

# Gesunde Lebensräume

## Mikrobiome und ihre Bedeutung in der Architektur

Mikroorganismen sind von grundlegender Bedeutung für das Funktionieren von Ökosystemen und das des menschlichen Körpers.

Als Mikrobiom wird die Gesamtheit aller Mikroorganismen wie Bakterien, Pilze, Viren und andere Mikroben bezeichnet, die in einem bestimmten Habitat vorkommen. Dieses kann der z. B. menschliche Körper, ein Gebäude oder die Umwelt sein. Das Mikrobiom umfasst dabei nicht nur die Mikroorganismen selbst, sondern auch ihre genetischen Informationen und Interaktionen untereinander und mit ihrer Umgebung.

Seit mehr als 10.000 Jahren besteht das Umfeld der Menschheit aus einer Mischung aus einer natürlichen Umwelt, der Natur, und einer menschengemachten, bebauten Umwelt, die sich von einfachen Gebäudehüllen, über Nachbarschaften bis hin zu Städten entwickelte. Schätzungen zufolge verbringen Menschen in Wirtschaftsstaaten heutzutage bereits 90% Ihrer Zeit in Innenräumen. Bis 2050 soll ein Drittel der gesamten Weltbevölkerung in einem städtischen Umfeld leben.

Der größte Teil der Evolution des Menschen fand, durch durchlässige Bauten, im Umfeld der Mikrobiome der Natur statt. Unsere heutige Lebensweise ignoriert die Tatsache, dass sich unsere Immunsysteme über die Jahrtausende hinweg mit diesen arrangiert haben und trotz oder gerade wegen der „Belastungen“ durch nicht sterile, natürliche Umgebungen gesund sein können. Es ist wissenschaftlich belegt, dass die mikrobielle Vielfalt in unserer Umgebung und unserem Körper selbst hierbei von entscheidender Bedeutung für unsere Gesundheit ist.

Durch diese drastische Veränderung des menschlichen Lebensmittelpunktes wird es zunehmend wichtiger, ein stärkeres Augenmerk auf die neuen Lebensräume zu legen – die Architektur und menschengebaute Umwelt.

### Gesundheitliche Auswirkungen des Gebäudemikrobioms auf den Menschen

Die zunehmende Abwendung von der natürlichen Umwelt und dessen Mikrobenvielfalt kann sich negativ auf die körperliche und geistige Gesundheit des Menschen auswirken.

Es gibt zahlreiche Beispiele für einen direkten Zusammenhang zwischen bestimmten Mikroben in Gebäuden und akuten Infektionen durch Einatmen, Verschlucken oder Hautkontakt.

Andererseits wird auch angenommen, dass eine Vielfalt an Mikroben in Gebäuden sich positiv auf das Immunsystem des Menschen auswirken kann, da es ständig gefordert wird.

Das Mikrobiom der Haut eines kranken und gesunden Menschen unterscheiden sich dabei eindeutig. Bei gesunden Menschen hat das Gebäudemikrobiom jedoch nur kurzfristig Auswirkungen auf das Hautmikrobiotika. Bei kranken Menschen wurde beobachtet, dass sich das Mikrobiom des Menschen bei einem Krankenhausaufenthalt von unter zwei Wochen verändern kann und eine Neubesiedelung durch das Mikrobiom des Gebäudes möglich ist. Das Mikrobiom des Raumes und der Haut eines Patienten gleichen sich mit zunehmender Aufenthaltsdauer immer weiter an.

Der Zusammenhang zwischen dem Mikrobiom der Innenraumumgebung und nicht ansteckenden Krankheiten wie Atemwegserkrankungen ist noch ein aktiver Forschungsbereich. Bei einem Versuch mit Mäusen konnte jedoch bereits nachgewiesen werden, dass die Belastung durch hundeassoziierte Bakterien (spezifischer: *Lactobacillus johnsonii*) im Hausstaub vor einer Allergenbelastung der Atemwege schützt.

In einer weiteren Studie wurde in einem innerstädtischen Umfeld

herausgefunden, dass Kinder die bestimmten Bakterienarten in Kombination mit bekannten Allergenen in hohen Konzentrationen ausgesetzt waren, ein geringeres Risiko für allergische Erkrankungen aufwiesen.

