

Energie

Krankenhäuser im Passivhaus-Standard

Passivhäuser gibt es nunmehr seit über 15 Jahren. Sie definieren sich durch bestimmte Parameter, die einen sehr niedrigen Energiebedarf abbilden:

- maximaler Heizwärmeenergiebedarf 15 kWh/m²a
- maximaler jährlicher Primärenergiebedarf 120 kWh/m²a
- maximale Heizlast 10 W/m²
- maximaler Kühlenergiebedarf 15 kWh/m²a
- Wärmebereitstellungsgrad mindestens 75 Prozent

Diese Werte sind die wesentlichen Kennzeichen und Eckdaten bei der Konstruktion und Auslegung von Passivhäusern, die jedoch in ihrem Ursprung aus dem Wohnungsbau herrühren. Bei Krankenhäusern zählen, bedingt durch den Betrieb, andere Parameter. Dadurch entstehen lüftungsbedingt höhere Volumenströme und damit höhere Wärmeverluste. Auch gibt es im Krankenhaus höhere interne Wärmelasten durch verschiedenste medizinisch technische Geräte wie zum Beispiel Kernspintomographen, Röntgengeräte, Sterilisation, OPs, aber auch haustechnische Geräte, wie zum Beispiel Lüftungsanlagen, eine Großküche, Beleuchtung und Aufzüge. Hierdurch ergeben sich besondere Anforderungen bei der Konzeption und Planung von Krankenhäusern.

Die Optimierung der technischen Geräte im Einzelnen und untereinander sowie die Berücksichtigung der anlagen-spezifischen Kenndaten bei der architektonischen Planung setzen neue Maßstäbe für die Planung. Gegenüber konservativer Planung werden zwar die Luftmengen reduziert, die Kanalquerschnitte erhöhen sich jedoch, da der maximal zulässige Druckverlust in einem Lüftungssystem extern 350 Pa nicht überschreiten darf. Die daraus folgenden sehr geringen Strömungsgeschwindigkeiten verringern die Antriebsleistungen der Ventilatoren auf minimale Werte,

die unter 10 Prozent der konservativen Planung liegen. Die Abwärme der Ventilatoren führt bei Passivhäusern zudem nicht mehr zu einer Lufttemperaturerhöhung, die bei konservativer Planung Kühlanlagen mit sich brachten. Diese Änderungen in Bezug auf die Anlagen müssen im architektonischen Entwurf berücksichtigt und optimiert werden.

Das Konzept Passivhaus

Grundsätzlich ist die thermische Gebäudehülle im Passivhausstandard einfach zu errichten. U-Werte (Wärmedurchgangskoeffizienten) der Außenwand unter 0,2 W/(m²K) sind sowohl als vorgefertigte Wandelemente als auch bei monolithischer Bauweise einzuhalten. Zu empfehlen sind Außenwände, die 100 Prozent recyclingfähig sind und eine sortenreine Trennung garantieren. Eine hohe Wasseraufnahmefähigkeit im Sommer, welche im Winter zur Raumluftbefeuchtung abgegeben werden kann, ist ebenfalls sinnvoll.

Durch die am Markt vorhandenen, sehr guten Fenster (U-Werte von 0,85 W/[m²K] Einbauzustand) sind bodentiefe Verglasungen möglich und in Kliniken wünschenswert („Healing Environment“). Kaltluftströmungen treten durch die hohen Oberflächentemperaturen im Winter nicht mehr auf, daher können Heizkörper unter den Fenstern entfallen.

Eine sommerliche Verschattung bietet den notwendigen Schutz vor Überhitzung. Lichtlenklamellen im oberen Bereich sorgen für ausreichend Tageslicht. Geeignet sind Lichtlenklamellen, deren Oberfläche die Wärmestrahlung absorbiert, jedoch das sichtbare Licht reflektiert. Der Anteil künstlicher Beleuchtung wird so signifikant reduziert.

