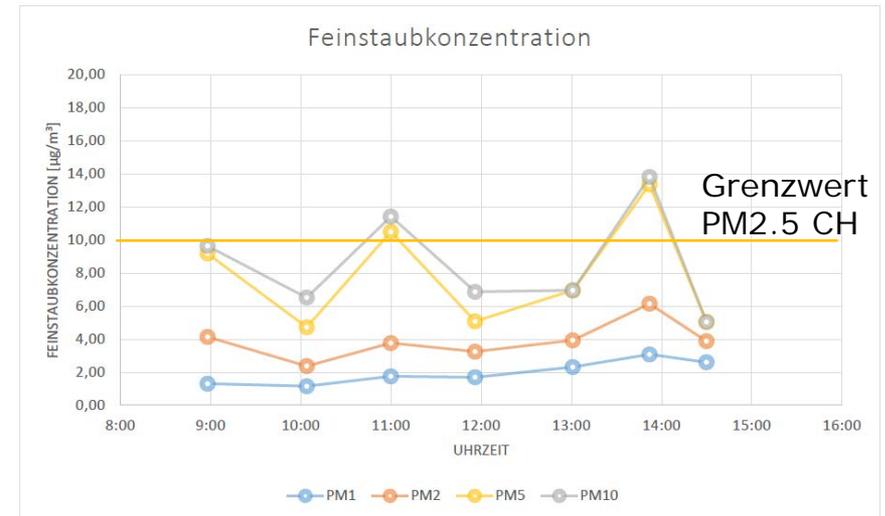


Abbildung 5: Verlauf Feinstaubkonzentration

Quelle: TÜV-Rheinland: 125445178

Beispiel (2): Neues Kranzler Eck: 2 Seminarräume

Ergebnisse (2): CO₂-Konzentration im Raum

Istzustand: AUL: 23-27 m³/h pro Person = 805 m³/h

CO₂-Produktion 30–35 Personen = ca. 910 l CO₂/h

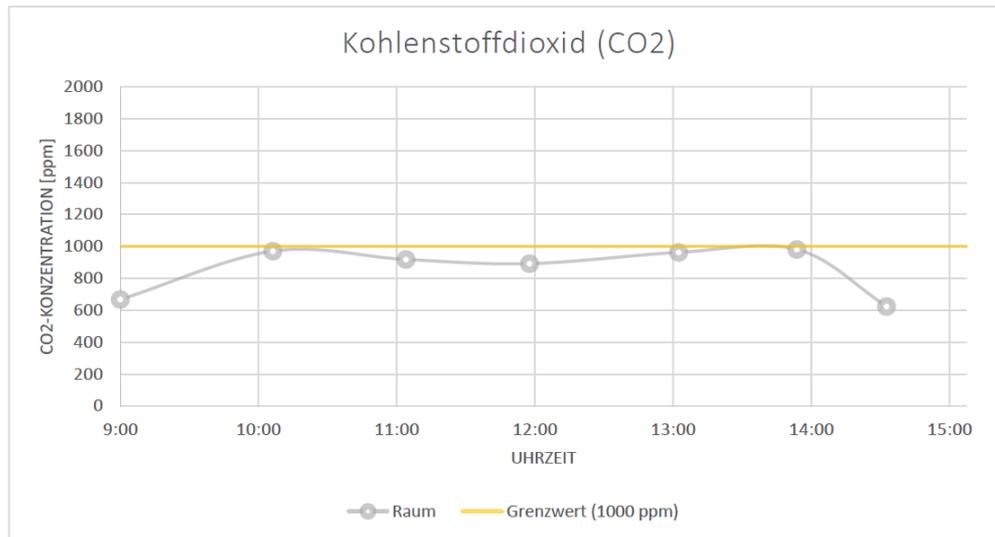
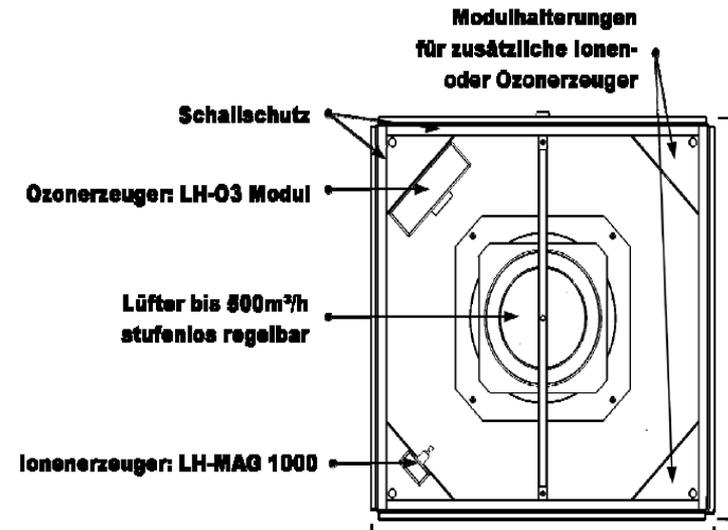


Abbildung 3: Verlauf Kohlenstoffdioxidkonzentration

$$\dot{V}_{ODA} = \dot{G}_{CO_2} / (C_{RAL} - CO_{ODA})$$

$$\dot{V}_{ODA,min} = \frac{26 \frac{l}{h * Person} * 35 Personen * 1000 \frac{m^3}{l}}{1000 - 480} = 1.750 \frac{m^3}{h}$$



Feststellung:

Der reale AUL-Strom ist um ca. 50 % tiefer, als der theoretisch nötige....

Gesundheitliche Wirkung (1): Aus Erfahrungen lernen: Bolst GG,2015

Asbestose-Patient und Luft-Sauerstoff-Aktivierung

Ausgangspunkt: Pulsoximeter, 68 % → extreme Atemnot

- Tragbare Sauerstoffflasche
ca. 1 Std.: asymptotisch 95 %
- Ionisierter Sauerstoff
ca. 20 Min.: stabile 97 %
- Ionisierter Sauerstoff plus pulsierendes Magnetfeld
ca. 15 Min.: 97 - 100%

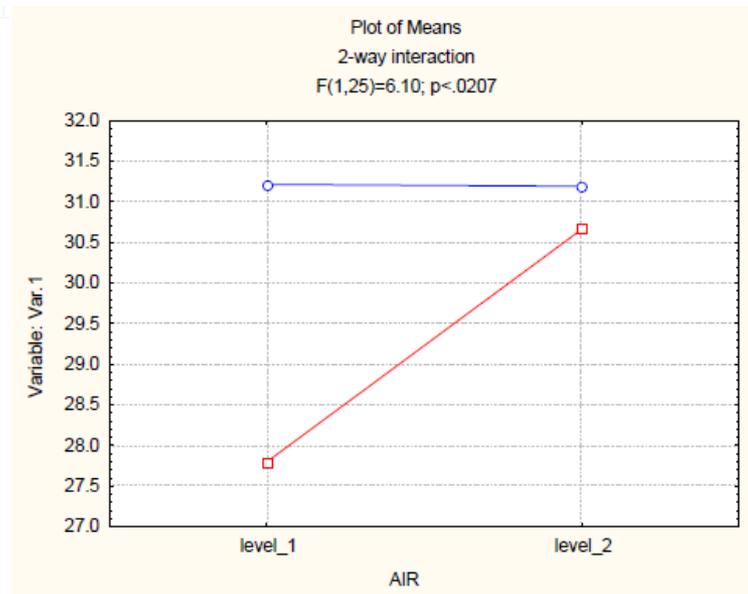


Gesundheitliche Wirkung (2): Leitfähige Luft kann Sauerstoffgehalt im Blut signifikant verändern.

