

## Checkliste

### «Gebäudefaktoren die Infektionsübertragungen verhindern und Gesundheit fördern»

(Erkenntnisse aus der COVID-19 Pandemie)

#### Einleitung:

Die COVID-19 Pandemie hat uns erneut vor Augen geführt, was wir gerne verdrängen:

- Viren, Bakterien und Pilze sind permanent in unseren Gebäuden vorhanden
- Infektionsübertragungen finden in erster Linie in Gebäuden statt
- Gebäude spielen für die Übertragungswege und bei der Infektionsbekämpfung eine zentrale Rolle

Die Gebäudeoberflächen sind permanent Träger von Mikroben<sup>1</sup>. Die Gebäudetechnik hat über die Faktoren Konvektion, Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Lichtqualität entscheidenden Einfluss auf die Übertragungswege und die Immunabwehr der Nutzer. Die nachfolgende Aufzählung zeigt, wie überholtes Hygieneverständnis, Fehleinschätzungen sowie architektonische und sozioökonomische Trends im Büro- und Wohnbereich dazu führten, dass die gesundheitlichen Risiken in unseren Gebäuden in den letzten Jahrzehnten zugenommen haben:

<sup>1</sup> *Mikroben sind mikroskopisch kleine Organismen zu denen Bakterien, Pilze und Viren zählen. Bakterien und Viren können sich auf Oberflächen vermehren, während die Viren sich nur in infizierten Wirtszellen nach einer erfolgten Infektion vermehren können.*

- a. Im Vergleich zu traditionellen, massigen Gebäudehüllen aus Naturmaterialien habe moderne, leichte Gebäudekonstruktionen aus Kunststoffmaterialien, v.a. Stahl, Glas und WDVS, zwei wesentliche Nachteile: geringe **Masse** und **Speicherfähigkeit**. Die verwendeten Kunststoffmaterialien haben zwar gute statische Dämmwerte, die geringe massenabhängige Trägheit hat jedoch zur Folge, dass der Einfluss des im Tagesrhythmus schwankenden Aussenklimas (Temperatur, Feuchte, Sonnenlicht) auf das Innenraumklima schlecht gefiltert wird, siehe Fig. 1. Dies hat höhere und stärker fluktuierende Temperatur- und Feuchtedifferenzen zwischen Raumluft und Umschliessungsflächen zur Folge, die als unangenehm wahrgenommen werden. Den Kunststoffmaterialien fehlt im Gegensatz zu den sorptionsaktiven und wärmspeichernden Naturmaterialien der ausgleichende, komfortsteigernde Einfluss auf Feuchte und Temperaturverlauf der Raumluft, siehe Fig. 2.
- b. Ein überholtes Hygieneverständnis verleitete uns dazu, immer mehr Naturmaterialien durch pflegeleichtere, porenfreie, mikrobe-feindliche Materialien zu ersetzen mit der Absicht, damit die Hygiene zu verbessern. Das Gegenteil ist eingetreten.
- c. Der jahrzehntelange Kampf gegen die schädlichen Auswirkungen von zu hoher Luftfeuchtigkeit und Materialfeuchte auf Gesundheit und Gebäude, führte zum falschen Eindruck, dass das Gegenteil, extreme Trockenheit von Raumluft und Materialoberflächen, für Nutzer und Gebäude wünschenswert und unproblematisch seien.
- d. In Office-Gebäuden wurden Trennwände reduziert um grosszügigeren Räume zu gestalten und Mietkosten einzusparen. Dies führte zu grösserer Personendichte, intensiveren Interaktionen und höheren Infektionsrisiken.
- e. Aus Energiespargründen luftdichte Gebäudehüllen erfordern mechanischen Lüftungen mit oft langen, unüberschaubaren Lüftungskanälen. Diese Kanäle müssen durch Luftfilter vor Verschmutzung geschützt werden.

- f. Die Einführung von Air-Conditioning beruhte auf der Absicht Lüftung und Heizung zu kombinieren. Air-Conditioning ist vor allem in den USA und im Asiatischen Raum weitverbreitet und ist mit vielen gesundheitlichen Risiken verbunden, auf die in dieser Checkliste nicht eingegangen wird.

Das Gebäude, sein Klima, die Bewohner und die Mikroben bilden ein interagierendes Ökosystem. Qualität und Stabilität dieses Ökosystems wird von den gleichen vernetzten Kriterien bestimmt, die für allen Ökosystemen gelten: Klima, Ressourcen-Verfügbarkeit, Konkurrenz und Diversität.