Eine durchgehende Innenputzschicht sichert die hohen Anforderungen an Luftdichtheit. Die Verbesserung der Luftdichtheit ist die Energieeinsparung mit dem größten wirtschaftlichen

Effekt. Der für Passivhäuser maximal zulässige Wert von $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$ sollte nicht das Ziel sein, vielmehr sollte ein Wert von $0,1 \text{ h}^{-1}$ angestrebt werden. Dieser hätte neben einigen Tonnen CO₂-Einsparung auch noch den Vorteil der Minimierung möglicher Bauschäden durch ggf. noch vorhandene Einzelleckagen. Zu empfehlen ist, einen zertifizierter Passivhausplaner als Verantwortlichen für die Erreichung des Zielwertes 0,1 zu benennen. Er sollte Erfahrung mit Abdichtungen bei Passivhäusern haben, mehr als 100 eigenverantwortliche Messungen durchgeführt und als Bauleiter gearbeitet haben. Zudem sollte er vom Fachverband für Luftdichtheit im Bauwesen zertifiziert sein.

Die Betonindustrie hat zurzeit Zulassungen für hoch wärmedämmenden Beton (dieser wird mit Glaskugeln als Zuschlagsstoffe versehen). Hiermit wird es möglich sein, wie bereits seit Jahren in der Schweiz realisiert, eine monolithische Bodenplatte tragfähig zu gestalten.

Energiedesign

Augenmerk ist hier auf ein optimiertes Energiedesign zu legen. Nach der Reduzierung des Stromverbrauchs auf den Passivhausstandard ist die Wahl des richtigen Versorgers zur Bereitstellung der Primärenergie weiterhin ein wichtiger Schritt zur Reduzierung.

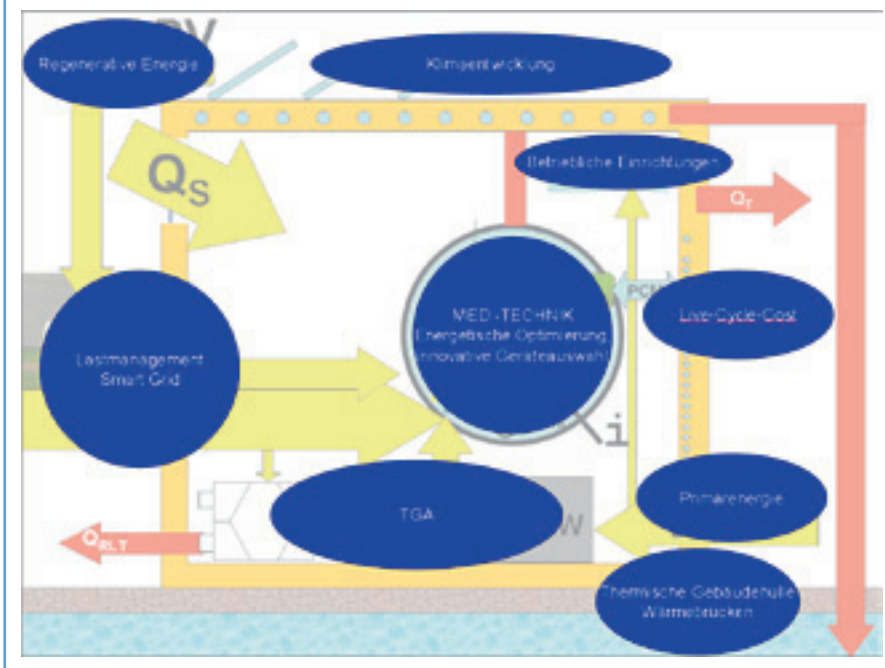
Wärme

Biogas, welches durch örtliche Versorger angeboten wird, sollte als Primärenergieträger zur Versorgung eines Blockheizkraftwerks zur Wärme- und Stromerzeugung gewählt werden.

Eine zentrale Dampferzeugung ist zu vermeiden, da diese sowohl von den Investkosten als auch von den Energiekosten unwirtschaftlich ist. Alternativen hierzu sind vorhanden.

Die Blockheizkraftwerke liefern Wärme auf einem Temperaturniveau, mit

Abbildung 1: Optimierte Themenfelder



dem auch die Warmwasserbereitung abgedeckt werden kann. Zur Heizung sollten in die Betondecken Rohrschlangen eingebracht werden, die die Grundwärme des Krankenhauses bereitstellen. Für die bedarfsorientierte Temperaturregelung sind Mini-Einzelraum-Luftwärmepumpen geeignet. Sie beziehen ihr Heizwasser aus dem vorhandenen Heizungskreislauf und regeln mit einer Leistung von 400 W wirtschaftlich die individuelle Raumtemperatur.

Lüftung

Hygiene ist in Krankenhäusern oberstes Gebot. Neben den Normen und Gesetzen, wie der DIN 1946/Teil 4, der VDI 6022 als auch der VDI 6023, müssen selbstverständlich alle Vorschriften und Regelwerke des Krankenhausbauwesens berücksichtigt werden.

