

online | Vortrag gehalten vor der Gesundheitstechnischen Gesellschaft am 22. April 2021.

Mikroben im Gebäudekontext. –Teil 1 COVID-19 Forschungsdefizite an der Schnittstelle Gebäudetechnik-Mensch

Walter J. Hugentobler, Gerra-Gambarogno, Schweiz

Einleitung

Luft ist das größte soziale Medium aller Zeiten seit Anbeginn der Menschheit. Jedermann nimmt daran teil, unangemeldet, obligatorisch und bis zum letzten Atemzug. Die COVID-19-Pandemie hat uns daran erinnert, dass wir die Luft miteinander teilen. Außenluft wird zu Raumluft und schließlich zu Atemluft. Die Vorstellung, dass dieses lebensnotwendige Elixier Luft mit potentiell tödlichen Keimen angereichert sein kann ist etwas, dass die Menschheit seit vielen Jahrhunderten ängstigt und beschäftigt. Unser Umgang mit diesem Medium lässt zu wünschen übrig. Luft gehorcht den thermodynamischen Gesetzen und bewegt sich selbständig in Richtung Druck-, Temperatur- und Diffusionsgradienten. Wir sollten wieder lernen, diese Naturgesetze in unseren Gebäuden intelligent zu unserem Vorteil zu nutzen.

Luft atmen, die in der Lunge einer anderen Person war

Am 19. April 2021 hat die Swiss National COVID-19 Taskforce eine Empfehlung herausgegeben für den Einsatz von CO₂-Sensoren in Schulen und Innenräumen. Diese Messung sollte auch für Temperatur und Luftfeuchtigkeit behördlich für alle öffentlich zugänglichen Räume angeordnet werden, um sinnvolle Lockdown-Maßnahmen zu ergreifen. Zitat:

„Um den Sinn dieser Grenzwerte zu verstehen ist es hilfreich sich vor Augen zu halten, dass die CO₂ Konzentration in frischer Außenluft bei ungefähr 400 ppm liegt und die Konzentration des CO₂ in der Ausatemluft bei rund 40'000 ppm liegt. Dies bedeutet beispielsweise, dass bei Raumluft mit einer CO₂ Konzentration von 1000 ppm, bei fehlenden anderen CO₂ Quellen außer Personen, 400 ppm der total 1000 ppm *natürlich* sind, während die restlichen 600 ppm CO₂ von anderen Personen im Raum ausgeatmet wurden. In einem Raum mit 1000 ppm, war ein Anteil von 1.5% der Raumluft (600 ppm/40'000 ppm), die von allen geatmet wird, bereits in der Lunge einer anderen Person. Bei 1200, 1400 oder 2000 ppm sind das 2%, 2.5% respektive 4%.“

Diese Analyse zeigt: Wenn wir sozial miteinander interagieren wollen, wenn wir in Gebäuden gemeinsam arbeiten und leben wollen, dann werden wir zwangsläufig diese Luft miteinander teilen müssen.

Erkenntnisse zu COVID-19

Die Menschheit hat im 20./21. Jahrhundert und in den letzten 20 Jahren etliche Pandemien erlebt. Wenn man Epidemiologen fragt, ist die Frage nicht, ob, eine nächste Pandemie auftreten wird, sondern wann, mit welchem Virus und wie gefährlich diese sein wird. Das Handling der vergleichsweise harmloseren Schweinegrippe hat die Gesundheitsbehörden und auch die Politik an Glaubwürdigkeit gekostet, wie auch bei der aktuellen Pandemie.

Einige der wichtigsten Erkenntnisse aus anderthalb Jahren COVID-Pandemie: SARS-CoV-2 Viren sind sehr ansteckend. Sie werden über größere und kleinere Tröpfchen übertragen, in allererster Linie über schwebefähige Tröpfchen (Aerosole) und in allererster Linie in geschlossenen Räumen (Gebäuden, Fahrzeugen, Flugzeugen etc.) übertragen. Es sind noch keine Medikamente bekannt, welche die Virenverbreitung im Körper direkt eindämmen können. Es gibt inzwischen eine ganze Anzahl von hochwirksamen Impfstoffen. Und: Die kontakteinschränkende Maßnahmen, die verfügt werden mussten, bringen unsere Gesellschaft an den Rand der Belastbarkeit: wirtschaftlich, sozial, ethisch und politisch.

