

Passivhaus⁺

Kompendium 2021

spürbar besser bauen



KLIMAGERECHT BAUEN –
dem Gesetz weit voraus

INNOVATIVE KONZEPTE
für Passivhaus & Co.

GESUNDE RAUMLUFT
als Infektionsschutz



Foto: U. J. Alexander/AdobeStock

Passivhausdach als Problem und Lösung

Feuchteproblematik in Holzdächern von Andreas Nordhoff

Weil Schäden in Dächern und insbesondere in Flachdächern aus Holz regelmäßig auftreten, werden im nachfolgenden Beitrag die Basis der bauphysikalischen Grundlagen (Konvektion, Luftdichtheit, Diffusion/sd-Wert und Winddichtigkeit) anschaulich erklärt, die möglichen Schwachstellen (Planungs-, Ausführungs- und Nutzungsfehler) dargestellt sowie nachhaltige Lösungswege aufgezeigt. Ziel ist es, das Know-how zu stärken, sodass Flachdächer in Holz schadensfrei entstehen.

Flachdächer aus Holz können im Gefach mit Cellulose (= Recycling-Holz) gedämmt werden und binden damit CO₂, anstatt CO₂ auszustoßen (wie z. B. bei Beton und Schaumdämmung). Vorab soll zwischen undichten Dächern (welche auf die Nichteinhaltung der DIN 18533 zurückzuführen sind und sich durch eindringendes Regenwasser von außen in die Konstruktion kennzeichnen) und eindringendem Wasserdampf (welcher vom Rauminnen in die Konstruktion gelangt) unterschieden werden. Dem normativ handwerklichen Thema der DIN 18533 wird sich dieser Beitrag nicht widmen, vielmehr dem Eindringen von Luftfeuchtigkeit vom Innenraum her in die Konstruktion.

Konvektion oder Diffusion?

Dieses Eindringen von Luftfeuchtigkeit geschieht in erster Linie durch Konvektion, d. h. durch Luftströmung, und unterscheidet sich somit grundlegend von dem Eindringen von Wasserdampfmolekülen in die Konstruktion durch Diffusion.

Bei der Konvektion strömt die feuchte Raumluft durch eine ungenügend luftdichte Ausführung (Handwerksleistung) in das Dämmmaterial und wird auf dem Weg nach außen immer kälter. Dies geschieht in ähnlichem Maße auch durch Diffusion (Materialwahl), d. h. durch Wasserdampf-Molekülwanderung durch die Luftdichtheitsschicht, deren Verkleidung und Konstruktion.

Analogie: Wenn wir in unserer Gore-Tex-Jacke schwitzen, dringt Wasserdampf von innen durch die diffusionsoffene Jacke nach außen. Wenn wir jedoch den Reißverschluss öffnen, kann der Wasserdampf durch Konvektion in großen Mengen strömen. In einer diffusionsdichten geschlossenen Gummijacke wird unser T-Shirt schnell nass, da der Wasserdampf quasi nicht mehr diffundiert.

Zurück zur Konstruktion: Durch Konvektion können große Mengen Wasserdampf in die Dämmebene bzw. in die Konstruktion eindringen – weniger durch Diffusion. Wird die Dachhaut diffusionsoffen ausgeführt, kann der Wasserdampf nach außen wandern. Dies ist vergleichbar mit der Funktionsweise einer Gore-Tex-Jacke.

Die Konstruktion „schwitzt“ nur dann, wenn sehr viel Wasserdampf eindringt (bei nicht luftdichter Konstruktion häufig über Küche/Bad/Schlafzimmer), bzw. das Dach von außen dicht hergestellt werden muss (Gummijacke), wie z. B. bei Flachdächern, welche als sogenannte Warmdächer keinen hinterlüfteten Dachzwischenraum, wie beim Satteldach üblich, erhalten haben.

Flachdächer aus Holz ohne eine zweite Hinterlüftungsebene sind zweifelsfrei die wirtschaftlichsten und nachhaltigsten Konstruktionen – leider auch die schwierigsten.