Folgende Kriterien sind im Ökosystem Gebäude zu beurteilen und haben Einfluss auf seine Stabilität, das Infektionsrisiko, Gesundheit und Wohlbefinden der Menschen:

## **Klima**

1.1. Luftfeuchtigkeit 1.2. Luftwechsel 1.3 Temperatur 1.4 Lichtqualität

## **Gebäudehülle (Materialien, räumliche Aufteilung, Bezug zu Umwelt und Natur)**

3.1. Naturmaterialien 3.2 Kunstmaterialien 3.3 räumliche Aufteilung 3.4 Einbezug der Umwelt

## **Ressourcen für Mikroben, Reinigungsstrategie**

2.1 Wasser 2.2 Nährstoffe 2.3. Reinigung häufig berührte Oberflächen

## **Mikrobiom<sup>2</sup> des Gebäudes**

## **Mikrobiom<sup>2</sup> des Menschen**

<sup>2</sup> Mit dem Begriff Mikrobiom wird die Gesamtheit der Mikroben, d.h. Bakterien, Pilze und Viren bezeichnet, die einen Lebensraum, z.B. den Darm, die Haut, einen Raum/Gebäude oder eine bestimmte Oberfläche besiedeln.

# **1. Klima**

## **1.1. Luftfeuchtigkeit**

### **Vorbemerkung:**

*Da wir den Klimafaktor Luftfeuchtigkeit nicht unmittelbar sensorisch wahrnehmen, wird er in seiner Bedeutung weit unterschätzt. Wir sind uns nicht bewusst, dass Luft immer «durstig» ist, d.h. immer nach maximaler Wasserdampfsättigung strebt. Je tiefer die relative Luftfeuchtigkeit, umso intensiver ist das Bestreben der Luft, allen vorhandenen wasserhaltigen Strukturen z.B. Haut und Schleimhäuten des Menschen, wasserhaltigen Naturmaterialien und selbst den Aerosol Tröpfchen, das Wasser zu entziehen.*

*Im mittleren Feuchtebereich von 40 bis 60% besteht ein physiologisches Gleichgewicht zwischen dem Verdunstungsschutz von Haut- und Schleimhäuten und dem Wasserdampfgefälle zu gesättigter Luft. Haut und Schleimhaut der Atemwege weisen somit optimale Barriere-Eigenschaften auf gegen eindringende Mikroben und das Immunsystem funktioniert ungestört. Für die Gesundheit des Menschen ist der mittlere Feuchtebereich ideal. Mikroben die Atemwegsinfektionen auslösen, werden jedoch bei der Übertragung über die Raumluft im mittleren Feuchtebereich rasch inaktiviert. Bei Feuchte unterhalb 40% bleiben sie jedoch lange infektiös, siehe Fig. 4. Dies gilt für Influenza und Parainfluenza Viren, Corona- und RS Viren sowie alle Viren die Kinderkrankheiten auslösen und eine ganze Reihe von Bakterien. Wenn wir die Luftfeuchtigkeit im Winter oberhalb von 40% relativer Feuchte halten, sind die Bedingungen für uns Menschen ideal, die Erreger der Atemwegsinfektionen aber verlieren ihre Infektiosität.*

Luftfeuchtigkeit ganzjährig zwischen 40 und 60% halten (ohne aktive Befeuchtung im gemässigten Klima im Winter selten realisierbar). Feuchtespitzen (Küche, Bad) konsequent ablüften. Zur Schimmelprophylaxe die Strahlungs-Asymmetrie (Temperaturdifferenz Raumluft – Oberflächen der Umschliessungsflächen) unter 3-4 Grad halten (setzt ausreichende, dynamische Dämmung der Gebäudehülle voraus, siehe oben). Wände und

Decken mit offenporigen, sorptionsaktiven Putzen sowie Naturmaterialien für die Konstruktion und den Innenausbau tragen viel bei zu einem ausgeglichenen Feuchteklima im Raum.