In konservativ geplanten Krankenhäusern sind deutlich zu hohe Luftwechselraten vorhanden, die bestenfalls eine Wärmerückgewinnung bis 60 Prozent aufweisen. Das oberste Ziel der Lüftung ist es, den hygienisch notwendigen Mindestluftwechsel sicherzustellen. Hierzu sind deutlich geringere Luftwechselraten möglich, die zudem mit sehr guter Wärmerückgewinnung (möglichst über 85 Prozent) einen erheblichen Teil des Heizwärmebedarfs einsparen können.

Eine Luftfeuchtigkeit von 35 bis 60 Prozent ist in allen pflege- und heilintensiven Räumen zur Verfügung zu stellen. Die aus der Vergangenheit herrührenden Befeuchtungssysteme waren entweder hygienisch sehr bedenklich (Düsenkammerbefeuchtung) oder energetisch nicht tragbar (Dampfbefeuchter).

Die Feuchte-Performanceplanung geht von den zwei Eckpfeilern des Energiedesigns aus:

- Vermeidung von Verlusten
- Speicherung und Phasenverschiebung

Verluste durch undichte Gebäudehüllen, überhöhte Luftmengen und Verzicht auf Feuchterückgewinnung werden bei konsequenter Umsetzung vermieden. Die Nutzung des Gebäudes als Feuchtespeicher ist ein wesentlicher Beitrag einer guten Feuchte-Performance. Krankenhäuser sind am Ende des Sommers über 1 000 Tonnen schwerer als am Ende des Winters, weil das Gebäude tausende von Litern Wasser vom Sommer speichert. Hinzu kommt die Nutzung der Feuchteabgabe etwa von Personen (1 000–3 000 l/d) und insbesondere die Feuchteübertragung aus der Abluft in die Zuluft.

Diese Feuchteübertragung kann auch durch zwei verschiedene Systeme funktionieren:

- Rotationswärmetauscher mit hygroskopischer Beschichtung. Rotationswärmetauscher sind in vielen Bereichen unkritisch einzusetzen, da moderne Lüftungsgeräte über eine Spülkammer verfügen, sodass keine Luftmoleküle von der Abluft in die Zuluft übertragen werden können. Zur Sicherheit können Aktivsauerstoffsysteme nachgeschaltet werden.
- Feuchteübertragung durch semipermeable Wärmetauscheroberflächen. Die feuchteübertragenden Membrantauscher machen sich die unterschiedliche Molekülgröße von Luft- und Wassermolekülen zu Nutze. Die signifikant kleineren Wassermoleküle durchdringen die kleinen Poren der Wärmetauscher-Membranen, hingegen bleiben die größeren Luftmoleküle auf der Abluftseite.

Vorteile der Feuchteübertragung sind einerseits die bessere Genesung von bettlägerigen Patienten sowie eine bessere Luft für die arbeitenden Pfleger und Ärzte. Als positiver „Nebeneffekt“ wirkt sich eine annähernd gleichbleibende Luftfeuchte positiv auf die Baukonstruktion aus. Rissbildung durch Schwinden und Deckeln wird minimiert.

Zudem wird die in der Feuchtigkeit enthaltene Energie im Haus gelassen – vergleichbar mit dem Brennwertkessel, wo auch die Kondensationswärme zu einem ca. 10 bis 15 Prozent höheren Wirkungsgrad führt.

Kühlung

Im Sommer kann dieses Prinzip durch die sogenannte adiabatische Kühlung genutzt werden. Hierzu dient gespeichertes Regenwasser (alternativ Grundwasser), welches durch Verdunstung Wärme aufnimmt und so die Zuluft signifikant kühlen kann.

Die in die Decken eingebrachten Rohrschlangen, welche im Winter zur Heizung auf Niedertemperaturniveau dienen, können gleichzeitig im Sommer zur Einbringung der Kühlungsenergie dienen, welche ohne Kompressorkälteerzeugung aus dem vorhandenen Grundwasser gespeist werden kann. Bei der Kaufentscheidung Med-Tech-Geräte

empfehlen wir Geräte zu wählen, welche mit einer Kühlmitteltemperatur von nur 12 °C auskommen. So kann auch hier auf Kompressorkälte verzichtet werden. Die auf diese Art und Weise zu erbringenden Kühlleistungen von 50 bis 150 W/m² reichen in wesentlichen Teilen des Gebäudes aus.