Kinderspital Davos: Probanden-Studie zur Sauerstoffaufnahme im Blut

Methode:

Direkte Messung der max. Sauerstoffaufnahme im Blut durch Messung der Sauerstoffreduktion in der ausgeatmeten Luft von Personen



Graphik: $VO_2\text{max}$ (ml/min*kg) versus Zeit

Gruppe 1: Verum – Placebo (blau)

Gruppe 2: Placebo – Verum (rot)

Ergebnis:

Die $VO_2\text{max}$ pro kg Körpergewicht stieg bei den Probanden, die erst das Placebo-Gerät hatten und anschliessend der Leitfähigen Luft® ausgesetzt wurden signifikant von 27.8 auf 30.7 ml/min/kg.

Verfahren zur Reduktion von Feinstaub, Gerüchen und Bioaerosolen

Konventionelle Verfahren: HEPA- und Aktivkohlefilter:

Funktionsweise: Abscheidung durch Anlagerung im Filtermedium

Merkmale: für breites Spektrum auslegbar, bekanntes Wirkungsgradverhalten, energie- und unterhaltungsintensiv, Schalleistungszunahme

Sonderverfahren: Luftionisierung bzw. Herstellung leitfähiger Luft

Funktionsweise: siehe nächste Folien, Erläuterung von 2 Verfahren

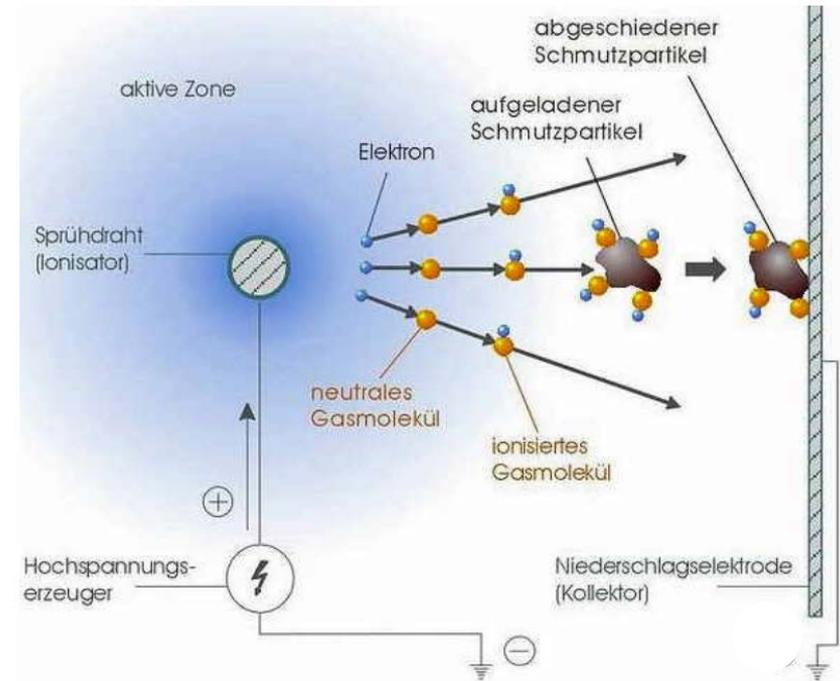
Merkmale: Kaltoxidation, Staubanlagerung, Ladungsverschiebungen

Verbundene Verfahren: Reihenfolge variierend, häufig:

Feinstaubfilter – Ionisierungsstufe - Abscheidefläche - Aktivkohlefilter

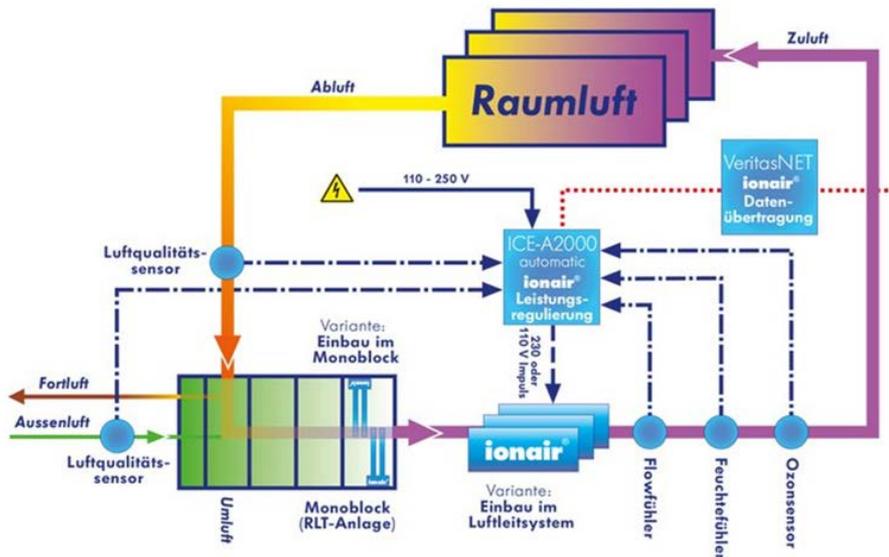
Verfahren 1: Basis: Korona-Entladung

- Ionisation mittels Hochspannung auf Ionisator (Gleich-, Wechselstrom)
- Kollektorfläche gegenpolig oder neutral
- Kollektorfläche kann aus denaturierendem Material bestehen
- Wegen des grossen Dipolmomentes wird zuerst Luftsauerstoff ionisiert
- Verfahren neigt zur NO- und O₃-Bildung



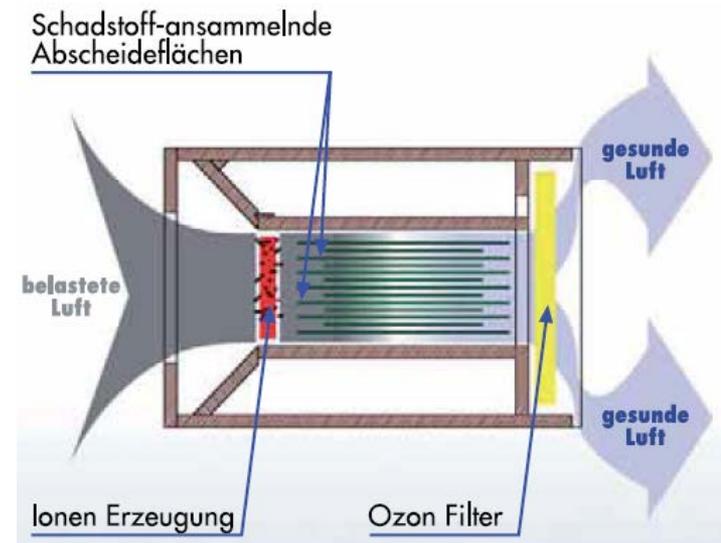
Minimierung, Verhinderung von Ozon-Austrag in Raum

Durch Regelung vom VOC/Ozon-Niveau



<http://www.ionair.ch/produkte.html>

Mit endständigem Aktivkohlefilter



http://www.efs-schermbeck.de/content/produkte_eco150.php



Überprüfung der Aussagen erforderlich....