Das frühkindliche Immunsystem sollte sich gegenüber einer Vielfalt von Mikroorganismen abstimmen können, um auf künftige Herausforderungen angemessen vorbereitet zu sein.

Der Einfluss von Wohnqualität, Bewohnerdichte, Lärm und Innenraumluftqualität der gebauten Umwelt auf die psychische Gesundheit des Menschen wurde bereits nachgewiesen. In präklinischen Studien konnte ein Zusammenhang zwischen dem Mikrobiom eines Gebäudes und der psychischen Gesundheit eines Menschen dennoch noch nicht beobachtet werden. Unausgeglichene menschliche Mikrobiome können jedoch erwiesenermaßen Erkrankungen wie Asthma, Morbus Crohn und Diabetes Typ 2, Allergien oder Autoimmunerkrankungen wie Multiple-Sklerose und Hautprobleme auslösen.

Es gibt ebenfalls einen Zusammenhang zwischen einem gestörten, entzündungsverursachenden Mikrobiom des Menschen und psychischen und neuropsychiatrischen Erkrankungen. Chronische Entzündungskrankheiten kommen dabei gehäuft und ansteigend in Ländern mit hohem Einkommen vor, was Vermutungen zufolge auf die geringere mikrobielle Exposition und damit schwächere Immunregulation zurückzuführen sein kann.

### Sick-Building-Syndrome

Als Sick-Building-Syndrom bezeichnet man akute gesundheitliche Beschwerden von Personen, die nicht auf eine bestimmte Ursache zurückzuführen sind, während sie in einem betroffenen Gebäude leben oder arbeiten. International

werden unterschiedliche Symptomatiken aufgeführt, im Kern sind jedoch folgende Beschwerden grundsätzlich und länderübergreifend gleichbleibend vorkommend:

- Irritation der Haut und der Schleimhäute von Augen, Nase und/oder Rachen
- Müdigkeit
- Schweregefühl im Kopf
- Kopfschmerzen
- Unwohlsein/Schwindel
- Konzentrationsschwierigkeiten

Die Ursachen für dieses Phänomen sind bisher noch nicht ausreichend nachweisbar geklärt. Diverse internationale Studien sehen jedoch einen Zusammenhang zwischen der Art der Belüftung und den auftretenden Beschwerden.

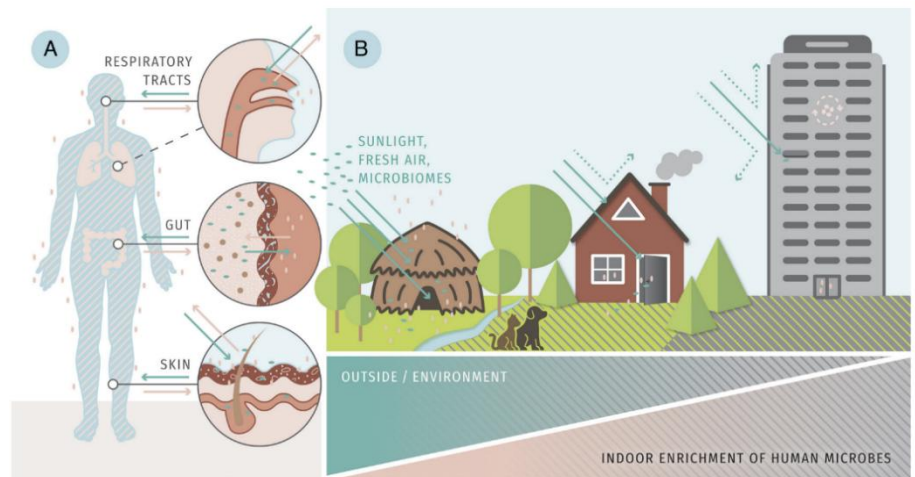
Als Maßnahme, die Auswirkung des SBS zu verringern, empfehlen Fachleute mindestens 10% der Luftzufuhr eines Gebäudes von außen zu beziehen, anstatt nur die Innenraumluft zu recyceln. Ist das Gebäude diffusionsoffen gestaltet kann ein Austausch mit der Außenluft auch über die 10% hinaus stattfinden. Bei energieeffizient gestalteten Gebäuden ist das durch die starke Abdichtung nicht möglich.