Lokale Wärmelasten durch Medizintechnik, Sterilisatoren, oder auch Küchengeräte können über Wärmepumpen in die Bereiche gefördert werden, in denen Wärme abverlangt wird.

Zeitweise hohe Wärmelasten werden idealerweise durch PCM-Oberflächen gepuffert. PCM (Phase Change Material) sind in die Putzoberflächen eingearbeitete Wachse, welche bei einer Temperatur von zum Beispiel 24 °C flüssig werden und damit dem Raum Wärme entziehen. So wird beispielsweise tagsüber der Aufstellraum des Kernspintomographen gekühlt und nachts, bei Stillstand des Kernspintomographen, diese Wärme wieder abgegeben, sodass einerseits Kühlenergie tagsüber und andererseits Heizenergie nächtlich eingespart wird. PCM funktioniert völlig ohne Hilfsenergie.

Elektroversorgung

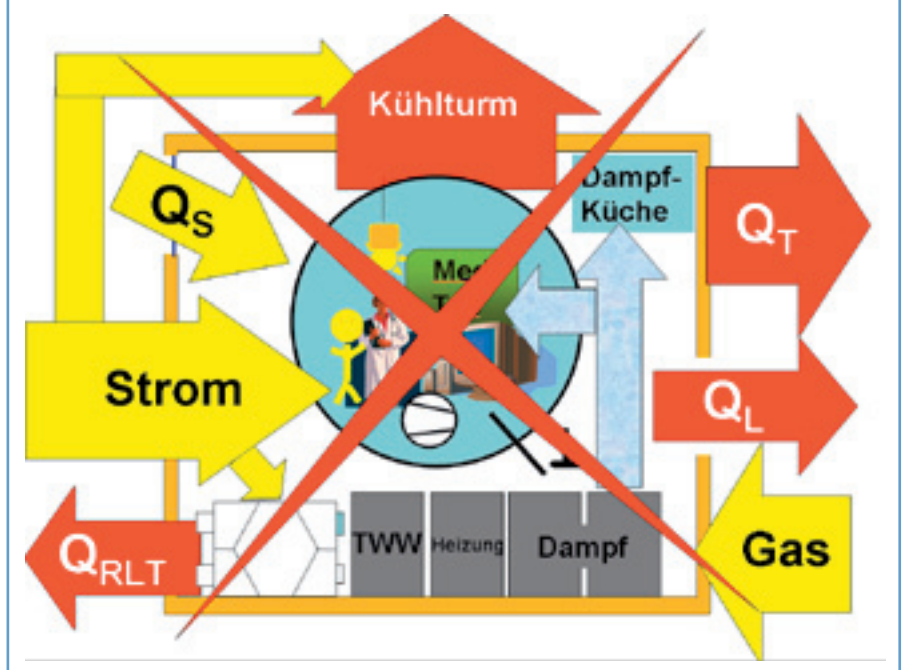
Die Problematik der Spitzenlast kann durch ein Lastmanagement minimiert werden. Zudem dient die Eigenstromerzeugung der Blockheizkraftwerke zur Deckung der Grundlast.

Durch kurzfristige Reduzierung des Luftvolumenstroms in den Patiententrakten bei Einschaltung hoher Stromverbraucher, wie Sterilisation, MRT, CT etc. kann ein Teil der Stromspitze „gekappt“ werden. Auch können elektrische Speicher einer hauseigenen Elektromobilflotte und Notstromversorgung zur Lastspitzendeckung herangezogen werden.

Sind die Passivhauskriterien der an die technische Gebäudeausrüstung gestellten Parameter erfüllt (maximale spezifische Leistung unter 0,45 Wh/m³, unter 350 Pa Gesamtdruck pro Lüftungsgerät, Hocheffizienzpumpen, etc.), reduziert sich natürlich auch die Spitzenlast.

Die künstliche Beleuchtung kann durch optimale Nutzung des Tageslichts auf ein Minimum reduziert werden.