Abbauprodukte durch NTP-Verfahren

Erwiesen bei Verfahren mit Ozon-Generation bei Kaltoxidation von VOC

Entstehung von:

- Formaldehyd (CH_2O , Methanal), wird aus leimhaltigen Produkten gelöst
- Stickstoffmonoxid NO reagiert zu Stickstoffdioxid NO_2

NTP-Verfahren ohne Ozongeneration bisher praktisch nicht bekannt

- Auch diese wären zu prüfen auf die o.g. unerwünschte Abbauprodukte

Wichtiges Versuchs-/Prüfkriterium: «Langzeit-Verhalten»:

- Versuche über längere Zeit in Umgebung mit abbaubaren Produkten: VOC, Kunststoffen, leimhaltigen Bauprodukten, ...
- Bisher gibt es keine Anforderung zur Langzeitprüfung in einem Regelwerk.

3.2 Zuluftqualität

Die Zuluft soll gesundheitlich unbedenklich und geruchsneutral sein. Zusätze geruchsaktiver Stoffe, auch in unterschwelligen (nicht bewusst wahrnehmbaren) Konzentrationen, sind unzulässig. Ausgenommen davon sind Verfahren zur Erhaltung oder Wiederherstellung von Eigenschaften der natürlichen Außenluft oder Anlagen, bei denen die Nutzer dem zugestimmt haben.

Die notwendige Zuluftqualität bestimmt sich aus der Vergleichsluft, den abzuführenden Lasten und dem gewählten Luftwechsel.

3.3 Vergleichsluft

Ziel der Hygiene-Bemühungen in der VDI 6022 Blatt 1 ist es, dass die Luft durch das RLT-Gerät oder die RLT-Anlage mindestens nicht verschlechtert wird. Der Nachweis der Zielerreichung erfolgt durch einen Vergleich der Zuluft mit der nachfolgend definierten Vergleichsluft.

Die Vergleichsluft entspricht entweder der gesundheitlich zuträglichen Außenluft oder der gesundheitlich zuträglichen Raumluft im Aufenthaltsbereich oder einer Luftqualität entsprechend den Mischverhältnissen.

Gesundheitlich zuträgliche Außenluft bedeutet, dass hinsichtlich der Luftverunreinigungen die geforderten Grenzwerte der Außenluft (u. a. nach WHO bzw. der EU-Richtlinie 2008/50/EG z.B. für die Feinstaubkonzentration) nicht überschritten werden.

Zuluft-, Raumluftqualität, Vergleichsluft...VDI 6022-1

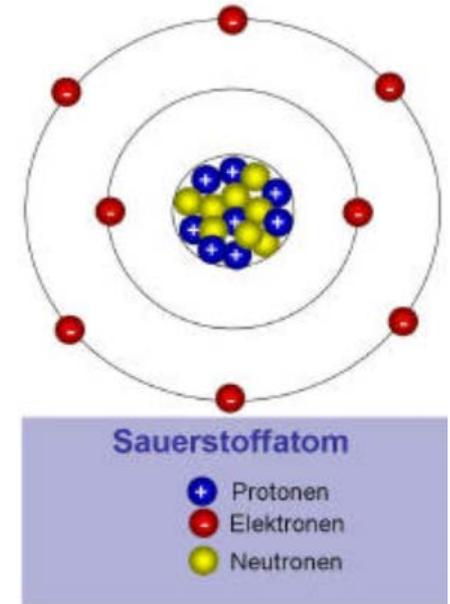
Tabelle 7.6-1: Grenz-, Richt-, Schwellen- oder Beurteilungswerte für Ozon (O₃)

	Wert in µg/m ³	Wert in ppm	Wert in ppb
„alter“ MAK-Wert (maximal 8 Stunden am Tag)	200	0,1	100
Schwellenwert für die Unterrichtung der Bevölkerung als Mittelwert über 1 Stunde	180	0,09	90
nach WHO und DIN EN 13779 [20] als Mittelwert über 8 Stunden	120	0,06	60
Beurteilungswert nach VDI 6022 Blatt 3 [5] Für RAL 1 bis RAL 3 Für RAL 4	60 120	0,06 0,12	30 60
gemäß VDI 2310 Blatt 15 [113] als Konzentrationsobergrenze für max. 0,5 Stunden	120	0,06	60
Wert der FDA* für Inhalationen während 24 Stunden	100	0,05	50
Zum Vergleich Konzentrationen in der Außenluft:			
– im Gebirge	60–120	0,03–0,06	30–60
– im Wald	40–60	0,02–0,03	20–30
– an der See	20–60	0,01–0,03	10–30
* Food and Drug Administration (FDA) ist die Arzneimittelzulassungsbehörde der Vereinigten Staaten.			

Verfahren 2: «Leitfähige Luft®» Herstellerangaben:

Merkmale:

- „Leitfähige Luft®“ unterscheidet sich von der ionisierten Luft dadurch, dass die (elektrische) Leitfähigkeit der Luft hergestellt und konstant gehalten wird.
- Luftmoleküle werden in einem hochfrequenten elektrischen Feld aktiviert.
- Die Raumflächen stellen den Kollektor dar.
- Regelung von Polarität und Anzahl der Ladungsträger, also des Luftionengehaltes.
- Die Lebensdauer der Ladungsträger beträgt mehrere Minuten, wenn sie keine Reaktionspartner im Raum finden.



Verfahren 2: «Leitfähige Luft®» Herstellerangaben:

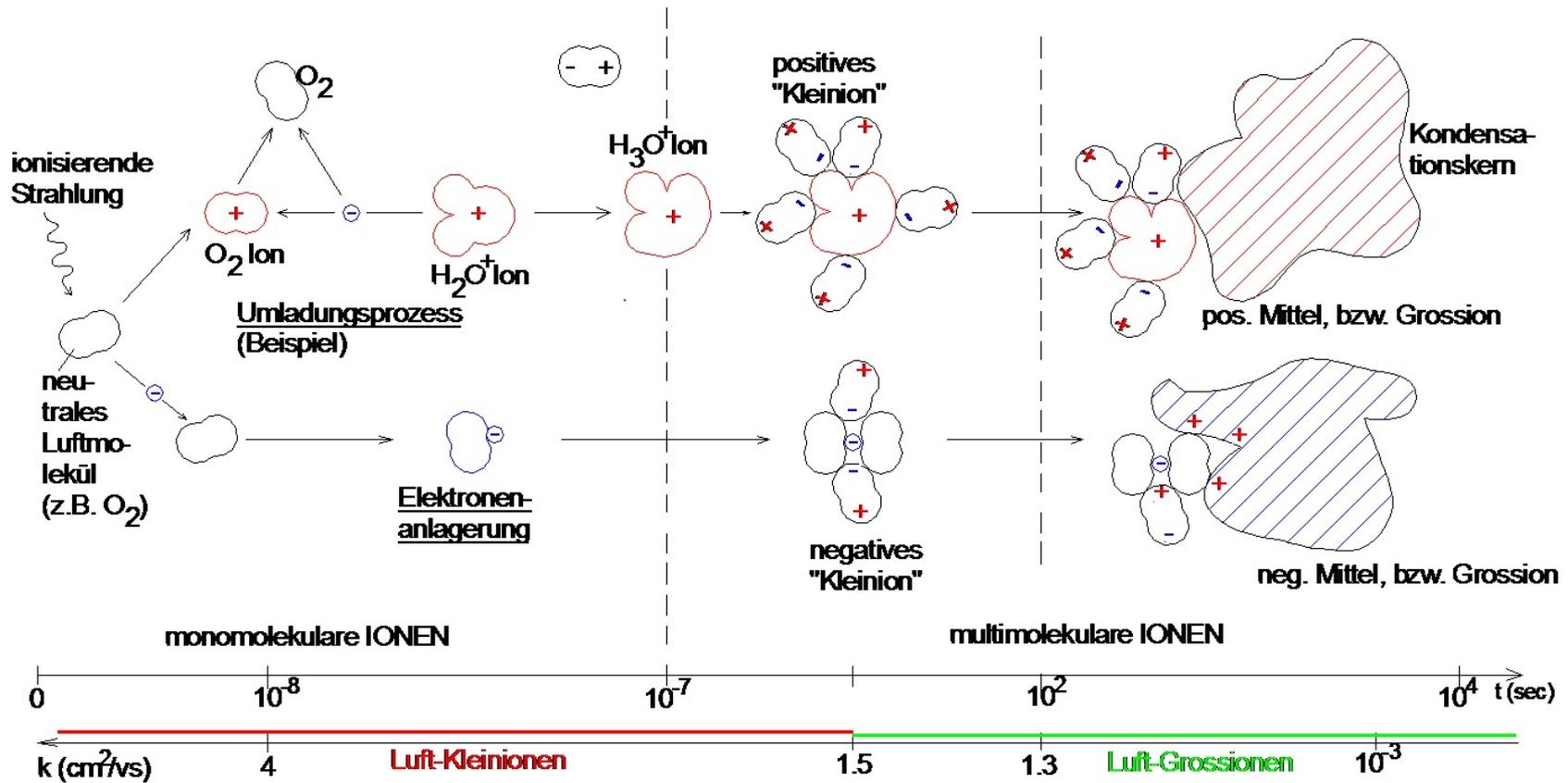
Auswirkungen/Nutzen laut Hersteller

- a) Der spezifische Aussenluftbedarf kann gesenkt werden.
- b) Leitfähige Luft kann Sauerstoffgehalt im Blut signifikant verändern.
- c) Positive und negativ geladene Partikel können an neutralen und geladenen Oberflächen im Raum angelagert werden.
- d) Elektrostatische Ladungen können über den Luftweg abgeleitet werden.



Überprüfung der Aussagen durch Publikationen
und eigene Versuche an der HSLU.

Vertiefung zum Verständnis von elektrisch leitfähiger Luft: Unterscheidungskriterium Klein- und Grossionen, Beweglichkeit k



<http://www.s-leit.ch/>

Vertiefung: Beweglichkeit von Klein- und Grossionen

Einteilung von Luftionen nach Molekül-Durchmesser und Beweglichkeit im elektrischen Feld

Beispiel:

je Sekunde und im gleichen elektrischen Feld beträgt der verhältnismässige

Beweglichkeitsunterschied:

$$k_{KI} / k_{GI} = 4 / 10^{-3} = 4\ 000$$

D.h. Kleinionen können sich grössenordnungsgemäss um das 4000-fache schneller bewegen im Raum als Grossionen.

Kleinion

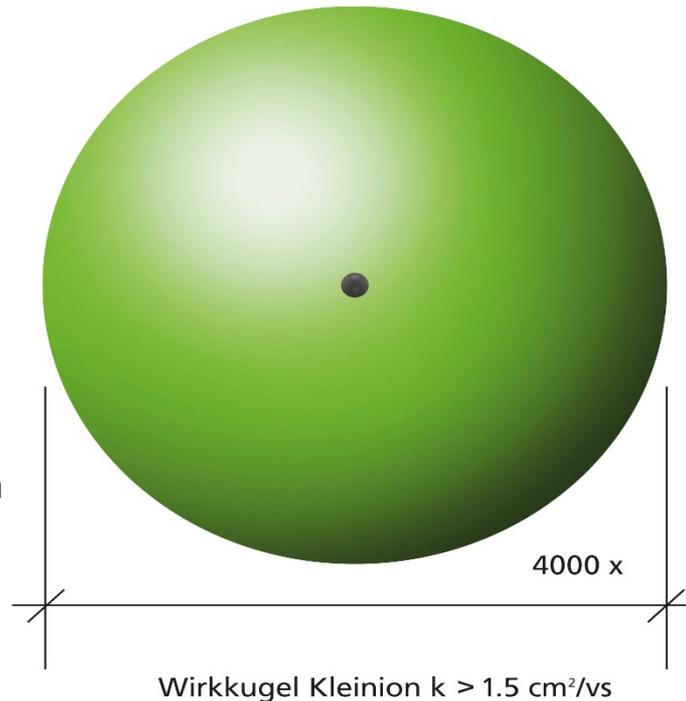
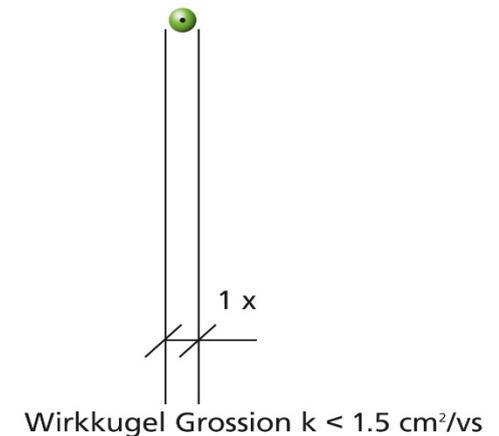


Bild: Wirkkugel Ionen

Grossion

Die Beweglichkeit geladener Schwebstoffpartikel ist mindestens 4000 x kleiner als das ursprüngliche Kleinion. Im Raum heisst das $2.6 \cdot 10^{11}$ x kleiner!



Vertiefung: Luftbewegung und Luftionengehalt

Video Newton`sche Pendel

Das Video kann angesehen werden unter dem Link:

<https://www.hslu.ch/de-ch/technik-architektur/forschung/kompetenzzentren/zip/gesundheit-und-hygiene/>

Elektrisch leitfähige Luft benötigt also:

- Bewegte Luft: eine mechanische Raumlüftung
- Am Luftdurchlass eine Luftionisationsquelle, die auch «freie» Elektronen generiert.
- Eine Regelung dieser Technik je nach Abfluss von negativer oder positiver Ladung

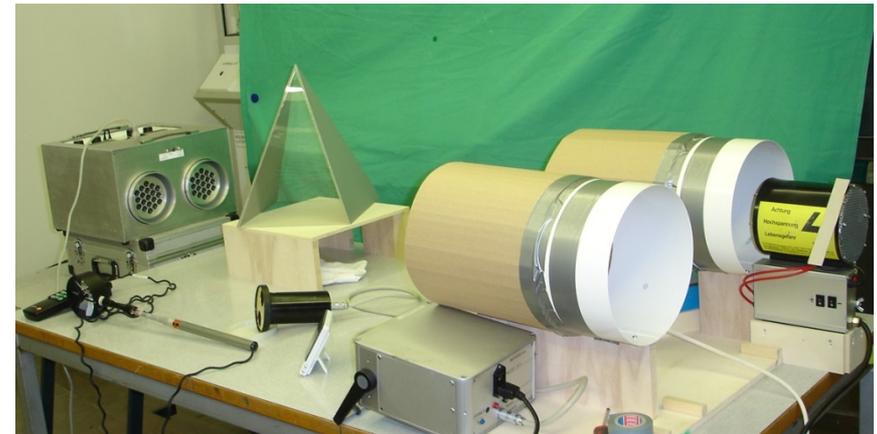
Vorteile dieser Technik:

- Positive und negativ geladene Partikel können an neutralen und geladenen Oberflächen im Raum angelagert werden.
- Elektrostatische Ladungen können über den Luftweg abgeleitet werden.