Holzflachdach als Kaldach ohne Hinterlüftung

Dieser Abschnitt soll sich dem schwierigen Thema des Holzflachdachs als Kaldach ohne Hinterlüftung widmen. Wenn dies schadensfrei gelöst wird, dann sollten alle anderen „einfacheren Konstruktionen“ kein Problem mehr darstellen.

Das Paradoxon, dass gerade das hochgedämmte Passivhaus ein Problem, aber auch eine Lösung hat, erklärt sich wie folgt:

Bei den hohen Dämmstoffdicken von ca. 40 cm im Dach wird die Temperatur auf dem Weg durch die Dämmung nach außen stark abfallen, sodass unter der Dachhaut annähernd die Außentemperatur erreicht wird. Im Winter, bei Temperaturen unter 0 °C, wird es dann zur Kondensation der Wasserdampfmoleküle an dieser Stelle kommen. Wenn viel Wasserdampf in der Raumluft ist und die Luftdichtheit nicht gut ausgeführt wird oder die falsche Luftdichtheitsfolie eingebaut wurde, dringt viel Wasser(-dampf) in die Konstruktion ein und es wird auch viel kondensieren. Dieses Kondensat wird von den Konstruktionshölzern aufgesogen und das Holz verfault dann in wenigen Jahren. Schimmel sind die Vorboten, einstürzende Dächer zeigen das Ende des Prozesses an.

Nun die gute Nachricht für Passivhäuser: Durch die kontrollierte Wohnlüftungsanlage wird die relativ feuchte Raumluft durch die im Winter trockene Außenluft (2-5 g/kg_{Luft}) permanent ausgetauscht, sodass auch die „gefährlichen“ Räume (Bad, Küche, Schlafen) immer wieder getrocknet werden.

Jedoch Vorsicht! Wer meint, mit der Raumlüftungsanlage sei alles gut, täuscht sich. Denn auch geringere Mengen an Wasserdampfmolekülen kondensieren unter der im Winter kalten Dachhaut, so diese dort hingelangen. Wie kann der Konstrukteur dies vermeiden bzw. die Menge an Kondensat so gering halten, dass während der Sommertrocknungszeit diese Wassermenge wieder verdampfen und in den sommertrockenen Innenraum zurück gelangen kann?

Wie eingangs bereits erwähnt, ist die luftdichte Bauweise ein erster wichtiger Schritt. Auch hier liegt der Vorteil bei der Passivhausbauweise, da diese ca. fünfmal dichter ist, als der gesetzliche Grenzwert im Gebäudeenergiegesetz es verlangt. Doch selbst der Passivhaus-n₅₀-Wert von < 0,6 l/h reicht in vielen Fällen nicht aus, mindert aber immerhin das Risiko. Empfehlenswert sind n₅₀-Werte < 0,4 l/h, die in der Passivhauspraxis häufig erreicht werden.

Auf das Material kommt es an

Nun haben wir im Winter weniger Wasserdampfmoleküle durch den permanenten Luftaustausch im luftdicht gebauten Gebäude und können uns entspannt dem Restrisiko widmen. So nun doch Wasserdampf in die Konstruktion eingedrungen ist und an der kalten Dachhaut im Winter kondensiert, sollte darunter keine feuchteanfällige Holzplatte (wie z. B. Spanplatte) liegen. Bretterschalung nimmt Wasser auf und gibt es bei pressdichter Einbringung des Dämmmaterials, wie standardmäßig bei Zellulose gegeben, an die Dämmung weiter.

Dort verteilt sich die Feuchtigkeit und wandelt sich in Wasserdampfmoleküle um. Der Druck der Wassermoleküle im Dämmraum steigt. Wenn eine dampfvariable Folie (vgl. Gore-Tex-Jacke) verbaut wurde, drücken sich die Wassermoleküle durch diese „Membran“ wieder zurück in den Innenraum (Dampfdruckausgleich).

Wie schnell das geht, entscheidet der sd-Wert, der bei den variablen Folien unterschiedlich ist.