Abbildung 2: Energieflussschema eines konservativen Krankenhauses



Fernseher mit Flatscreens sind mit Leistungen von unter 20 Watt erhältlich. Auch kann durch Abschaltung der Verbrauch der Standbyleistung eingespart werden. Auch der Energieverbrauch durch PCs kann reduziert werden: Thin Client bezeichnet die Methode, auf lokale Rechner am Arbeitsplatz zu verzichten. Externe Rechenzentren liefern die gesamte Rechenleistung, so dass Serverräume (und deren Kühlung) durch eine Auslagerung entfallen. Übrig bleibt ein Thin Client mit einer lokalen Leistung von 10 bis 15 Watt pro Arbeitsplatz. Dem gegenüber standen früher Leistungen von 200 bis 300 Watt, die naturgegeben auch Kühlleistungen forderten.

Energielabel

Aufzüge

Die VDI 4707, eine Richtlinie zur Energieeffizienz von Aufzügen, bietet eine Energieklassifizierung. Zu empfehlen ist:

- Kabinenbeleuchtung mit LED, da diese nur bei Fahrt anschaltbar ist und eine hohe Schaltlebensdauer bei gleichzeitig geringem Strombedarf aufweist.
- Seilzug-Aufzugstechnik. Diese ist so sparsam, dass auf einen Aufzugsma-

schinenraum verzichtet werden kann; die Fahrzeugwand ist ausreichend.

- Nachts werden die Aufzüge in den Sleep-Modus gesetzt.
- Die Türantriebe werden bei Stillstand „AUS“ geschaltet.

Pumpen

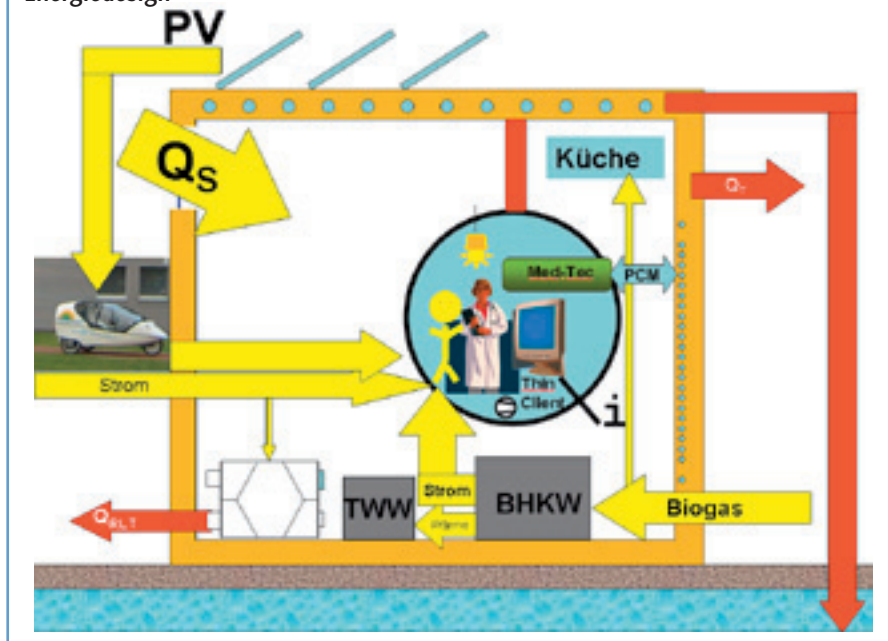
Auf zentrale Heizungspumpen kann weitestgehend verzichtet werden, da eine ganz neue, im jeweiligen Zimmer positionierte 1-Watt-Minipumpe sich gradgenau immer die Wassermenge aus dem Heiznetz nimmt, die das zu beheizende Zimmer gerade benötigt. Bei beispielsweise 1 000 Zimmern errechnen sich lediglich 1 000 W bzw. 1 kW für die gesamte Heizungswasserversorgung. Thermostatventile entfallen.

Photovoltaik

Die auf dem Gebäude installierte Photovoltaikanlage dient auf den ersten Blick nicht zur Deckung der Lastspitze: Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass immer dann, wenn die Lastspitze auftritt, auch die Sonne scheint.

Ein optimiertes Energiedesign hingegen sieht im Idealfall einen Betriebs-hof mit eigenen Elektrofahrzeugen vor, sowohl für Ärzte als auch für Wirtschaftsbetriebe. Diese werden an das

Abbildung 3: Energieflussschema des Passivhaus-Krankenhauses mit optimiertem Energiedesign



Netz angeschlossen und stehen somit als Stromspeicher in sonnenreichen Phasen und anschließend als Spitzenlastpuffer zur Verfügung. Die PV-Anlage sichert den Jahresstromverbrauch dieser Fahrzeuge und dient somit indirekt zur Reduzierung der Spitzenlast. So reduzieren diese Konzepte das bei den Versorgern immer stärker werdende Problem der Regenergie einerseits, unter gleichzeitiger Berücksichtigung des verkehrsbedingten Energieverbrauches. Auch wird die Außenluftqualität durch Elektrofahrzeuge verbessert bei gleichzeitig signifikant geringerem Geräuschpegel.