## 1.2. Luftwechsel

Regelmässige Fensterlüftung oder bedarfsgesteuerter Luftwechsel (CO<sub>2</sub>-gesteuert) mit 100% Frischluft (keine Rezirkulation). Einzelraumlüftungen sind aus Risikoerwägungen zu bevorzugen. Bei zonenweiser Belüftung soll das «Downstream-Übertragungsrisiko» berücksichtigt werden (Strömungsrichtung Zuluft-Einlass – Fortluft-Fassung). Zuluftmenge und Abluftmenge so bilanzieren, dass der Druck im Zuluft-System grösser ist als im Abluftsystem. Der resultierende leichte Überdruck im Gebäude verhindert, dass Mikroben aus schlecht belüfteten und zu reinigenden Raumteilen (abgehängte Decken, Estrich, Keller, Archive, Sichtschutz-Vorrichtungen, Ritzen etc.) sowie Abluftkanälen und permanent nassen Wasserabläufen als Aerosole in den Raum gelangen.

Im Nassbereich und Toilettenbereich muss durch direkte Abluft ein permanenter Unterdruck erzeugt werden.

## 1.3 Raumtemperatur

Operative Heiztemperatur unterhalb 23°C halten und die Temperaturasymmetrie Luft-Umschliessungsflächen unter 3-4 Grad halten.

Die Gebäudehülle soll optimal den Einfluss der Schwankungen des Aussenklimas (Temperatur, Feuchte, Sonnenlicht) auf das Innenraumklima dämpfen. Das wird erreicht durch gute **Filterkapazität** der Gebäudehülle (Massen-Trägheit) sowie optimale **Pufferkapazität** der inneren Umschliessungsflächen durch diffusionsoffene, sorptionsaktive Materialien mit guter Wärmespeicherkapazität (siehe Fig. 1 & 2).

## 1.4 Lichtqualität

Gebäude-Ausrichtung, Verglasungsanteil und Raumhöhe so optimieren, dass Tageslicht die Raumtiefe erreichen kann. Tageslicht ist für die Immunstimulation und die Psyche der Nutzer von grosser Bedeutung. Das für die Inaktivierung von sich rasch vermehrenden Mikroben wichtige UV-Lichtspektrum (unterhalb 400 nm), wird durch die Verglasung zu 100% absorbiert. Regelmässige Fensteröffnungen und sparsame Schattierung v.a. bei Sonnenlicht, sind ratsam (Reminiszenz: «Frühlings-Putzete»). Die Auswirkungen des intermittierenden Einsatzes von Lampen mit dem gesamten Sonnenlichtspektrum auf das Mikrobiom von Gebäude und Mensch sowie die menschliche Physiologie, Immunologie und Stimmungslage ist zu untersuchen.

### ***Vorbemerkungen zum Hygieneverständnis, Natur- und Kunstmaterialien sowie zu Ressourcen für Mikroben:***

*Unser Hygieneverständnis in der Medizin und im Alltag beruht immer noch auf der Kontaktvermeidung mit Mikroben und der Vorstellung, dass eine mikrobefreie Umgebung erstrebenswert sei. Diese Vorstellungen wurden ad absurdum geführt durch die Erkenntnis, dass die Koexistenz jedes Menschen mit seinen rund 100 Trillionen Mikroben im Darm, den oberen Atemwegen und auf der Haut eine Voraussetzung ist für die Gesundheit. Nachdem wir mikrobefrei geboren werden, nehmen wir vor allem in den ersten zwei Lebensjahren über die Nahrung, Einatmung und Kontakte die unverzichtbaren Mikroben in den Körper auf und bauen dabei unser erworbenes Immunsystem auf.*

*Während 350'000 Jahren Evolutionsgeschichte konnten wir in der Natur lebend mit den vielfältigen Mikroben von Luft, Erdreich, Wasser und Pflanzen unsere Immun- und Allergiekompetenz aufbauen. Während den zweihundert Jahren der industriellen Revolution hat sich das radikal verändert. Die Menschheit ist aus der Naturumgebung in eine*

gebaute Umwelt umgezogen, in der wir uns während 90% unserer Lebenszeit aufhalten. In zunehmend luftdichteren Gebäuden, Verkehrsmitteln und in naturfernen Grossstädten stehen uns für den Austausch nur noch diejenigen Mikroben zur Verfügung, die auf den Gebäudeoberflächen überleben, nicht aus der Zuluft herausgefiltert werden und die antimikrobielle Behandlung der Nahrungsmittelproduktion überstehen. Ein entscheidendes Kriterium für ein gesundheitsförderndes Gebäude ist deshalb das Vorhandensein eines diversifizierten Gebäude-Mikrobioms. Mikrobenfreie Oberflächen in Gebäuden anzustreben ist wohl genauso falsch und schädlich wie wenn wir uns bemühen würden, unsere Haut mikrobefrei zu halten.