Nun könnte man meinen, der sd-Wert sei zweitrangig – Hauptsache es kommt alles wieder raus. Ein höherer Widerstand (= größerer sd-Wert) lässt ja auch weniger in die Konstruktion rein.

Es darf jedoch nicht vergessen werden, dass auch immer mit Baufeuchte gerechnet werden muss. Insbesondere im ersten Jahr ist bei Massivbauten mit vielen Tausenden Kilogramm Wasserdampf zusätzlich zu rechnen. Wenn diese eindringen, kann es problematisch werden; dann lässt eine zu dichte Folie im Sommer zu wenig wieder raus.

Die Lösung stellt eine Folie dar, die unterschiedliche sd-Werte hat, d. h., von der Konstruktion in den Raum öffnet sich diese Folie mehr als vom Raum in die Konstruktion.

Aber auch diese „eierlegende Wollmilchsau“ schützt nicht grundsätzlich vor Schäden.

Empfehlenswert ist deshalb:

1. Passivhausstandard
2. Luftdicht bauen, d. h. n₅₀-Werte unter 0,4 l/h
3. Rauchtst des Kaldaches im Überdruck mit Rauchstäbchen
4. Lüftungsanlage ohne Feuchterückgewinnung (zumindest im ersten Winter)
5. Gebäudetrocknung vor Einzug
6. Massivholz (Bretterschalung) unter der Dachhaut (Warmdach)
7. Cellulose-Press-Dämmung zur Feuchteaufnahme = Verteilung
8. Feuchtevariable Membran, besser noch mit zwei unterschiedlichen sd-Werten
9. Gute Planung, gute Bauüberwachung und unabhängige und erfahrene Luftdichtheitsmessteams

Schlusswort

Wenn nun alles richtig ausgeführt ist, so muss auch dem Nutzer noch bewusst gemacht werden, dass er die Folie nicht beschädigen darf. Löcher bzw. nachträgliche Installationen mit Verletzung der Luftdichtheitsebene können leider wieder zu maximalen Schäden führen. Zu empfehlen ist, die Luftdichtheitsebene nicht direkt unter der Rauminnenoberflächenplatte zu führen, sondern vielmehr durch eine 6 cm tiefe Installationsebene einen Raum herzustellen, der einen Sicherheitsabstand zur Luftdichtheitsebene bildet.

Gewusst wie, und nachhaltige Flachdächer sind planbar.

Der Verfasser lebt in seinem selbst geplanten Plusenergiehaus mit zwei solchen Flachdächern nunmehr im sechsten Jahr – und dies mängelfrei.



ANDREAS NORDHOFF

Dipl. Ing., Gründer des IBN (Institut für Bauen und Nachhaltigkeit). IBN berät seit 1996 Baufachleute und Bauherren, begleitet größere PH-Planungen bis zu fünf Jahren nach Fertigstellung (Monitoring) und bietet Weiterbildungen zum zertifizierten Passivhausplaner an. www.ibn-passivhaus.de

Filtern, ionisieren, bestrahlen

Luftqualität in Zeiten von Corona von Andreas Nordhoff

Die Reinheit der Luft ist ein Grundbedürfnis des Menschen und dies gilt es zu schützen. Doch wie rein ist unsere Raumluft wirklich? Die nachfolgenden Ausführungen klären über potenzielle Gefahren durch verunreinigte Luft auf und erläutern die Anforderungen der Regelwerke hinsichtlich der Gewährleistung der Luftqualität.

Außenluftqualität

Zur Beurteilung der Außenluftqualität klassifiziert die DIN EN 16798-3 die Außenluft in drei Qualitätsstufen. Bei der Bewertung von Luftfiltern wird sich auf diese Außenluftbereiche bezogen.