Prüfung: Wirksamkeit von Luftionisationsverfahren

Wunschziele:

1. Anhebung Luftionenzahl
2. Naturnahes Ionenzahlverhältnis
3. Abbau statischer Aufladungen
4. Keine Ozongeneration
-



Demonstrationsversuch:

Versuch:		RAL-1	RAL-2	RAL-2	IA-1	IA-2	LL-1	LL-2
Geräteart:		kein Gerät	kein Gerät	kein Gerät	Korona1	Korona1	s-leit	s-leit
Versuchszeit	min.	0	0	5	0	5	0	3
Luftionen neg.	(-)	2500	2000	2000	2000	1000	2500	8000
Luftionen pos.	(-)	600	300	100	200	2000	600	3500
Anströmgeschw.	m/s	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Ladung PE (+)	V/cm	0	9000	3000	10000	5000	6000	1000
Ladung PVC (-)	V/cm	1000	13000	4000	10000	5000	10000	1000
Lufttemp.	°C	25.4	26.1	26.2	26	26.1	25.9	25.9
Luftfeuchte	% r.F.	60	52	52	52	52	53	53
Ozongeruch	(-)	nein	nein	nein	nein	ja	nein	nein

Prüfung: Wirksamkeit von Luftionisationsverfahren

Wunschziele:

1. Anhebung Luftionenzahl
2. Naturnahes Ionenzahlverhältnis
3. Abbau statischer Aufladungen
4. Keine Ozongeneration....



Ergebnisse: Relativ- und Verhältnis-Werte:

	<u>Einheit</u>	<u>Bezeichnung</u>	<u>RAL: Anfang</u>	<u>RAL-alleine</u>	<u>Korona-Gerät</u>	<u>s-leit-Gerät</u>
Neg.Luftionen: (Ende-Anfang)/Anfang	%	Anhebung		0	-50	220
Pos.Luftionen: (Ende-Anfang)/Anfang	%	Anhebung		-67	900	483
Verhältnis: neg./pos. Ionen, Ende	(-)	Ionenverhältnis	4.2	6.7	0.5	2.3
Ladung PE: (Ende-Anfang)/Anfang	%	Ladungsabbau		-67	-50	-83
Ladung PVC: (Ende-Anfang)/Anfang	%	Ladungsabbau		-69	-50	-90
Versuchsdauer	min.	Versuchsdauer		5	5	3

Erkenntnisse:

- Beim Betrieb vom «Korona-Gerät» wird das 3. Wunschziel langsam erreicht
- ...und die Ziele 1., 2., 4 nicht erreicht.
- Beim Betrieb vom «s-leit-Gerät» werden die Wunschziele 1. – 4. erreicht.

Messung von Luft-Ionen: Mittlere Anzahl

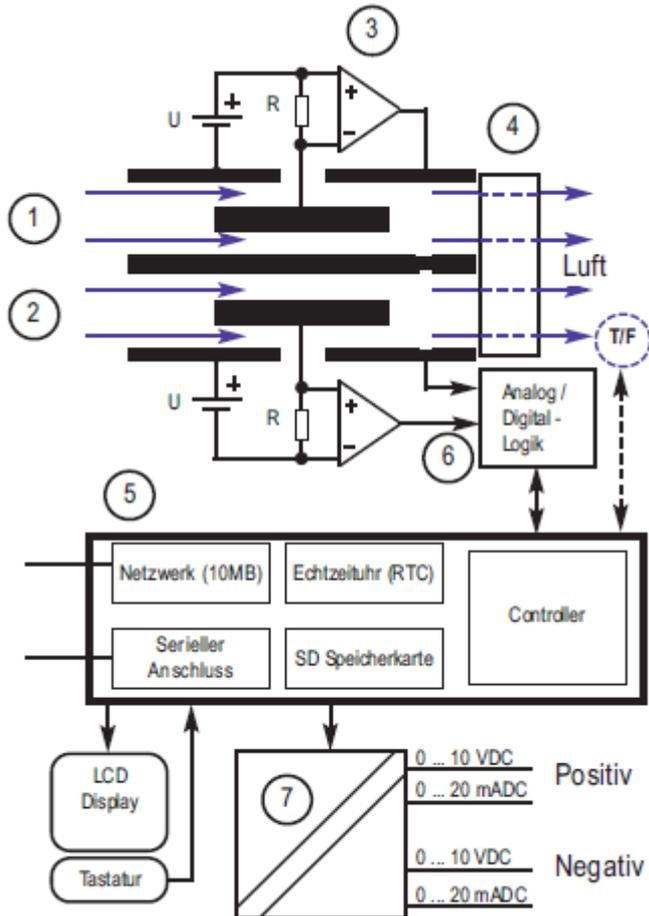


Bild 3 Das Messprinzip des IM806



Bild 1 Das Ionometer IM806

«Ionometer»:

- Zwei Rohrelektroden mit je einer Kernelektrode.
- Gleichspannungspotential ist angelegt.
- Durchströmende Luft-Ionen werden abgelenkt auf Kernelektrode und geben dort ihre Ladung ab.
- Mess-Signal: Fliessender Entladungsstrom ist proportional zum Spannungsabfall an hochohmigem Widerstand.
- Ergebnis: keine Unterscheidung Klein-/Grossionen
- Zahl ggü. Elementarladung, Kalibrierung nötig

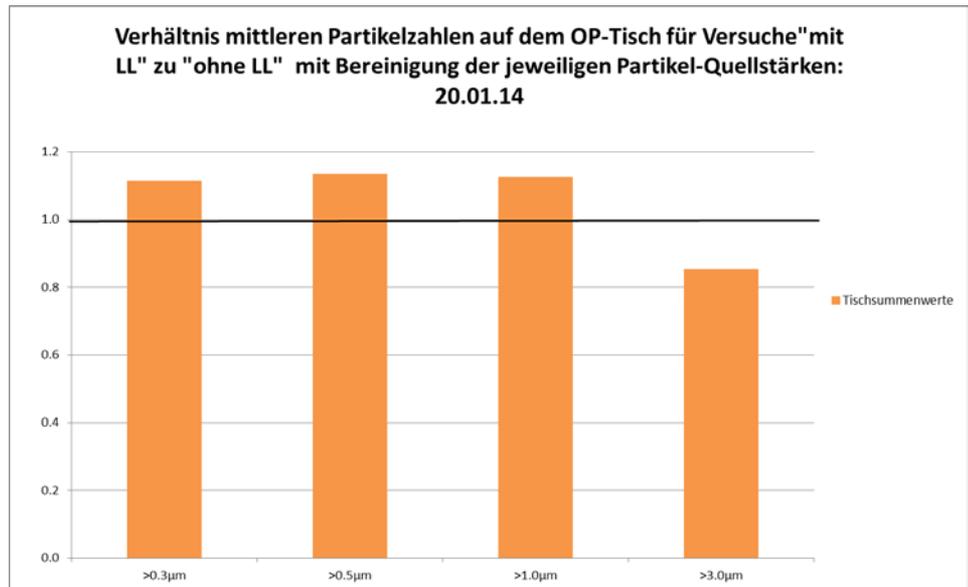
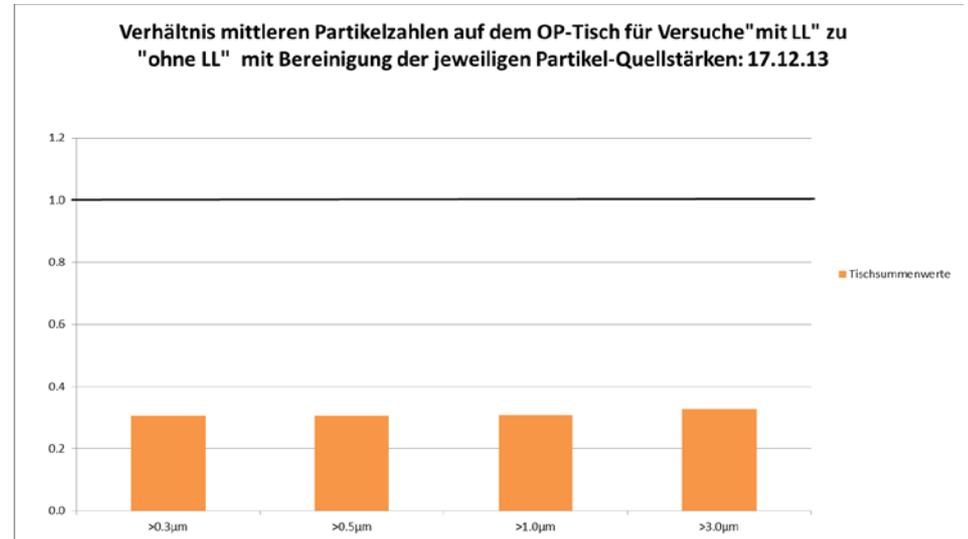
Überprüfung These: Positive und negativ geladene Partikel können an neutralen Raumboberflächen angelagert werden.