Außerdem konnte nachgewiesen werden, dass unter anderem Personen, die vorhandene Allergien oder Allergien in der Familie haben, in der Kindheit Tabakrauch ausgesetzt waren oder im städtischen Umfeld aufgewachsen sind, stärker gefährdet sind als Personengruppen außerhalb dieser Risikogruppen.

## Mikrobiomforschung in der Architektur

Die Schnittstellen zwischen dem Mikrobiom des Menschen (z. B. Haut, Darm, etc.) und dem der Umwelt sind stets durchlässig. Sollte dieses Konzept für die Schnittstelle zwischen Umwelt und Gebäuden übernommen werden?

Ungeachtet von Schadstoffen der Umwelt ist ein poröses Gebäude dahingehend gesünder für den Menschen, dass es den Austausch zwischen den Mikroben der Innenräume und den der Außenräume begünstigen kann, in welchem meist deutlich weniger menschliche Pathogene vorzufinden sind. Eine Exposition gegenüber der Umwelt bietet daher paradoxerweise einen besseren Schutz für den Menschen



(1) Mikrobiome von Mensch und Umwelt

als die komplette Abschirmung von der Natur.

Eine positive Auswirkung auf das Mikrobiom von gesunden, erwachsenen Menschen durch „gesunde Mikrobiome“ in Innenräumen ist nicht nachgewiesen. Vorteile sind zum jetzigen Zeitpunkt nur für junge oder immungeschwächte Menschen definiert, welche sich bewiesenermaßen tendenziell länger in geschlossenen Räumen aufhalten und von einer Diffusionsoffenheit der Gebäude profitieren könnten.

Bezieht man Schadstoffe in der Außenluft jedoch mit ein, lässt sich keine vereinfachte Aussage treffen. Es gibt sowohl gesunde als auch schadstoffreiche Mikrobiome in den Städten und auf dem Land. Ob die Porosität eines Gebäudes das Innenraumklima positiv gestaltet oder nicht, hängt in diesem Fall von der konkreten Lage ab.

Zu betrachten ist auch die Nutzung des Gebäudes. Eine Belastung mit pathogenen Mikroben ist in gemeinschaftlich genutzten Flächen mit hoher Fluktuation, Belegungsdichte und langen Belegzeiten mit gemeinschaftlich berührten Oberflächen deutlich höher als in privaten Wohnräumen (z. B. Im Gesundheitssektor).

In der Planung solcher Gebäude gibt es hier unterschiedliche Vorgehensweisen: Entweder das Anstreben nahezu steriler Räume oder eine konträre Strategie, die einen begünstigten Wirt-Mikroben-Transfer zum Ziel hat.

Eine zu 100% sterile Umgebung zu schaffen ist nicht möglich und sollte, außer in bestimmten Bereichen des Gesundheitssektors, auch nicht angestrebt werden. Viel wichtiger ist es,

Mikroorganismen nicht alle als kontaminierend einzustufen, sondern daran zu arbeiten, gesundheitsschädliche Komponenten zu beseitigen und mit „guten“ Mikroorganismen ein „gesundes Mikrobiom“ zu gestalten. Welche genauen Bestandteile ein gesundes Mikrobiom ausmacht, ist bisher leider noch nicht ausreichend erforscht und kann zum jetzigen Zeitpunkt nicht festgelegt oder nachgestellt werden.

Die konträre Strategie beinhaltet z. B. die Förderung bestimmter Mensch-Mensch-Interaktionen wie die Integration von Altenpflegeeinrichtungen und Kindertagesstätten. Die Mikrobiome von Kindern und vor allem deren intakte Mikrobiotika könnten sich positiv auf die Neubesiedelung der Erwachsenen auswirken und wie ein lebendiges Probiotikum wirken. Erfolgreiche Probiotika sind nur an oder in der Nähe von Säugetieren zu finden, jedoch nicht im gebauten Umfeld und können durch Diffusionsoffenheit von Gebäuden nicht nachhaltig dargestellt werden.