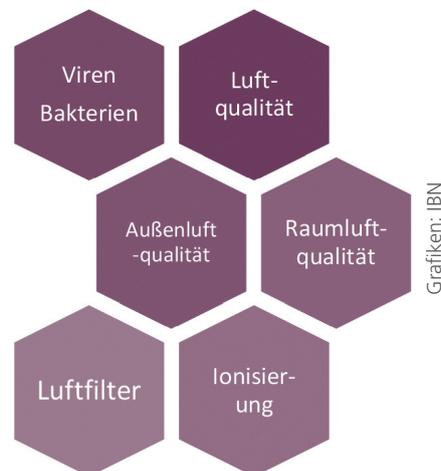
Bezeichnung	Beschreibung	Gültigkeit
ODA 1	Außenluft, die nur zeitweise staubbelastet sein darf (z.B. Pollen).	Gilt, wenn alle Grenzwerte der WHO* eingehalten werden
ODA 2	Außenluft mit hoher Konzentration an Staub oder Feinstaub und/oder gasförmigen Verunreinigungen	Richtwert < WHO Grenzwert* x 1,5
ODA 3	Außenluft mit sehr hoher Konzentration an Staub oder Feinstaub und/oder gasförmigen Verunreinigungen	Richtwert \geq WHO Grenzwert* x 1,5

*WHO-Grenzwerte siehe nachfolgende Tabelle

Luftschadstoffe, Feinstaub und Aerosole

Nach der Richtlinie VDI 6022-1 muss die Belastung der zugeführten Außenluft durch Luftschadstoffe vermieden werden. Die Partikelgröße der Schadstoffe wird in den gängigen Regelwerken in μm = 1 Millionstel Meter = 1 Tausendstel mm angegeben; $1/1000 \mu\text{m}$ = 1 Nanometer (nm).

Feinstäube und Aerosole sind winzige, in der Luft enthaltene feste oder flüssige Partikel. Diese können sich über mehrere Stunden in der Luft aufhalten, insbesondere, wenn diese klein sind und elektrisch nicht geladen (ionisiert). Bekannte Feinstaubquellen sind unter anderem Kraftfahrzeuge, Kraft- und Fernheizwerke, aber auch Öfen und Heizungen in Wohnräumen.



Grafiken: IBN

Element	Richtwert	
O ₃	Richtwert nach WHO	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Informationsschwelle	180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Alarmschwelle	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO ₂	Richtwert nach WHO (1-Stunden-Grenzwert)	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Zulässige Überschreitung p.a.	18 mal
	Zulässiger Jahresgrenzwert	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM ₁₀	Richtwert nach WHO	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Zulässige Überschreitung p.a.	35 d/a
	Zulässiger Jahresmittelwert	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
SO ₂	1-Stunden-Grenzwert	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Zulässige Überschreitung p.a.	24 mal
	Tagesgrenzwert	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Zulässige Überschreitung p.a.	3 mal

Tabellen: IBN

Klassifizierung der Außenluft nach DIN EN 16798-3.

Nach Angaben der DIN EN ISO 16890 wird Feinstaub in folgende drei PM-Kategorien (englisch: particulate matter, kurz PM) unterteilt:

PM₁₀ \leq 10 μm (0,01 mm)

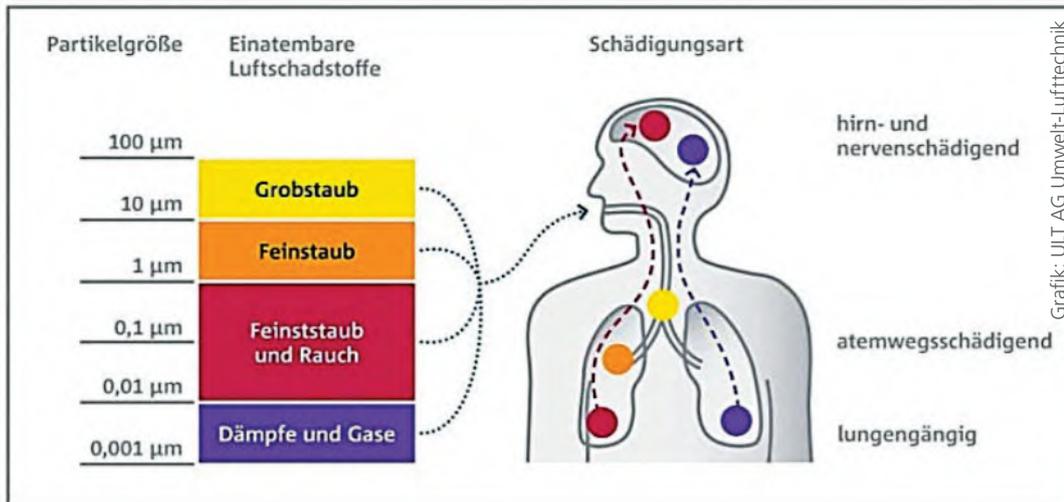
PM_{2,5} \leq 2,5 μm (0,0025 mm)