Verfahren 2: OP-Raum: Reduktion Partikelzahl auf OP-Tisch



Ergebnisse

- Reduktion erheblich,
- Wirkung ohne Regelung nicht anhaltend



Spitalanwendung: Neuartiges Lüftungskonzept mit «Leitfähige Luft®»

Hauptfunktionen: Luftreinigung, Temperierung und Druckhaltung mit Deckengerät:

(1,2): Flusen-Filter + Filterklasse F7

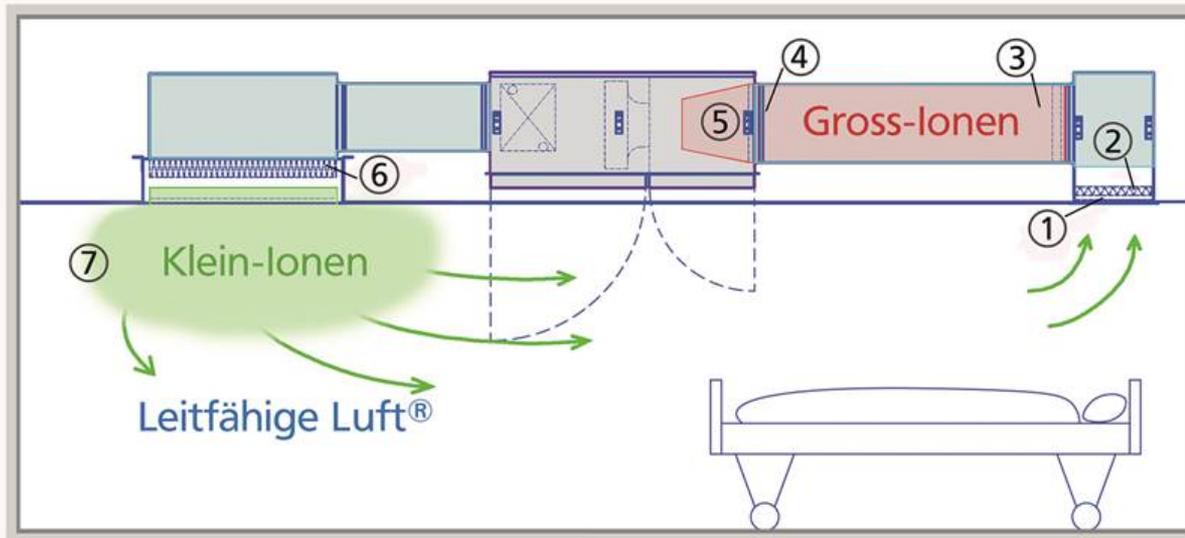
(3): Geruchsreduktion in Gross-Ionen-Katalysator

(4): TiO₂-Photokatalysator mit UVC-Einheit

(4,5): Luft-Gross-Ionen, Molekül-Cluster- Abscheider

(6): ZUL-Filterklasse F9 oder H13

(7): Kleinionen-Generation, System Leitfähige Luft®



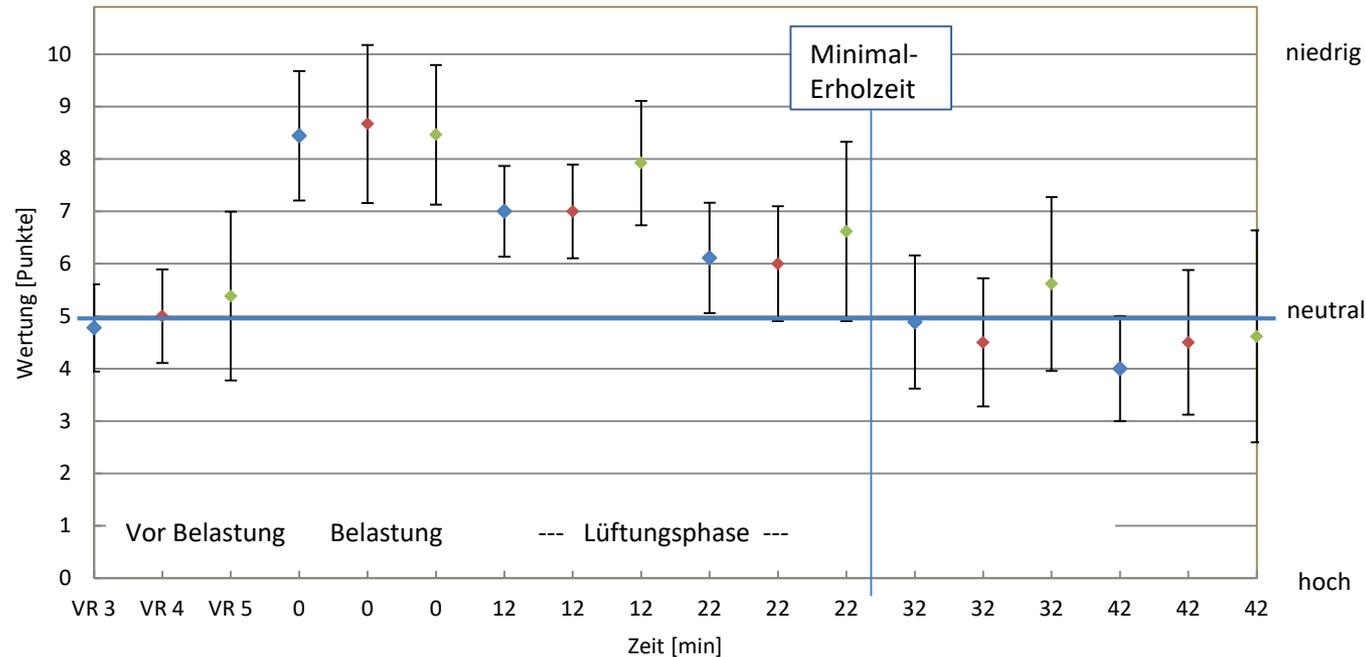
Energetischer Aspekt:
Bei 900 m³/h ZUL nur
ca. 180 W Strombedarf:
SPI-Klasse 1 (SIA 382-1)