Es kann davon ausgegangen werden, dass im Vergleich zu konservativ geplanten Passivhaus-Krankenhäusern die Lastspitze um Faktor 10 geringer ist. Durch die Auswahl von effizienten medizinisch-technischen Geräten wird diese Spitze weiter reduziert.

Medizintechnik

Auf die traditionell geplante zentrale Dampferzeugung mittels Hochdruckdampfkesseln, von denen aufgrund der erforderlichen Redundanz ganzjährig immer zwei parallel betrieben werden müssen, sollte verzichtet werden (s.o.). Die zentrale Dampferzeugung bringt jedoch vergleichsweise wenig Nutzen mit sich, da die Sterilisation in einem Jahr

maximal 30 Prozent der Zeit genutzt wird, jedoch für alle 8 760 Stunden des Jahres mit hohem Energieverbrauch Dampf erzeugt werden muss.

Zur Sterilisation

Die drei alternativen Verfahren zur Dampfsterilisation sind VDV, Gas und Plasma. Sie haben alle ihre Berechtigung in ihren unterschiedlichen Einsatzgebieten. Zu empfehlen ist eine ABC-Analyse des Sterilisationsgutes, um eine Optimierung der Kosten und des Energieverbrauches der Zentralsterilisation zu gewährleisten. Hochleistungsspülmaschinen, die von sich aus bereits sterile Güter erzeugen, sollten vorgeschaltet werden. Sie ersetzen nicht die medizinische Sterilisation, reduzieren jedoch den Sterilisationsaufwand signifikant. Durch diese Methode kann der Energieverbrauch der Sterilisation um Faktor 10 gesenkt werden.

Batterietechnik

In einem Krankenhaus befinden sich wohl einige hundert Bleigel-Akkus, die sehr hohe Stillstandsverluste mit sich bringen. Bleigel-Akkus sind zudem von Ihrer Umweltverträglichkeit eher kritisch zu bewerten. Mehrere MWh jährlich lassen sich durch Hochleistungsak-

kus aus Zink- und Lithium-Ionen reduzieren. Zentrale Stromspeicher im Bereich von mehreren MWh lassen den Einkauf preiswerten Überschussstroms zu und können ebenfalls zur Lastspitzenenkung beitragen.

Med-Tech-Energielabelling

Zurzeit existiert leider noch kein System der Geräteenergieklassifizierung. Hierzu ist eine detaillierte Einkaufsanalyse notwendig.

Materialien

Im Sinne der Nachhaltigkeit sollten Linoleumböden als Material gewählt werden. Deckenplatten sowie besondere Oberflächen sollten zur signifikanten Schadstoffreduzierung fotokatalytisch mit modifizierten Titandioxidkristallen versehen werden. Durch die Sonneneinstrahlung werden hierbei negativ geladene Elektronen frei, die wiederum positiv geladene „Löcher“ im Material hinterlassen. Ein Zustand, der nach einem Ausgleich strebt. Den finden die Elektronen durch die Luftfeuchtigkeit. Die überschüssige Energie des aufgeladenen Titandioxids spaltet die Wassermoleküle zu aktivem Sauerstoff. Dieser zersetzt organische Moleküle, Schimmelpilzsporen, Bakterien, Russpartikel, Fette sowie eine Vielzahl anderer Schadstoffe. Die chemischen Verbindungen der einzelnen Stoffe werden getrennt, die Substanzen zersetzen sich und lösen sich schließlich in Wasser und CO₂ auf.

Fazit

Das Prinzip des Passivhauses trägt auch Konzepte für den Krankenhausbau. Da die thermischen Verluste auf ein wirtschaftliches Minimum gesenkt werden, kann durch die geschickte Verlagerung interner Wärmequellen zu internem Wärmesenken der innerhäusige Bedarf gedeckt werden.

Anschrift des Verfassers

Dipl.-Ing. Andreas Nordhoff, Institut für Bau- und Nachhaltigkeit, Schmalter Wall 39, 50769 Köln