PM₁ \leq 1 μm (0,001 mm = 1000 nm)

Virengröße: 10 bis 350 nm (Coronaviren ca. 100 nm)

Bakteriengröße: 100 bis 700 000 nm (= 700 μm)

Mit Blick auf die winzigen Größen lässt sich das Problem von Feinstaub erahnen. Je kleiner ein Partikel ist, desto tiefer kann er über die Lunge in den Körper eindringen (vgl. Abbildung).



Grafik: ULT AG Umwelt-Lufttechnik

Schädigungsart je nach Partikelgröße.

Partikel, die kleiner als ein Zehntel Mikrometer sind, gelangen in die Lunge, Hirngänge und in die Blutbahn. Aufgrund der Anatomie des Körpers wirken sich mögliche Beeinträchtigungen auf das gesamte System aus. Entzündungen der Atemwege sowie damit einhergehende Störungen des Herz-Kreislauf-Systems können laut Umweltbundesamt mögliche Folgen sein.

Raumluftqualität

Eine mit Schadstoffen belastete Raumluftqualität gilt es nach der Richtlinie VDI 6022-1 durch Maßnahmen entgegenzuwirken. Die zu treffenden Maßnahmen richten sich nach der Klassifizierung der Raumluftqualität nach VDI 6022-3. Die Beurteilung der Raumluftqualität ist nach VDI 6022-3 abhängig von der im Raum vorhandenen Schadstofflast, der Qualität der Zuluft, der Art der Raumluftströmung (freie Lüftung, maschinelle Lüftung) und der Raumgeometrie. Temporären Einflüssen, wie Ausdünstungen von Oberflächen sowie menschlichen Ausscheidungen, kann durch diverse Maßnahmen wie lüften, filtrieren, ionisieren, bestrahlen (z. B. UV-C) etc. entgegengewirkt werden. Die VDI 6022-3 unterscheidet vier Raumluftqualitäten, die für dort näher bezeichnete Gegebenheiten gelten sollen und deren Beurteilungswerte im Beiblatt 3 der Richtlinie aufgelistet werden. RAL 1 bedeutet Raumluftqualität hoch; RAL 2 = mittel/normal; RAL 3 = mäßig/moderat; RAL 4 = niedrig.

Zur Beurteilung der Raumluftqualität sind nach der VDI 6022-3 drei Stufen maßgebend. Während sich Beurteilungsstufe 1 auf die grundlegend zu prüfenden Parameter CO₂, Luftfeuchtigkeit, Lufttemperatur) bezieht, erfassen die Beurteilungsstufen 2 und 3 Parameter, die in begründeten Fällen zusätzlich zu untersuchen sind (z. B. Feinstaub, CO, Radon, TVOC, chemische Verbindungen aus Farben, Lacken, Reinigungsmitteln o. Ä., Schimmelpilzsporen). Nicht enthalten ist die Beurteilung der Belastung durch Bakterien und Viren!