Zusatzfunktion für Raum: Kleinionen-Generation und Verteilung
für bessere Luftqualität, Partikel-Clusterung, Minimierung statischer Aufladungen

Test der Luftreinigungsleistung vom «LUM 900»

Ergebnisse

LUM900-Versuche mit 22% AUL- und 78% UML-Anteil (LW12):
Verlauf "Empfundene Raumlufthqualität" nach Belastung bei 0 (28 Probanden)



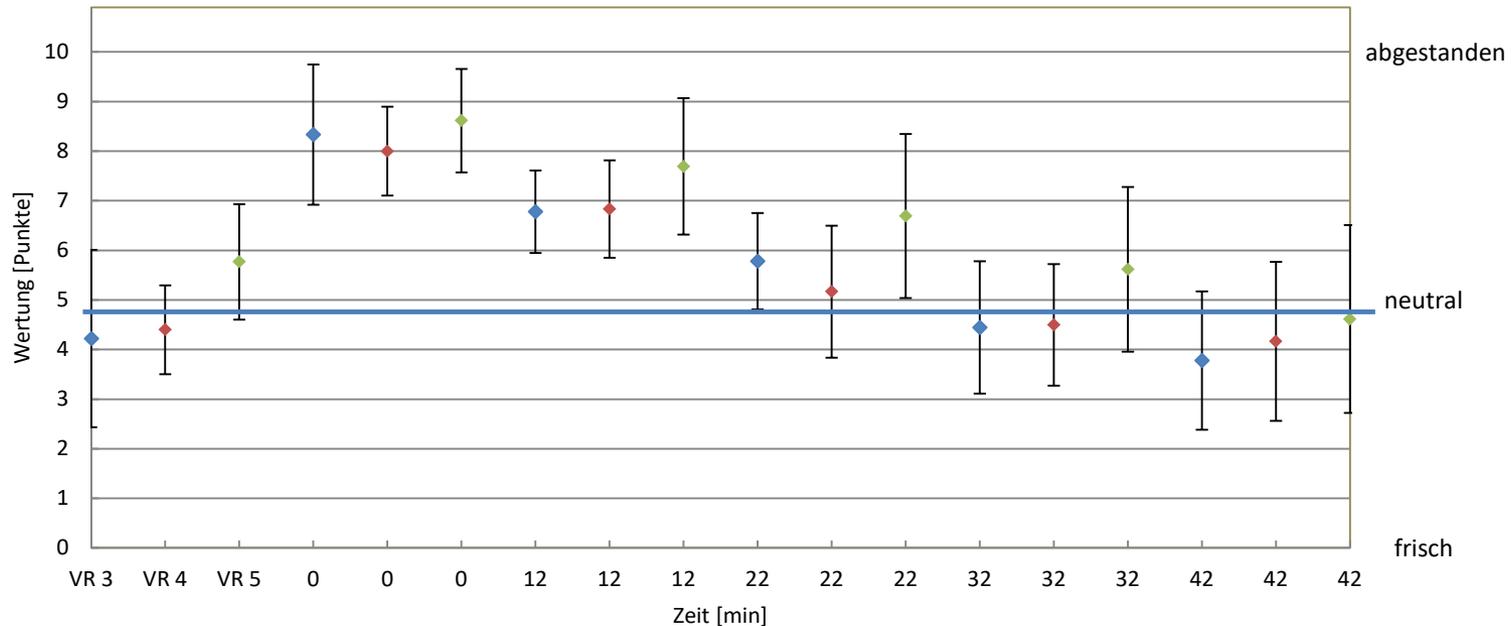
Erkenntnisse

- Anfangswert der empf. Raumlufthqualität wird nach 32 min. wieder erreicht.
- Bei 12 fachen Luftwechsel nur mit Aussenluft beträgt die Erholzeit (100:1) 23 min.

Test der Luftreinigungsleistung vom «LUM 900»

Ergebnisse

LUM900-Versuche mit 22% AUL- und 78% UML-Anteil (LW12):
Verlauf "Geruchseindruck" nach Belastung bei 0 (28 Probanden)



Erkenntnisse

- Anfangs-Geruchseindruck nach 32 min. wieder erreicht, dann sich weiter verbessernd.
- Bei 12 fachen Luftwechsel nur mit Aussenluft beträgt die Erholzeit (100:1) 23 min.

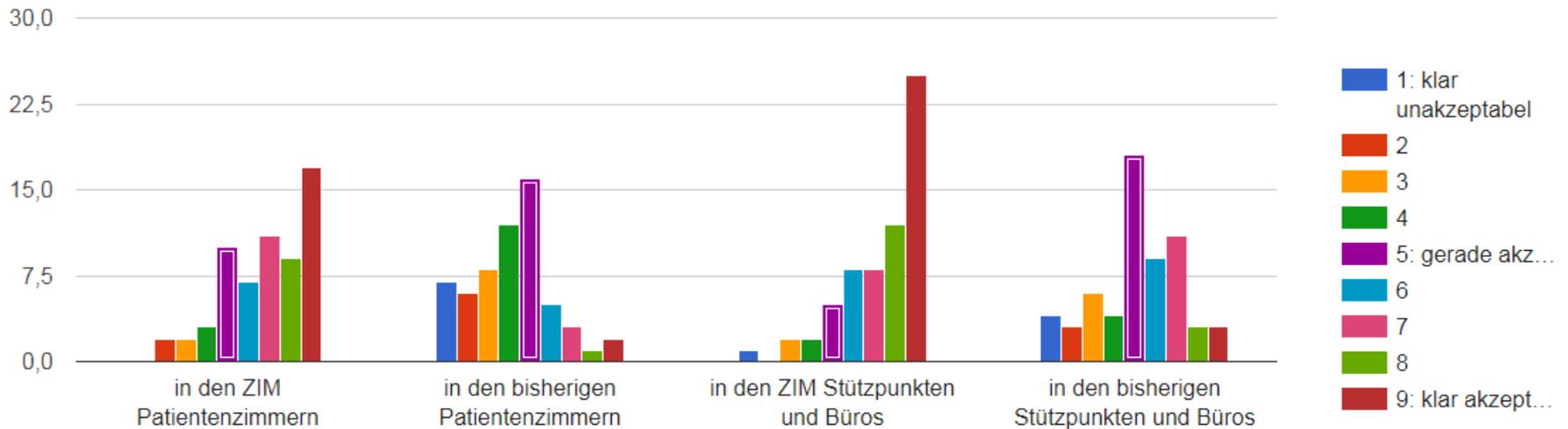
Neubauprojekt: Luzerner Kantonsspital (LUKS)

- 4-geschossiges Gebäude - angedockt an Spitalzentrum
- Nutzung: Interdisziplinäres Notfallzentrum und Intensivmedizin (ZNI)
- Gebäudevolumen $32\ 800\ \text{m}^3$, Bruttogeschossfläche $7\ 500\ \text{m}^2$
- Geschlossene Fassade (keine Fensterlüftung)
- Keine Dachaufbauten für Technik (Lüftungstechnik)
- Nutzer will Intensivpflegezimmer auch für immunsupprimierte Patienten
- Folge: 12-facher Luftwechsel (LW) nötig.
- Max. AUL-Strom für 4-fachen LW.
- Möglich: Kombiniertes AUL-UML-Deckengerät mit System Leitfähige Luft®