Spannend ist, was wir in anderthalb Jahren Pandemie über das Virus noch nicht wissen: Wir kennen das infektiöse Quantum noch nicht, d.h. die Anzahl infektiöser Viren die statistisch bei 50% der Infizierten eine Infektion auslösen. Wir wissen nicht, wie viele infektiöse Viren in der Raumluft vorhanden sind, d.h. Viren pro Kubikmeter Luft und auch nicht wie viele infektiöse Viren in einzelnen, größeren oder kleineren Tröpfchen vorhanden sind. Wir kennen den Einfluss des Sonnenlichtes auf die Inaktivierung der SARS-CoV-2 Viren, aber nicht den Einfluss des Tageslichts in Gebäuden.

Wir wissen nicht, ob die direkte Infektion der tiefen Lungenabschnitte durch Mikro-Tröpfchen möglich-selten-häufig ist. Wir wissen nicht genau, wie die Zusammensetzung der Begleitsubstanzen (=Matrix) ist für die einzelnen Mechanismen, bei denen Tröpfchen produziert werden. Die bisher entwickelten Risikomodelle sind nützlich, berücksichtigen jedoch einige biologische Faktoren noch ungenügend.

Mit den momentanen Risiko-Modellen kann eine Risikoabschätzung erfolgen. Über die effektive Exposition im Sinne einer eingeatmeten Virendosis pro Zeit oder Luftvolumen können jedoch keine Angaben gemacht werden. Die Gebäudetechnik spielt eine herausragende Rolle bei dieser Pandemie – sowohl in ihren Auswirkungen auf den Menschen als auch auf die Biologie der Viren. Es sind insbesondere die Austauschflächen des Menschen, die im direkten Kontakt stehen mit der Raumluft, die von der Gebäudetechnik beeinflusst werden.

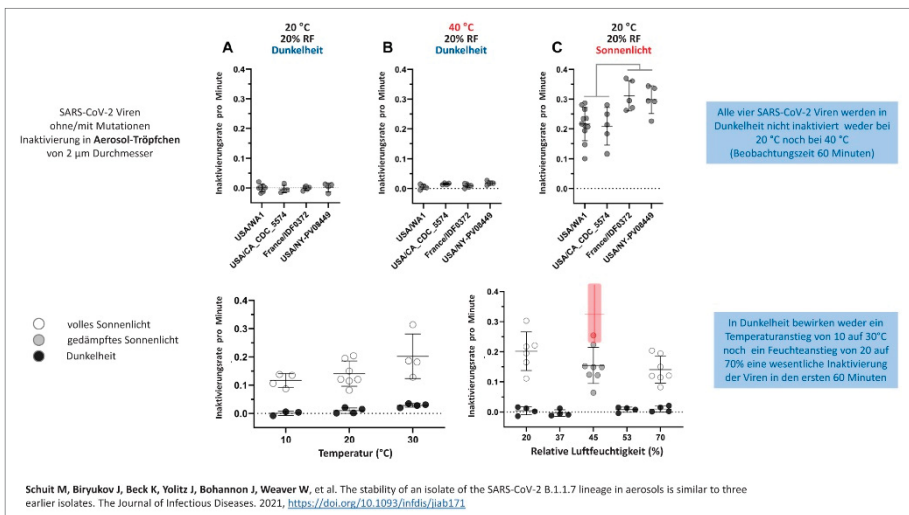
Zur Biologie der Viren.

Viren leben nicht. Sie haben keinen Stoffwechsel, können deshalb auch nicht sterben, nicht tot sein, sie haben keine Überlebenszeit. Viren können intakt und infektiös sein. Sie können aber auch defekt oder inaktiviert oder nicht mehr infektiös sein. Viren können sich nur in lebenden Zellen vermehren. Sie haben die komplexe Eigenschaft der Infektiosität, sie können Gewebe und Organe infizieren und in Zusammenarbeit mit dem Immunsystem nachhaltig schädigen. Sie sind von Mensch zu Mensch übertragbar, am häufigsten über die Luft, über Wasser oder über Nahrung. Viren als Einzelpartikel existieren nicht. Es gibt keine Viren als stand-alone-Partikel. Sie sind immer begleitet von biologischen Substanzen, der Matrix. Wenn diese infektiösen Mikrotröpfchen aus den Atemwegen stammen, dann sind die Viren suspendiert in einer Vielzahl von Substanzen, suspendiert im Wasser. Diese Tröpfchen enthalten Salze, einfache und polymere Eiweiße, Enzyme, Lipide und Immunglobuline und Zellabbauprodukte in wechselnder Zusammensetzung. Immer sind die Viren in irgendeiner Form von Körperflüssigkeiten begleitet. Substanzen in der Matrix können protektiv sein wie z.B. die Muzine, ein höherer Salzgehalt wirkt inaktivierend.