Zusätzlich muss in gemeinschaftlichen Bauten wie Krankenhäusern oder Altenheimen immer betrachtet werden, dass der Gesundheitszustand der Bewohner unterschiedlich ist und dass auf unterschiedliche Anforderungen eingegangen werden muss. Der Betrieb des Gebäudes und das Gebäude selbst sollte von daher möglichst flexibel und anpassungsfähig gestaltet sein, um auf alle Bedürfnisse reagieren zu können.

## Mikrobiomforschung in der Stadtplanung

Eine menschengebaute Umwelt erstreckt sich auf mehr als nur ein einziges Gebäude. Nachbarschaften und Städte

werden durch bauliche Erschließung durch den Menschen zu eigenen, veränderten Ökosystemen, welche durch die geschaffene Infrastruktur weite Gebiete durchziehen und die verschiedenen Ökosysteme untereinander verbinden und verändern kann. Durch die Bebauung gehen zunehmend Mikrobiome der natürlichen Umwelt verloren und weichen den Mikrobiomen der bebauten Umwelt, welche deutlich mehr menschliche Pathogene beinhalten. Es ist bewiesen, dass Häuser in stärker urbanisierten und versiegelten Gegenden graduell nachweisbar weniger „natürliche“ Bakterien und mehr dem Menschen zuzuordnende Bakterien aufweisen.

Dass der gesamtheitliche Verlust an Mikroorganismen in städtischen Umgebungen sich negativ auf die Ausbildung eines guten Immunsystems auswirkt, wurde bisher nur behauptet, lässt sich jedoch aufgrund vieler anderer Faktoren, wie zunehmender Umweltverschmutzung und veränderten Lebensstilen, nicht eindeutig belegen.

Durch die Förderung von Mensch-Natur-Interaktion könnte die Gesundheit von Individuen sowie die einer Stadt jedoch bereits gefördert werden: Gute Möglichkeiten sind es hierbei, Gemeinschaftsgärten zu schaffen, urbane Landwirtschaftsflächen zur Verfügung zu stellen oder auf eine stärkere Umweltbildung von Stadtbewohnern abzielen.

Die Förderung urbaner Grünflächen wie Parks, Gartenanlagen, Dachgärten und vertikaler Begrünung kann ebenfalls einen guten Beitrag dazu leisten, die mikrobielle Vielfalt in den Städten wieder zu erhöhen. Es sollte ein minimaler Versiegelungsgrad in Städten angestrebt werden und auf ausreichend renaturierte Wasserflächen wie natürliche Flussufer oder städtische Feuchtgebiete geachtet werden.

Ein gesundes Mikrobiom in den Städten kann sich dabei wiederum nützlich für die Gesundheit der Menschen in ihren Gebäuden auswirken.

## **Einflussfaktoren auf das Mikrobiom in der gebauten Umwelt**

Die Vielfalt der mikrobiellen Gemeinschaften in Innenräumen ist das Ergebnis der Wechselwirkungen zwischen der

Umgebung des Gebäudes, den Bewohnern des Gebäudes und des Gebäudes selbst. Sie kann durch viele verschiedene Parameter beeinflusst werden. Die Mikrobiome der Umwelt zeigen dabei geografische Unterschiede auf. Sie werden unter anderem von der Art der Landnutzung, der umgebenen Vegetation, dem vorherrschenden Klima und der Jahreszeit oder Saison bestimmt.

Interessanterweise führt eine fortschreitende Urbanisierung jedoch dazu, dass die luftgetragenen Mikroben innerhalb verschiedener Städte weitestgehend homogenisiert werden, was die Übertragung potenzieller Krankheitserreger erhöht, während die Mikrobiome ländlicher Gemeinden weitestgehend einzigartig bleiben.

Bei einer Studie wurde nachgewiesen, dass sich dieses Phänomen auch auf die Bewohner der jeweiligen Lebensräume auswirkt: Die Hautmikrobiome von in Städten lebenden Probanden sind hauptsächlich menschlichen Ursprungs, wobei sich die, der auf dem Land lebenden Probanden, aus Mikrobiomen des Bodens, des Wassers und anderen Quellen zusammensetzen.

Es zeigte sich auch: Umso stärker die Verbindung zwischen der Außenwelt und des Innenraums eines Gebäudes ist, umso größer ist die mikrobielle Gesamtvietart innerhalb des Gebäudes, was wiederum die Vielfalt der menschlichen Mikrobiome der Bewohner erhöht.