Die Mikroben aus der Natur können auf Gebäudeoberflächen nur langfristig existieren, wenn sie Zugang haben zu flüssigem Wasser und essentiellen Nährstoffen, aus unserer Sicht «Verschmutzung». Nur offene porige Naturstoffe mit der Eigenschaft der Wasserspeicherung (Sorption) in ihren kapillären Strukturen und mit minimaler Verschmutzung auf den porenoffenen Oberflächen, bieten die unverzichtbaren Voraussetzungen für die Existenz eines vielfältigen Mikrobioms. Mikroben sind auf flüssiges Wasser auf Oberflächen angewiesen und können kein Wasser aus der Luftfeuchtigkeit aufnehmen. Auf glatten, porenlosen, permanent trockenen und schmutzfreien Kunstmaterialien können nur spezialisierte Mikroben, angepasst an Trockenheit und Nährstoffmangel, beschränkte Zeit überleben.

Mikroben stehen seit ihrer Entstehung vor geschätzten zweieinhalb Milliarden Jahren im Konkurrenzkampf untereinander. Kurze Generationszeiten und die Möglichkeit horizontal genetische Informationen auszutauschen haben ihre Fähigkeit optimiert auf jede nur erdenkliche Beeinträchtigung eine Verteidigungsstrategie neu zu finden oder zu reaktivieren. Wir sollten begreifen, dass die Mikroben, allen voran die Bakterien, auf jeden unserer Angriffe in immer kürzerer Zeit effektive Abwehrmassnahmen gefunden haben, die sie immer gefährlicher machen. Alle erzwungenen Anpassungsvorgänge führten zu mehr Resistenzen, wie uns das bei den Spitalkeimen schmerzhaft bewusst ist. Aktuelle Forschungen haben gezeigt, dass auch unspezifischer Ressourcen-Stress wie Trockenheit und Nährstoffmangel, den wir in unseren modernen Gebäuden permanent ausüben, zu komplexen Multiresistenzen führen.

Wir müssen unser Hygieneverständnis radikal der von den Mikroben diktierten Realität anpassen. Nur so können wir Gebäude planen und bauen, die unsere Gesundheit unterstützen, d.h. Aufbau und Funktion des Immunsystems fördern und Infektionsübertragungen vermindern. Dazu gehört, dass wir bewusst in genügendem Ausmass in den Gebäuden Oberflächen und Ressourcen bereitstellen, auf denen das diversifizierte Mikrobiom der Umwelt sich mit unserem Mikrobiom austauschen kann. Von diesen Flächen ausgehend werden über Kontaktübertragungen und über Lufttransport auch die häufig berührten Kunststoffflächen kontaminiert, sodass gefährliche Monokulturen von Krankheitskeimen vermieden werden. Die Konkurrenzsituation um Platz und Ressourcen verhindert, dass krankmachende Keime sich ungehindert vermehren können. Wir müssen lernen, dass wir nur gesund bleiben können, wenn wir unsere beste und langfristig wirksamste Waffe gegen krankmachende Mikroben, die nützlichen Kommensalen, gezielt fördern und mit ihrer Hilfe die Konkurrenzsituation zu unseren Gunsten ausnützen.

## **2. Gebäudehülle (Materialien, räumliche Aufteilung, Bezug zu Umwelt und Natur)**

### **2.1. Naturmaterialien 2.2 Kunstmaterialien**

Nur für häufig berührte und horizontale Flächen, die regelmässig gereinigt werden müssen (Tastaturen, Armaturen, Handläufe, Gerätschaften, Bodenbeläge, Ablageflächen), sollen porenlose, glatte Kunstmaterialien gewählt werden (Polymere, Metalle, Keramik, Stahl, Glas etc.).

Für Wände, Decken, Innenausbau und Mobiliar, Heimtextilien sind poröse Naturmaterialien zu bevorzugen (Backstein, Sandstein, Lehm, Holz, Textilien aus Naturfasern, Leder etc.) auf denen ein gesundes, diversifiziertes Mikrobiom existieren kann.

### **2.3 Räumliche Aufteilung**

Die räumliche Aufteilung des Gebäudes, die Gestaltung des Arbeitsplatzes, die Anzahl miteinander verbundener Räume, Türen und Korridore als Engpässe, haben einen grossen Einfluss auf das Sozialverhalten (Gesprächsbereitschaft, körperliche Nähe), Bewegungsmuster (sitzend, stehend, gehend), Personenabstände

und Gruppenbildungen. Während mehr Nähe und Vernetzung sich positiv auswirken auf die Diversität der Mikrobiome von Gebäude und Personen, erhöhen diese Faktoren das Übertragungsrisiko von Krankheitserregern. Generell wirken sich die Trends zu Grossraumbüros mit geteilten Arbeitsutensilien und immer engeren Arbeitsplätzen sowie die damit geförderten Sozialkontakte negativ auf das Übertragungsrisiko aus.