Einfluss der Lichtverhältnisse

Wenig bekannt ist der entscheidende Einfluss der Lichtverhältnisse. Das natürliche Tageslicht in unseren Gebäuden entspricht nicht dem Außenlicht, dem Sonnenlicht. Architektonisches Glas absorbiert und reflektiert den allergrößten Anteil von UV-A und UV-B, der in unseren Gebäuden fehlt. In unseren Gebäuden gibt es häufig Kunstlicht, auch Dunkelheit. Diese Einflüsse sind bisher viel zu wenig in die Risikobeurteilung eingeflossen.

Werden mutierte Viren, wie sie in den letzten Monaten aufgetreten sind, allenfalls deshalb leichter übertragen, weil sie in der Umwelt weniger stark inaktiviert werden?



Untersucht wurde die Inaktivierung in der Dunkelheit und im vollen Sonnenlicht. In der Dunkelheit brachte ein Temperaturanstieg von 20° auf 40° keine Veränderungen der Inaktivierungen. Im beobachteten Zeitraum von 60 Minuten konnten diese Viren in der Dunkelheit nicht deaktiviert werden. Alle Tests wurden bei 20% Luftfeuchtigkeit durchgeführt. Im Moment jedoch, wo das Sonnenlicht dazu kommt, werden alle vier untersuchten Viren sehr rasch in Minuten inaktiviert, die älteren noch nicht mutierten Viren eher als die neueren mutierten Viren.

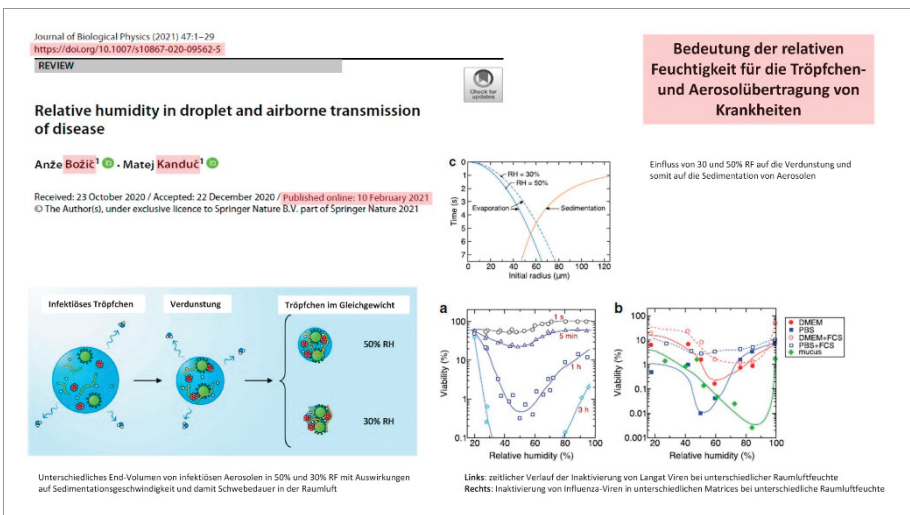
Das heißt: die erhöhte Übertragbarkeit ist wahrscheinlich eine biologische Eigenschaft der mutierten Viren, die entsprechend effizienter infizieren können, weil sich z.B. die Spike-Proteine verändert haben. In der Dunkelheit passiert nichts, auch wenn man die Temperatur steigert oder die Feuchtigkeit variiert. Sobald Sonnenlicht dazu kommt, nimmt die Inaktivierung der Viren bei ansteigender Temperatur zu. Sie ist auch unterschiedlich bei unterschiedlicher Luftfeuchtigkeit.

Am höchsten ist die Inaktivierung bei tiefer Luftfeuchtigkeit zu beobachten, am niedrigsten bei hoher Luftfeuchtigkeit. Das stimmt sehr gut überein mit dem, was wir aus früheren Versuchen wissen.