Aus Gründen der Energieeffizienz werden Gebäude jedoch zunehmend abgedichtet gestaltet. Ist ein diffusionsoffenes Bauen nicht möglich, sollten dabei zumindest andere Maßnahmen ergriffen werden, um ein „gesundes Mikrobiom“ in Innenräumen zu ermöglichen.

### **Belüftung**

Die Belüftung ist aus unterschiedlichen Gründen der wichtigste Faktor zur Beeinflussung des Mikrobioms in Innenräumen.

Zum einen stellt sie die Quelle für wichtige Mikroorganismen dar, die von der Außenluft in den Innenraum übertragen werden, zum anderen sorgt sie dafür, schädliche, (menschliche) Emissionen abzutransportieren.

In einer Studie wurde nachgewiesen, dass die Emissionen von Studenten in Seminarräumen etwa 80% der Allergene im Raum ausmachten und damit deutlich die Werte der eindringenden Allergene durch Fensterlüftung überstiegen.

Die Unterbrechung von einer großen Anreicherung mit Allergenen im Raum oder der Übertragung von Pathogenen kann dabei bereits durch eine einfache Fensterlüftung realisiert werden.

Bauten mit fließenderen Übergängen zwischen Innen und Außen könnten zusätzlich gute Modelle für eine gesündere bebaute Umgebung darstellen. In Japan zum Beispiel sind in vielen traditionellen Häusern Schiebetüren vorzufinden, welche durch großflächige Belüftung Räume schaffen, die weder Innen noch Außen sind und einen natürlichen Mikrobenfluss begünstigen.

### **Licht**

Der Wert von Licht für die Gesundheit des Menschen ist schon lange bekannt und viele Pathogene lassen sich bereits durch Sonnenlicht abtöten. In Großstädten sollte von daher auf ausreichend Gebäudeabstand geachtet werden, um allen Bewohnern den Zugang zu Licht und Luft gewährleisten zu können.

In Innenräumen können Tageslichtsysteme die Kontrolle von Bakterienpopulationen erleichtern und eine einfache Maßnahme darstellen, um ein „gesundes Gebäude“ zu gestalten.

Innerhalb der urbanisierten Bevölkerung ist eine starke Zunahme von Asthma, Allergien, und entzündungsbedingten chronischen Krankheiten, die in der Hygienehypothese mit einem Mangel an mikrobieller Exposition, vor allem im Kindesalter, in Zusammenhang gebracht wurden.

Die Feststellung dieses Zusammenhangs sollte zu einer möglichen Neudefinition des Wortes „Hygiene“ anregen: Es sollte bedeuten, die Verbreitung pathogener Mikroorganismen zu verhindern, ohne das gesamte Mikrobiom zu entfernen.

In Lüftungssystemen ist ein UV-Filter mit abgestimmten Lichtwellenlängen ein guter Schritt, um Mikroben der Außenluft eindringen zu lassen, aber das Eindringen von Pathogenen zu vermindern. Diese werden bereits in einigen

Krankenhäusern in den Lüftungsschächten oder an Decken eingesetzt, wo sie nicht mit Menschen in Berührung kommen können.

Verstärkt werden kann die Wirksamkeit dieser Filter durch Deckenventilatoren, die helfen, eine größere Anzahl von Mikroben für längere Zeit mit dem UV-Licht in Kontakt zu bringen.

Ob diese Lampen jedoch auch potenziell nützlichen Mikroben schaden könnten, ist noch nicht ausreichend erforscht.

### **Trinkwasser und Feuchtigkeit**

Bei der Trinkwasserzufuhr von Gebäuden sollte darauf geachtet werden, dass das Wasser im Zufluss nicht zu lange in den Rohren stagniert, wie es vor allem bei wassersparenden Neubauten (z. B. mit solarbeheizten Wassertanks) der Fall sein kann, da sich das Chlor darin zersetzen und einen guten Nährboden für Krankheitserreger, wie Legionellen, bieten kann.