Hohlräume die von der Luftzirkulation weitgehend abgeschnitten sind (heruntergehängte Decken, Sichtverkleidungen, gefangene Räume) sind zu vermeiden.

## **2.4 Bezug zur Umwelt und Natur**

Ein gesundes Gebäude muss den Austausch mit den Mikroben aus Umgebung und Natur fördern. Der Mikrobe Austausch erfolgt über die freie Fensterlüftung und/oder über die mechanische Lüftung sowie die Waren und Menschen, die im Gebäude ein und aus gehen. In Erdreich verwurzelte Pflanzen innerhalb und um das Gebäude erhöhen die Mikrobe-Diversität ebenso wie Haustiere, insbesondere Hunde.

Erste Forschungsergebnisse ergaben, dass das Filtrieren der Frischluft zu einer Verschiebung des Mikrobioms in Richtung vermehrter, potentiell pathogener Bakterien führte. Der Einfluss der Luftfilterung auf die für die Immunologie wichtige Diversität des Mikrobioms der Luft und der Oberflächen muss eingehender untersucht werden, da es absehbar ist, dass Luftfilterung in Zukunft vermehrt eingesetzt werden könnte, um pathogene Keime aus der Zuluft herauszufiltern.

## **3. Ressourcen für Mikroben, Reinigungsstrategie**

### **3.1 Wasser 3.2 Nährstoffe**

Gebäude sollen ausreichende Flächen aufweisen, auf denen das Angebot an Wasser und Nährstoffen so gross ist, dass eine vielfältige Mikrobe-Population existieren kann. Dafür kommen nur offenporige Naturmaterialien in Frage mit möglichst idealen Sorptions-Isothermen. Geeignet sind grossflächige Naturputze die bereits ab 30 bis 40% Luftfeuchtigkeit Wasser aufnehmen und das Wasser kontinuierlich unterhalb von 80 bis 60% Luftfeuchtigkeit wieder abgeben. Ein nahezu ideales Feuchteverhalten haben lehm-basierte Baustoffe die viel dazu beitragen können, die Luftfeuchtigkeit im mittleren Bereich zu halten. Auf offenporigen Naturputzen finden sich immer Nischen mit kapillar gespeichertem Wasser sowie Hausstaub- und andere Schmutzreste. Sie dienen als Quellen für Wasser und die essentiellen Nährstoffe (Kohlenstoff, Stickstoff, Schwefel und Phosphor) ohne die sich Bakterien-Populationen nicht langfristig entwickeln können.

### **3.3 Reinigungsstrategie**

Bei der Raumgestaltung und dem Mobiliar soll auf gut zugängliche und leicht zu reinigende Flächen geachtet werden. Mit Ausnahme von Eingriffsräumen im Spital sollten Gebäudeoberflächen nur in Ausnahmefällen mit Desinfektionsmitteln gereinigt werden. Alle geschlossenenporigen Materialien, insbesondere der Boden und die horizontalen Ablageflächen sollen mit Wasser und Seifen gereinigt werden. Auf Detergenzien und andere Chemikalien soll im Normalfall verzichtet werden. Der Einsatz von Probiotischen Bakterienkulturen in Putzmitteln hat sich in Studien sogar im Spitalumfeld bewährt. Staubsauger sollten mit Feinstaubfiltern ausgerüstet sein.

## **4. Mikrobiom des Gebäudes**

In jedem Gebäude etabliert sich ein gebäudetypisches Mikrobiom im Austausch mit den Nutzern und der Umwelt. Offenheit gegen die Umwelt, das richtige Raumklima, genügend Ressourcen und offenporige Oberflächen lassen ein diversifiziertes, stabiles Gebäudemikrobiom zu, das die Gesundheit seiner Nutzer fördert.