Konditionierung der Luft

Die Aerosoltröpfchen, die wir abgeben, haben eine Temperatur von ungefähr 33° aus feuchtigkeitsgesättigter Luft. Wenn diese Tröpfchen in der Raumluft ankommen, müssen sie sich an die Raumluftbedingungen anpassen, d.h. es erfolgt in erster Linie eine Verdampfung bis zum Gleichgewicht mit der Raumluft. Das bedeutet im Einzelfall, dass die Tröpfchen ungefähr auf die Hälfte ihres ursprünglichen Durchmessers und auf 1/16 ihres ursprünglichen Volumens schrumpfen. Damit verbunden ist eine massive Substrataufkonzentration in der Matrix. Es kommt zu so genannten Supersaturierungen, ebenfalls wiederum 16mal die Konzentrationen, die wir in physiologischen Körperflüssigkeiten finden.

Gleichzeitig führt die Verdampfung zu einer Verdunstungskühlung, das Tröpfchen muss sich auch der Temperatur im Raum anpassen. Während diesem Schrumpfungsprozess (Evaporation) finden diverse hochkomplexe physikalisch-chemische Prozesse statt, die bis heute erst theoretisch verstanden werden. Noch niemandem ist es gelungen, diese Prozesse im Detail zu beweisen und zu beweisen, weshalb nun z.B. das Virus in der einen Situation inaktiviert wird und in der anderen nicht.

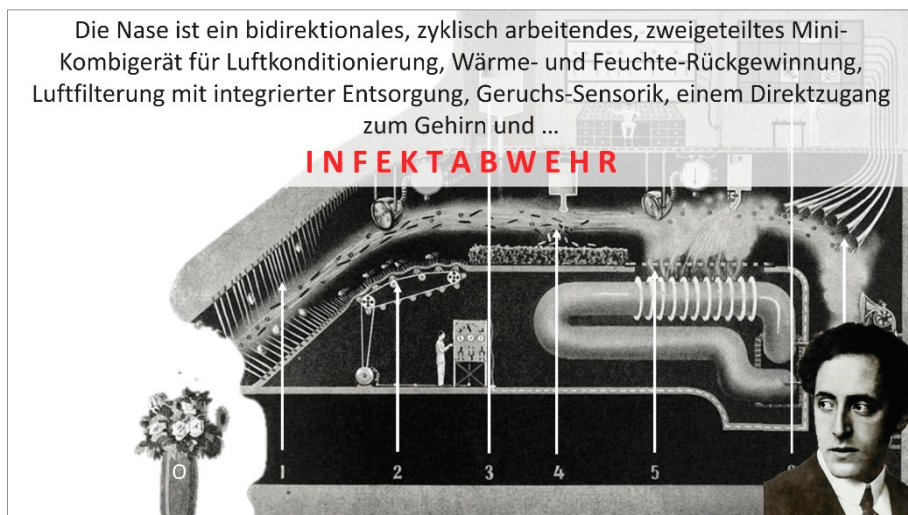


Wichtig ist, dass es die so genannte Effluoreszenzfeuchte gibt, der Feuchtwert, unter demselben die in den Tröpfchen vorhandenen Salze auskristallisieren.

Das dominante Salz in physiologischen Flüssigkeiten ist das Natriumchlorid mit einer Effluoreszenzfeuchte von zwischen 40-44%. Im mittleren Feuchtebereich kommt es zur vollständigen Vertrocknung dieser Tröpfchen. Es ist davon auszugehen, dass die in diesen auskristallisierten Salzen enthaltenen Viren sozusagen konserviert werden, aktiv bleiben, bis zu dem Moment, wo sie wieder eingeatmet werden und in den Atemwegen eine erneute Rehydrierung stattfindet. In hoher und auch bei tiefer Luftfeuchtigkeit besteht demnach ein hohes Risiko der Übertragung, weil die Infektiosität erhalten bleibt. Das geringste Risiko bezieht sich auf die mittlere Luftfeuchtigkeit.