Forscher der Universität von Toronto haben untersucht, weshalb feuchte Böden und Wände innerhalb eines Gebäudes nicht gut für die Gesundheit der Menschen sind. Um einen Zusammenhang zwischen auftretenden Erkrankungen in solchen Gebäuden und Mikroben zu ziehen, mangelt es derzeit jedoch noch an Beweisen.

Was aber festgestellt wurde ist, dass bei einer mittleren Raumfeuchte weniger Atemwegserkrankungen bei den Bewohnern auftraten als bei zu hoher oder zu niedriger Luftfeuchte.

Durch Feuchtigkeit entstehende „Schimmelpilze“ sind ebenfalls als schädlich für – vor allem bereits bestehende - Atemwegserkrankungen wie Asthma bekannt. Es wurde jedoch herausgefunden, dass für die Entwicklung und Verstärkung von Asthma keine einzelnen Pilztaxone sondern die Menge der Pilzvielfalt von Bedeutung ist.

Die Anpassungsmöglichkeit der Luftfeuchtigkeit in Innenräumen sollte von daher gegeben sein, um die Verringerung der Ausbreitung von Krankheitserregern gewährleisten zu können.

### **Materialien**

Die verschiedenen Oberflächen innerhalb eines Innenraumes ermöglichen die Bildung unterschiedlichster Ökosysteme, die beeinflusst werden von z.B.: dem Material des Untergrundes, der Temperatur, der Wasserverfügbarkeit, der Reinigungsart und -häufigkeit und der Lichteinstrahlung.

Die genaue Rolle von Baustoffen und Materialien in Bezug auf die Entstehung und Strukturierung von Mikrobiomen ist bisher noch unbekannt und konnte anhand einer Studie noch nicht konkret bestätigt werden. Es wurde jedoch herausgefunden, dass vor allem bei Bodenbelägen veränderliche Resuspensionsraten und die Fähigkeit, Wasser aufnehmen zu können, eine wichtige Rolle für Mikrobiome darstellen.

Allein die Aufnahmefähigkeit von Wasser eines Materials kann das Wachstum von Mikroben fördern. Dabei kann jedes Material als Grund für Mikrobewachstum dienen. Die Arten der darauf vorkommenden Mikroben und die Größe des entstehenden Mikrobioms kann variieren, organische Biofilme innerhalb eines Lebensraumes ähneln sich jedoch auch bei unterschiedlichen Oberflächentypen. Pilzkolonien sind stark abhängig von der Materialität ihres Untergrundes. Sie bevorzugen organische Untergründe auf Zellulosebasis gegenüber anorganischen Untergründen wie Gips, Mörtel, Beton, Keramik und Kunststoff.

Bakterienkolonien sind von ihrer Art und Vielfalt weniger abhängig von der Materialität des Untergrundes als mehr von der Lage im Raum. In einer Studie über öffentliche Toilettenräume waren deutlich mehr Bakterien auf dem Boden aufzuweisen als auf anderen Oberflächen.

Die meisten Mikroben bevorzugen pH-neutrale Bereiche, was bedeutet, dass ihr Wachstum oder Vielfalt durch Änderung der pH-Werte durch z. B. die Konzentration von Kohlendioxid oder Ammoniak verändert werden kann.

Es wurden bereits erste Systeme entwickelt, um absichtlich Biofilme zur Reinigung oder Verstärkung von Oberflächen – z. B. durch die Mineralisierung und Ablagerung von Kalziumcarbonat in Beton – zu nutzen. Viele Biofilme wirken hydrophob und können diese Fähigkeit auch

auf Gebäudewände oder Abwassersysteme anwenden.

In der Luft befindliche Chemikalien und schädliche halbflüchtige Stoffe, wie z. B. Pestizide können die Biofilme durch Absorption jedoch beeinflussen und toxischer machen.

Potenzielle gesundheitliche Nutzen und Infektionsrisiken der Nutzung von Biofilmen wurden noch nicht ausreichend erforscht, um Empfehlungen auszusprechen, der Einsatz in Bereichen ohne menschliche Interaktion sollte jedoch bereits möglich sein.