Der Austausch der Mikroben zwischen den Oberflächen und den Nutzern geschieht über Alltagsaktivitäten, Putzen, Luftbewegungen und Aerosolisierung. Der grosse Einfluss von Luftbewegungen und Aerosolisierung auf die Dispersion von Mikroben in Gebäuden findet viel zu wenig Beachtung. Der Einfluss von Luftbewegungen durch Thermodynamik, Konvektion und menschliche Aktivitäten auf die Konzentration von Schwebstoffen in der Raumluft (Mikroben, biotische und abiotische Partikel) ist schlecht untersucht, da bisherige Messungen zumeist in Abwesenheit dieser «Stör»-Faktoren gemacht wurden. Neue Studien zeigen, dass insbesondere menschliche Aktivitäten (Herumgehen, Stellungswechsel, An- und Ausziehen, Türen und Fenster bewegen) zu starken Aufwirbelungen von abgesetzten Mikroben führen. Sie werden zusammen mit den vielfältigen Bestandteilen von Hausstaub wie Textilfasern, Hautschuppen und verschiedenartigsten Schmutzpartikeln aufgewirbelt und verteilen sich auf alle Gebäudeoberflächen. Dies verhindert, dass sich auf den Kunstmaterialien trockenresistente und häufig multiresistente Mikroben ohne Konkurrenz durch immer neu eingetragene Kommensalen vermehren können.

Aerosolisierung geschieht permanent, wenn wir mit Wasser und anderen Flüssigkeiten interagieren. Vom Händewaschen über Nassreinigung, Kochen bis hin zum Duschen und Toiletten spülen. Es entstehen dabei neben wenige grosse und sichtbare Tröpfchen hunderte bis zu hunderttausende von unsichtbaren, kleinsten Tröpfchen von denen immer ein Teil suspendierte Mikroben enthält. Entsprechen den Luftströmungen werden sich diese Tröpfchen irgendwo auf Gebäudeoberflächen ablagern. Erst seit gengestützte Analysemethoden von Abstrichen kostengünstig verfügbar sind, wurde erkennbar, wie dynamisch sich Mikroben zwischen Oberflächen und Menschen austauschen via Kontaktketten, Luftbewegungen und Aerosolisierung. Diese Nachweismethode wird wohl bald auf für das Facility Management von Gebäuden verfügbar sein.

## **5. Mikrobiom des Menschen**

Zum Aufbau unseres individuellen Mikrobioms und der erworbenen Immunität in den ersten zwei Lebensjahren sind wir auf den Austausch mit möglichst diversifizierten Mikroben, aber auch Allergenen und Schadstoffen, aus der Umwelt angewiesen. Das Immunsystem muss lernen, was schädlich und harmlos ist, was bekämpft werden muss und was zugelassen werden kann.

Die Aufnahme von Mikroben in die oberen Atemwege, auf die Haut und in den Darm erfolgt über Atmung, Kontakte und Nahrungsmittel. Für die Gesunderhaltung des Immunsystems vermutlich am wichtigsten ist die Exposition der grossen inneren, immunaktiven Oberfläche der Lunge gegenüber einem vielfältigen Mikrobiom in der Atemluft. Die Luft enthält auch in der Stadt vielfältige Mikroben aus weit entfernten und diversifizierten natürlichen Lebensräumen, mit denen viele Stadtbewohner nur über die Atmung in Kontakt kommen können. Die Abgabe von Mikroben aus dem Körperinneren geschieht über die Ausscheidungen und erfolgt auf Oberflächen und ins Abwasser, von der Haut zusammen mit Schuppen an die Luft.

**Welche Auswirkungen hätte die Umsetzung obiger Forderungen auf Energiekonsum und Nachhaltigkeit:**

Die Forderungen an gesundheitsfördernde Gebäude provozieren Kompromisse und zwingen zu Güterabwägungen. Insbesondere die Anforderungen an die Gebäudehüllen schränken die Möglichkeiten zur Erstellung von Hochhäusern und zur städtebaulichen Verdichtung ein.

Der Autor geht davon aus, dass die Umsetzung der obigen Forderungen gesamthaft zu einer Verringerung des Energieverbrauches der Gebäude führen würde. Die grössten Einsparungen ergäben sich durch die besseren dynamischen Dämmungs-Eigenschaften massiver Gebäudehüllen aus Naturmaterialien.

Der Aufwand an grauer Energie würde deutlich verringert und die Nachhaltigkeit erhöht. Die Reduktion der benötigten Gebäudetechnik sowie die längere Lebensdauer ausgewählter Naturmaterialien verlängern den Lebenszyklus der Gebäude deutlich.

### **Offene Forschungsfragen:**

Wie gross muss der Anteil an Naturmaterialien mit diversifizierten Mikrobiomen sein, damit sich auf den industriellen, porenlosen Oberflächen keine gesundheitsgefährdenden Monokulturen von resistenten Mikroben etablieren können?