Befragungsergebnisse:

Die Intensität von Geruchsbelastungen (Höhe und Andauer) ist / war



Raumluftwechsel: ZNI-Patientenzimmer: 12 h⁻¹, bisher ca. 4 h⁻¹ + öffentbare Fenster

Erkenntnisse

- Die Geruchsbelastung ist eindeutig viel akzeptabler im ZNI als bisher (Wiederholung der Befragung: Juni 2019: ähnliche Ergebnisse)

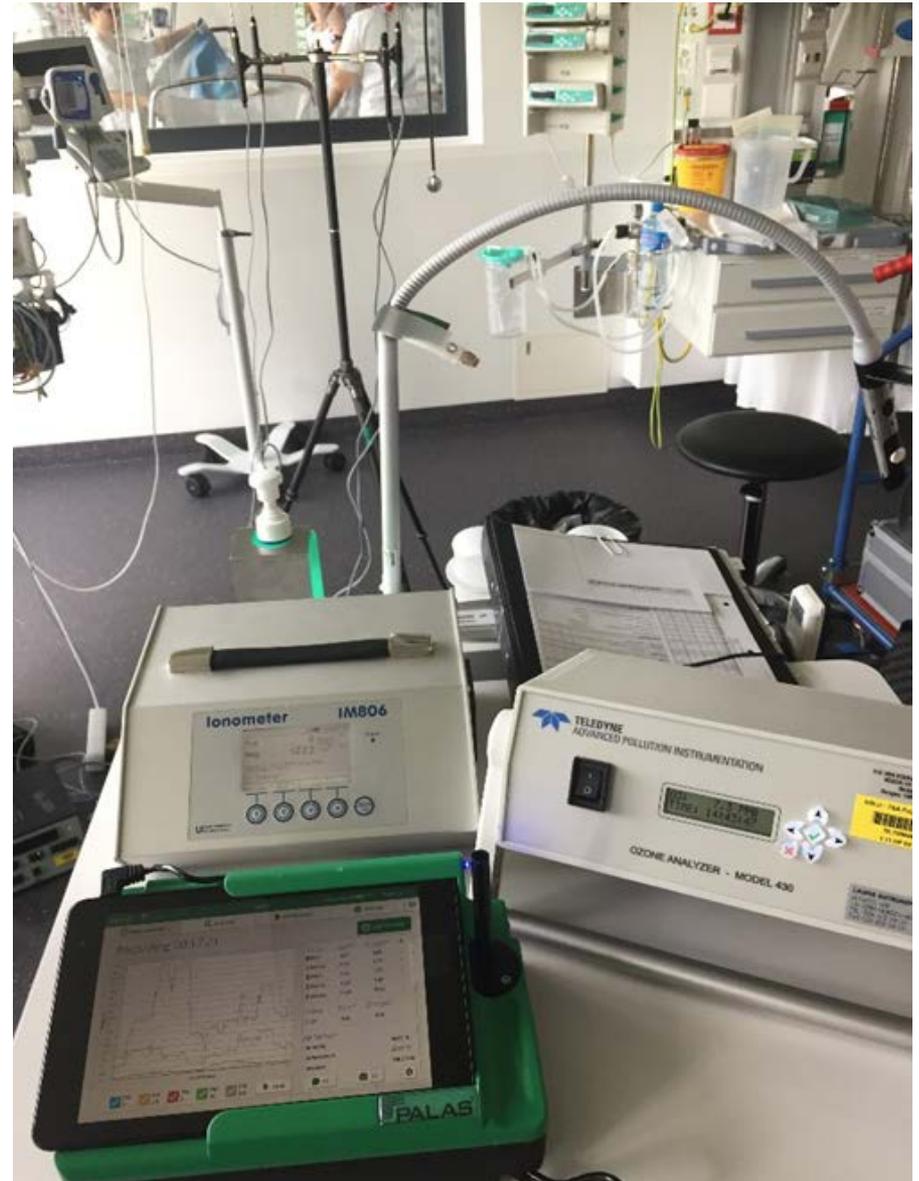
Messergebnisse LUKS-ZNI 2019:

Ort: Intensivpflegezimmer, 2er Koje

- Ionenzahlen,
- Feinstaubgehalt
- Ozonkonzentration
- Thermische Kennwerte

Erkenntnisse

- Feinstaubbelastung ist minimal
- Negative Ionenzahl erhöht
- Pos. Ionen auf Minimum geregelt
- Keine Ozonbelastung im Raum



Elektrosmog, erste Messungen an Büroarbeitsplätzen:

Problematik:

- Niveau steigt durch PC, LED, WLAN, G5, IoT-Entwicklungen
- Zu unterscheiden in tieffrequente magnetische und elektromagnetische Felder
- Und hochfrequente Strahlung

Erkenntnisse

- Bei Wiederherstellung von der elektrischen Leitfähigkeit der Raumluft wird die Elektrosmogbelastung massiv gesenkt



Luftionengehalt – Wieso Behaglichkeitskenngrösse?

- Feinstaub, VOC, elektrische geladene Oberflächen beeinträchtigen eher zunehmend Raumnutzer.
- Ein höherer neg. Luftionengehalt gilt als gesundheitlich zuträglich.
- Naturnahe Luft hat einen erheblich höheren Luftionengehalt als die Luft nach Luftaufbereitungsanlagen.
- Luftionisationsverfahren können diese Verschlechterung positiv beeinflussen.
- Und das praktisch ohne Mehrplatz- und Mehrenergiebedarf.
- Es bestehen noch viele Wissenslücken zur Messbarkeit ihrer wesentlichen Grössen, ihrem Langzeitverhalten, den Nebenwirkungen.
- Folglich fehlt auch eine standardisierte Systemprüfung für NTP-Verfahren.

Planungshinweise zur Verwendung von Luftionisationssystemen

- Jedes Luftionisationssystem braucht eine Lüftungsanlage: Luftbewegung.
- Luftionisationsverfahren sind immer auf ein spezielles Spektrum von Raumlasten auszulegen und zu betreiben (Feinstaub, VOC, Bioaerosole, Frischeempfinden) .
- Ozon generierende Luftionisationsverfahren sollten nur zur Anwendung kommen mit O₃-Regelung (unter der Wahrnehmbarkeitsgrenze) oder mit O₃ Abscheidungsstufe.
- Das spezielle System «Leitfähige Luft[®]» generiert kein Ozon und kann daher im Raum erheblich umfassender eingesetzt werden.
- Luftionisationsverfahren können bisher nicht einheitlich geprüft werden. Daher sind Messberichte mit ca. 4 Wochen-Erprobungsphasen wichtig.
- ...

Zusammenfassung

- Es ist davon auszugehen, dass «gute» Raumluftqualität zunehmend umfassender definiert und mehr eingefordert wird.
- Luftionisationsverfahren sind eine prinzipiell hilfreiche Technik zur Verbesserung der Raumluftqualität ohne energetische und räumliche Steigerung des Technikbedarfes.
- Ihre Möglichkeiten und Grenzen müssen allerdings umfassender untersucht und bekannter werden.
- Die Branche hat damit eine grosse Chance, sich für die Raumluftqualität als Ganzes verantwortlich und kompetent zu zeigen.