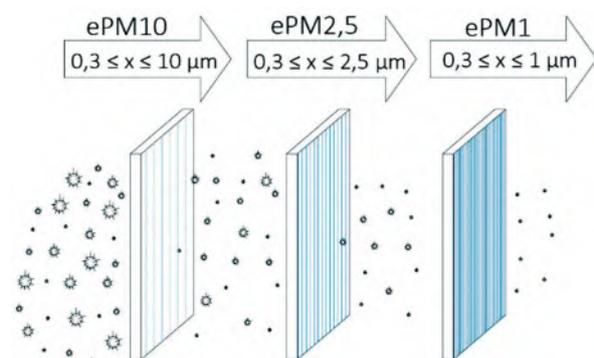
Bei einer Überschreitung der Beurteilungswerte sind Maßnahmen zu treffen, um einer Gesundheitsgefahr entgegenzuwirken.

Luftfilter

Raumlufttechnische Anlagen können für ein stetig ausgeglichenes Wohnklima in unseren Gebäuden sorgen. Die Außenluft wird entsprechend den Bedürfnissen konditioniert und den Räumen hinzugefügt. Um belastete Partikel abzuscheiden und eine Gefährdung der Gesundheit zu vermeiden, werden Luftfilter in die Anlagen integriert.

Die ISO 16890 legt allgemeine Bestimmungen, Anforderungen sowie Effizienzklassen für Luftfilter bezüglich des Feinstaubes fest. Inwieweit die Feinstaubpartikel der oben genannten Kategorien durch Luftfilter abgeschieden werden, wird nach DIN EN ISO 16890 durch den Abscheidegrad ePM_x zwischen 0,3 µm und x µm gekennzeichnet. Einzelne Viren sind somit nicht in dieser Norm erfasst und durch diese Filter nicht direkt absehbare. Jedoch sind Viren-Aerosole viel größer und werden zum Teil auch mit ePM1-Filtern abgeschieden.

Die Normreihe unterteilt die Filter in drei Gruppen:



Abscheidegrad der Filterklassen.

Anwendungen in der Reinraumtechnik erfordern erhöhte Anforderungen an die Luftreinheit. Für eine Abscheidung von Partikeln unterhalb der in der DIN EN ISO 16980 genannten Grenze (ab 0,3 µm) können spezielle Hochleistungsfilter zum Einsatz kommen. Für Mikro-Glasfaserfilter liegt nach DIN EN 1822-1 der Abscheidebereich zwischen 0,12 und 0,25 µm. Diese Filter stellen eine Abscheidung von Bakterien und einem Großteil der Virenlast sicher.

Die Beschaffenheit von Luftfiltern und der damit einhergehende Druckverlust hat maßgeblichen Einfluss auf die aufzuwendende Energie. Der Druckverlust steht im Quadrat mit der elektrischen Antriebsleistung.

Filterklasse nach EN 779	Filterklasse nach ISO 16890
G2	ISO Coarse > 30 %
G3	ISO Coarse > 45 %
G4	ISO Coarse > 60 %
M5	ePM ₁₀ ≥ 50 %
M6	ePM _{2,5} ≥ 50 %
F7	ePM ₁ ≥ 50 %
F8	ePM ₁ ≥ 70 %
F9	ePM ₁ ≥ 80 %

Ionisierung und Bestrahlung mit UV-C-Licht

Dem Spaziergang im Wald, der Atmosphäre im Gebirge oder der „frischen Brise“ an der See werden vitalisierende Effekte bescheinigt. Die dortige Qualität der Außenluft soll eine wohlwollende Wirkung auf das menschliche Wohlbefinden haben. Doch was genau ist damit gemeint und wodurch unterscheidet sich diese von der innerstädtischen Atmosphäre?

Um dem Phänomen auf die Spur zu kommen, wird zunächst ein kurzer Exkurs über grundlegende physikalische und chemische Gesetzmäßigkeiten geführt. Elektrisch leitende Luft, d. h. ionisierte Luft, kommt in der Natur vor. Besonders nach einem Gewitter ist die Luft elektrisch geladen. Die Metapher vom „reinigenden Gewitter“ erklärt sich aus dem Naturphänomen der aerosolabscheidenden Wirkung von elektrisch leitender Luft. Verglichen zu der natürlich vorkommenden Konzentration beider Sauerstoffformen geht die Konzentration in Gebäuden gegen 0.