Im Tierreich gibt es viele Modelle für die Wechselwirkung zwischen Tier und Mikrobiom, die natürliche Baumaterialien wie Erde, Sand, Ton, Papier, Holz, Wachs, Steine, Schleim oder Seide nutzen. Im Bereich der Naturalisierung unserer gebauten Umgebung gibt es noch nicht genügend Forschung, aber die Verwendung von nicht-toxischen Baumaterialien wird von einigen Autoren als vorteilhaft für ein gesundes Gebäudemikrobiom hervorgehoben. Zumindest den Emissionen von Schadstoffen aus toxischen Baumaterialien im Innenraum könnte damit vorgebeugt werden.

Natürliche, offenporige, poröse Materialien wie Holz, Lehm, Hanf, Flachs und Stroh unterstützen eine diverse mikrobielle Besiedelung. Sie können Luftfeuchtigkeit aufnehmen und diese bei sinkender Luftfeuchtigkeit im Raum verzögert wieder abgeben, was einen selbstregulierenden Feuchteausgleich in Innenräumen schafft. Dieser ist wichtig, da Trockenheitsstress die Mikrobenvielfalt reduziert, wiederum aber krank machenden, multi-resistente Mikroben die Verbreitung ermöglicht, da diesen konkurrenzlos die verbleibenden knappen Nährböden zur Verfügung stehen.

„Grüne Wände“ in Gebäuden zu integrieren wäre ebenfalls eine geeignete Maßnahme. Diese verbessern die Luftqualität, indem Pflanzen oder mit Pflanzen assoziierte Mikroorganismen in einem Luftstrom zum Abbau von Partikeln verwendet werden. Sie dienen dabei als mikrobielle Reservoirs. Auch der Einsatz von Zimmerpflanzen kann sich positiv auswirken, da sie die mikrobielle Vielfalt in Innenräumen erhöhen und die Luft filtern.

Im Außenbereich könnten Gründächer eine größere mikrobielle Vielfalt in Städten ermöglichen.

## Fazit

Aus mikrobieller Sicht ist es, vor allem in schwach besiedelten Gebieten sinnvoll, die Diffusionsoffenheit von Gebäuden in der Gestaltung mit einzuplanen und mit natürlichen, porösen Baumaterialien zu arbeiten. Innerhalb dieser Arbeit wurden weitere Faktoren, wie die Anfälligkeit gegenüber Feuchteschäden, die Gefahr durch Edelgase oder auch die Energieeffizienz wenig abgedichteter Gebäude, nicht mit in die Überlegungen einbezogen. Um das „perfekte gesunde und zukunftssichere Gebäude“ abbilden zu können muss deutlich stärker interdisziplinär gearbeitet und geforscht werden. Die Mikrobiomforschung legt hierbei jedoch bereits einen guten Grundstein, um zumindest als Gedankenanstoß in die Bereiche der Architektur vorzudringen.

Auch in der Stadtplanung bieten die Erkenntnisse neue Möglichkeiten für die Begrünung von Städten und zeigen auf, dass diese nicht nur Nutzen für die Ästhetik oder Artenvielfalt von Tieren sondern auch für die Neubesiedelung durch natürliche Mikroorganismen bieten. Vor allem in Großstädten wird zukünftig hoffentlich weniger Versiegelung und mehr kreative Begrünung und natürliche Umgebungen für Wasserorganismen zu finden sein.

Die Mikrobiomforschung in Bezug auf die bebaute Umwelt ist ein noch aktiver Forschungsbereich. Es gibt bereits viele Studien, aus denen Wissen geschöpft werden kann, doch vor allem in die Tiefe gehend, sind viele Fragen noch offen. Weitere Forschung in diesem Bereich ist notwendig und wichtig, um die Gesundheit der Menschen auch auf längere Sicht gewährleisten zu können und dem Ziel des Baus von „gesunden Gebäuden“ näherzukommen.