Welche Konsequenzen für die Immunkompetenz hat mit HEPA-Filtern gefilterte Luft, die kein «normales», diversifiziertes Mikrogen-Gemisch mehr enthält?

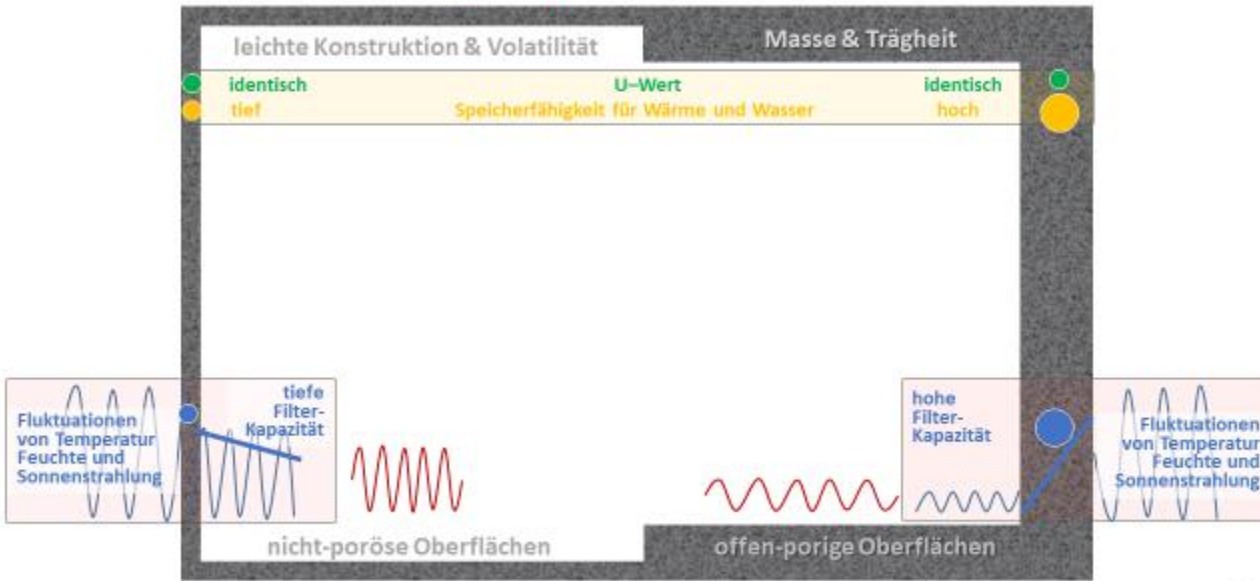
Welche sind die für die Immunstimulation des Menschen und die Inaktivierung von Mikroben wichtigsten Lichtanteile? Wie können sie am besten im Gebäude verfügbar gemacht werden?

Wo liegt das Optimum von Luftdurchmischung/Verdünnung (immer verbunden mit Turbulenz) und der Minimierung der Aufwirbelung von potentiell schädlichen Stoffen und Mikroben

Quantifizierung der Vorteile von Verdrängungslüftung (günstige Schichtung der Schadstoffe) gegenüber der Mischlüftung