	Ozon	Sauerstoffionen
Gebirge	ca. 40 – 60 µg/m ³	ca. 6.000 lo/cm ³
Seeklima	ca. 40 – 60 µg/m ³	ca. 2.000 lo/cm ³
Waldgebiete	ca. 40 – 60 µg/m ³	ca. 1.500 lo/cm ³
Stadtgebiete	ca. 60 – 180 µg/m ³	ca. 500 lo/cm ³
Innenräume	ca. 0 - 10 µg/m ³	gegen 0 lo/cm ³

Quelle: GSB mbH

Durchschnittliche Ozon- und Ionenkonzentration.

Komponenten von Raumlufttechnische Anlagen, wie Filter, WRG etc., sind geerdete Leiter. Diese leiten die Ladung negativer Ionen ab und fügen somit dem Raum passiven Sauerstoff zu. Das Bindungspotenzial entfällt. Einer Belastung der Raumluftqualität muss nach DIN 1946-6 durch eine erhöhte Zufuhr an Außenluft entgegengetreten werden. Dies ist mit einem energetischen Mehraufwand verbunden.

Nach dem Vorbild der Natur liegt es nahe, die Raumluft mit negativ geladenen Sauerstoffteilchen zu bereichern. Beispielsweise ergänzen Ionisierungsgeräte herkömmliche RLT-Anlagen. In der Raumluft enthaltene Schadstoffpartikel werden nach der obigen Ausführung gebunden und die Raumluft gereinigt.

Interessant ist auch die Bestrahlung mittels UV-C Licht. Licht ist die Zusammensetzung von Wellen unterschiedlicher Wellenlängen. 390 bis 780 nm betragen die Wellenlängen des Lichts, welches wir sehen. Nicht sichtbar, jedoch auch wirksam sind das Infrarotlicht mit einer höheren Wellenlänge und das Ultraviolettlicht mit einer niedrigeren Wellenlänge. Das UV-Licht wird in die folgenden drei Bereiche unterteilt: UV-A-Strahlung: 315 bis 380 nm (Nanometer = 1/1 000 000 mm); UV-B-Strahlung: 280 bis 315 nm; UV-C-Strahlung: 100 bis 280 nm. UV-C-Strahler mit 254 nm reichen zur Abtötung von Viren aus. Vorsicht: Viele Strahler erzeugen auch UV-C-Licht mit 185 nm. Dies erzeugt zusätzlich Ozon. Ozon tötet auch Bakterien und Viren, darf jedoch nicht in Aufenthaltsräume gelangen. Ozonfreie UV-C-Bestrahlungsgeräte filtern die UV-C-Strahlung bei 185 nm heraus. Aktivkohle filtert Gase und kann somit auch Ozon filtern.

Zusammenfassung

In Städten befinden sich mehrere Milliarden Aerosole pro m³. Lungenatmende sind somit einer Vielzahl von Schadstoffen ausgesetzt. Der Mensch hat unter normalen Umständen, insbesondere in frischer Luft, gute Abwehrsysteme. Doch in geschlossenen Räumen sind ggf. zudem noch weitere Schadstoffe zu finden. Dieses komplexe System führt nicht automatisch mit guten Filtern, UV-C-Strahlern und Ionisierung der Raumluft zur Gesunderhaltung, sondern körpereigene insbesondere psychosomatische Wirkmechanismen, wie z. B. Angst, reagieren womöglich schwächender auf das Immunsystem als einige Keime in der Raumluft. Beides zu stärken sollte die Aufgabe von Ingenieuren und Ärzten sein.



ANDREAS NORDHOFF

Dipl. Ing., Gründer des IBN (Institut für Bauen und Nachhaltigkeit). IBN berät seit 1996 Bau fachleute und Bauherren, plant und begleitet größere Passivhaus-Projekte und bietet Weiterbildungen zum zertifizierten Passivhausplaner an.
www.ibn-passivhaus.de