## Literatur

- Adams, R. I., Bhangar, S., Dannemiller, K. C., Eisen, J. A., Fierer, N., Gilbert, J. A., Green, J. L., Marr, L. C., Miller, S. L., Siegel, J. A., Stephens, B., Waring, M. S. & Bibby, K. (2016). Ten questions concerning the microbiomes of buildings. *Building And Environment*, 109, 224–234. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.09.001>
- Beans, C. (2016). The Microbiome of Green Design. *BioSCIENCE*, 66(10), 801–806. <https://doi.org/10.1093/biosci/biw107>
- Bosch, T. C. G. (2022). *Die Unentbehrlichen - Mikroben, des Körpers verborgene Helfer: Warum sind so viele Menschen krank? Antworten aus der Mikrobiomforschung*. Springer.
- Bosch, T. C. G., Wigley, M., Colomina, B., Bohannan, B., Meggers, F., Amato, K. R., Azad, M. B., Blaser, M. J., Brown, K., Dominguez-Bello, M. G., Ehrlich, S. D., Elinav, E., Finlay, B. B., Geddie, K., Geva-Zatorsky, N., Giles-Vernick, T., Gros, P., Guillemin, K., Haraoui, L., . . . Melby, M. K. (2024). The potential importance of the built-environment microbiome and its impact on human health. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences*, 121(20). <https://doi.org/10.1073/pnas.2313971121>
- Finlay, B. B., Amato, K. R., Azad, M., Blaser, M. J., Bosch, T. C. G., Chu, H., Dominguez-Bello, M. G., Ehrlich, S. D., Elinav, E., Geva-Zatorsky, N., Gros, P., Guillemin, K., Keck, F., Korem, T., McFall-Ngai, M. J., Melby, M. K., Nichter, M., Pettersson, S., Poinar, H., . . . Giles-Vernick, T. (2021). The hygiene hypothesis, the COVID pandemic, and consequences for the human microbiome. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences*, 118(6). <https://doi.org/10.1073/pnas.2010217118>
- Hoisington, A. J., Brenner, L. A., Kinney, K. A., Postolache, T. T. & Lowry, C. A. (2015). The microbiome of the built environment and mental health. *Microbiome*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s40168-015-0127-0>
- Horve, P. F., Lloyd, S., Mhuireach, G. A., Dietz, L., Fretz, M., MacCrone, G., Van den Wymelenberg, K. & Ishaq, S. L.

(2019). Building upon current knowledge and techniques of indoor microbiology to construct the next era of theory into microorganisms, health, and the built environment. *Journal Of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 30(2), 219–235. <https://doi.org/10.1038/s41370-019-0157-y>

Kembel, S. W., Jones, E., Kline, J., Northcutt, D., Stenson, J., Womack, A. M., Bohannan, B. J. M., Brown, G. Z. & Green, J. L. (2012). Architectural design influences the diversity and structure of the built environment microbiome. *The ISME Journal*, 6(8), 1469–1479. <https://doi.org/10.1038/ismej.2011.211>

Morrow, R., Bridgens, B. & Mackenzie, L. (2023). *Bioprotopia: Designing Environment with Living Organisms* (1. Aufl.) [e-Book]. Walter de Gruyter GmbH.

Nilon, C. H. & Aronson, M. F. (2023). *Routledge Handbook of Urban Biodiversity*. Taylor & Francis.

Rai, S., Singh, D. K. & Kumar, A. (2021). Microbial, environmental and anthropogenic factors influencing the indoor microbiome of the built environment. *Journal Of Basic Microbiology*, 61(4), 267–292. <https://doi.org/10.1002/jobm.202000575>

Rook, G. A. (2013). Regulation of the immune system by biodiversity from the natural environment: An ecosystem service essential to health. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences*, 110(46), 18360–18367. <https://doi.org/10.1073/pnas.1313731110>

Schmitz-Spanke, S., Nesseler, T., Letzel, S. & Nowak, D. (2017). *Umweltmedizin*. ecomed-Storck GmbH.

## Zur Person



### **Chiara Bradler**

Ich studiere Innenarchitektur im 3. Semester im Bachelor an der Technischen Hochschule Ostwestfalen-Lippe und habe das Wahlpflichtfach „Baubiologie“ bei Herrn Dr. Blei absolviert. Das Thema Mikrobiome von Gebäuden wurde in einem unserer Seminare angeschnitten. Ich fand es so interessant und relevant für die Gestaltung von „gesunden Gebäuden“, dass ich mich im Rahmen dieser Arbeit eingehender damit beschäftigt habe.

### **Kontakt:**

chiarabradler@yahoo.de

## Bilder

*(1) Mikrobiome von Mensch und Umwelt  
(Bild: © Katja Duwe-Schrinner)*

(Zeichen: 20026)