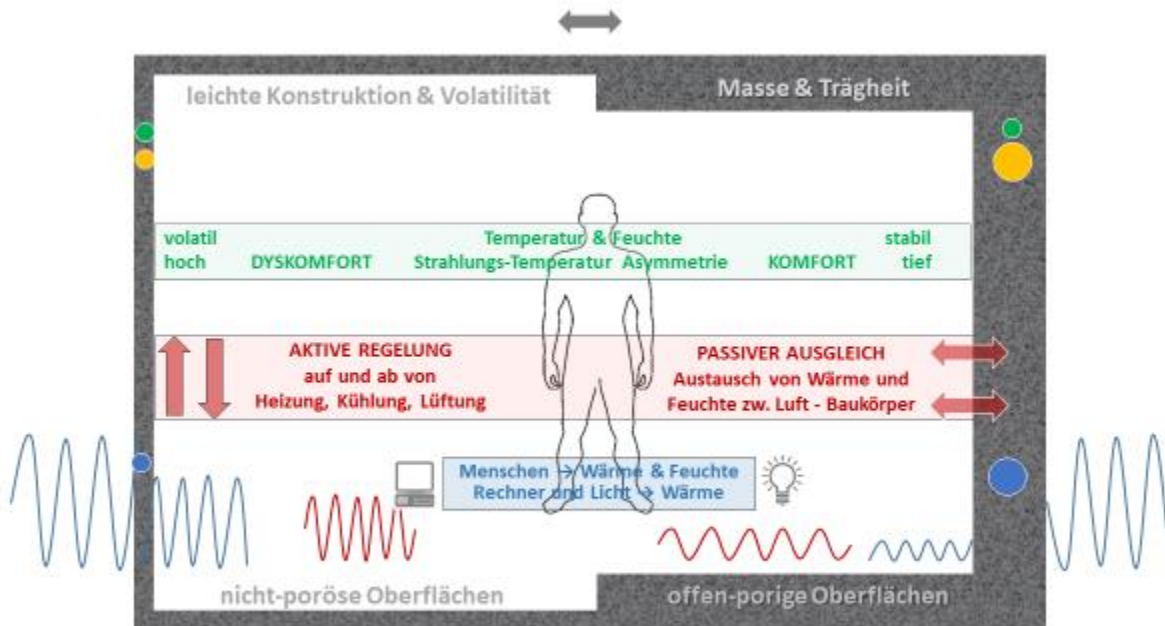
Fig. 1

Zwei Konzepte von energieeffizienten Gebäuden:  
**KUNST-MATERIALIEN (WDVS)** ↔ **NATURMATERIALIEN**



Hugentobler W, Widerin P, Junghans L, Willem B. Do healthy buildings need technology? Conference Proceedings INDOOR AIR 2016  
 Be 2226, Die Temperatur der Architektur, Birkhäuser Verlag Basel, 2015, ISBN: 978-3-0356-0381-1

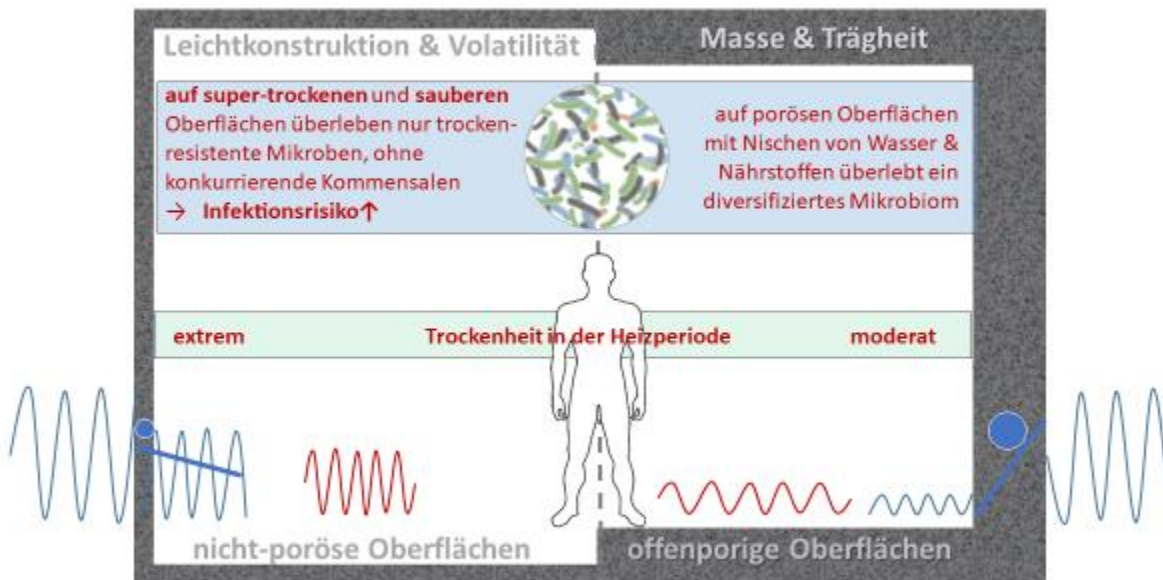
Fig. 2



Hugentobler W, Widerin P, Junghans L, Willem B. Do healthy buildings need technology? Conference Proceedings INDOOR AIR 2016  
 Be 2226, Die Temperatur der Architektur, Birkhäuser Verlag Basel, 2015, ISBN: 978-3-0356-0381-1



Fig. 3



Hugentobler W, Widerin P, Junghans L, Willem B, Do healthy buildings need technology? Conference Proceedings INDOOR AIR 2016 Be 2226, The temperature of architecture, Birkhäuser Verlag Basel, 2015, ISBN: 978-3-0356-0381-1



Fig. 4