Aufgabenverteilung zwischen HKL und Nase

Die HKL verwandelt Außenluft in Raumluft. Es ist die Aufgabe der Nase, diese Raumluft so anzupassen, dass sie für den Gasaustausch ideal ist. Das bedeutet, dass die Nase diese Luft auf 37° und 100% auffeuchten und erwärmen muss. Die HKL bietet lediglich eine Präkonditionierung für Luft, die finale Konditionierung muss von der Nase geleistet werden. Die Luft wird im Winter vom Heizungssystem etwas temperiert auf 22-24°. Die Enderwärmung erfolgt durch die Nase. Hier wird die Nase von der HKL überhaupt nicht entlastet.



Das Problem ist, dass wir im Winter in Kontinentaleuropa eine sehr tiefe Luftfeuchte haben 3,5 bis 4g/Kubikmeter und dass wir sehr selten befeuchten, d.h. die absolute Feuchte im Gebäude ist anhaltend tief ebenfalls bei rund 4g und die Luft muss nun, um vollständige Sättigung bei 37° zu erreichen, auf 44g aufgesättigt werden. Das heißt: Wir müssen pro Kubikmeter veratmeter Luft 40g Wasser zufügen. Das ist eine hohe Leistung, die von der Nase erbracht werden muss. Ältere Menschen oder Personen mit Risikofaktoren und Zusatzkrankungen können das nicht ohne Weiteres leisten.

Mechanismen der Infektabwehr

Es gibt nur zwei Eintrittspforten für die Viren: Nase und Mund, selten über die Augen. Hier erfolgt der Abwehrkampf zwischen dem Körper und den Viren, die über die Schleimhaut und das Lymphsystem eindringen wollen. Von entscheidender Bedeutung ist die Immunität der Nasenschleimhaut, der Bronchialschleimhaut und dazwischen der Schleimhaut von Mund und Rachen und, für eine optimale Funktion dieser Abwehr, das Mikroklima in der Nase. Es macht einen großen Unterschied, ob wir die Luft über die Nase einatmen oder über den Mund. Die Nase erbringt von der zuvor angesprochenen Befeuchtungsleistung rund 90%. Am Ende der Nase ist die Luft bereits 90% aufgefuechtet und rund 35° warm. Das ist entscheidend für eine effiziente Infektabwehr, für die der Nasenraum prädestiniert ist und ebenfalls der Bronchialraum.

Der Nasen-Rachenraum ist der Ort der geringsten Infektabwehr, die Achillesferse, der locus minoris resistentia, wie Mediziner sagen. Hier sind wir verwundbar, insbesondere dann, wenn die Temperaturbedingungen nicht eingehalten werden. Wird trockene Luft von 20° durch den Mund eingeatmet, trocknet der Hals rasch aus, es erfolgt hier eine Abkühlung. Die Bedeutung dieser Temperaturen hat die Forschergruppe von Akito Awasaki in Yale nachgewiesen: dass die Erkältung mit Kälte etwas zu tun hat. Sie hat bewiesen, dass die Erkältung, die durch Rhinoviren ausgelöst wird, dann erst erfolgen kann, wenn kalte Luft eingeatmet wird und die Temperatur im nassen Rachenraum auf unter 35° abfällt. Dann sind wir empfänglich für diese Viren (gilt auch für Influenza- und Corona-Viren). Die Abwehr ist nur vollständig, bei einer Temperatur von möglichst genau 37°, der Körper-Kerntemperatur. Das gilt für die Immunabwehr im ganzen Körper.

Das Schweizer-Käse-Modell

Der australische Virologe Mackay hat ein «Schweizer Käse Modell» vorgeschlagen für die CORONA Pandemiebekämpfung. Das Modell war sehr beliebt und wurde in mehr als zwei Dutzend Sprachen übersetzt. Die Grundidee dieses Schweizer-Käse-Modells ist einfach. Sie besagt, dass jede Einzelmaßnahme für sich genommen einen unvollständigen Schutz bietet, dass es ein löchriges Konzept ist, und das erst die Kombination von verschiedenen Maßnahmen einen ausreichenden Schutz bietet.

Mackay spricht nicht von der Nase und nicht von der Rolle der individuellen Infektabwehr und deren Stärkung. Der Autor schlägt deshalb ein Modell der Corona-Pandemie-Bekämpfung vor, bei der die individuelle Infektabwehr im Zentrum des Modells steht. Wichtig erscheint die Frage, inwiefern die Gebäudetechnik die individuelle Infektabwehr unterstützt, ergänzt oder sogar sabotiert und schwächt.

