

# Raumluftqualität in Passivhäusern

Uwe Münzenberg und Jörg Thumulla  
anbus analytik GmbH  
Gesellschaft für Umweltanalytik,  
Gebäuediagnostik und Umweltkommunikation  
Mathildenstraße 48  
90762 Fürth  
Tel.: 0911-7437170 Fax: 0911-7437176  
eMail: [info@anbus-analytik.de](mailto:info@anbus-analytik.de), [www.anbus-analytik.de](http://www.anbus-analytik.de)

Forschungsprojekt: „Messtechnische Evaluierung und Verifizierung der energetischen Einsparpotentiale und Raumluftqualität an Passivhäusern in Nürnberg.“<sup>1</sup> Der Bericht gibt eine kurze Zusammenfassung der Ergebnisse hinsichtlich der Belastungen mit Schadstoffen und Mikroorganismen in vier Passivhäusern wieder.

## Zum Projekt

Vier zeit- und baugleich in massiver Bauweise errichtete Passivhäuser wurden wissenschaftlich über einen Zeitraum von zwei Jahren begleitet. Untersucht wurde dabei das energetische Einsparpotential und die Qualität des Raumklimas. Die vier Häuser wurden in Kalksandstein mit Polystyrolämmung im Massivwandbereich und Zellulosedämmung bei den Holbauwänden und im Dachbereich erstellt. Die nähere



Baustoffauswahl erfolgte nach ökologischen Gesichtspunkten und zum Teil nach vorherigen Labortests.

*Abbildung: Ansicht von Süden, Architekt B. Schulze Darup*

<sup>1</sup> Das Projekt wurde gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt und fand in Zusammenarbeit mit n-ergie, LGA Bayern, und der EnergieAgentur Mittelfranken statt.

## VOC – Leichtflüchtige Schadstoffe in der Raumluf

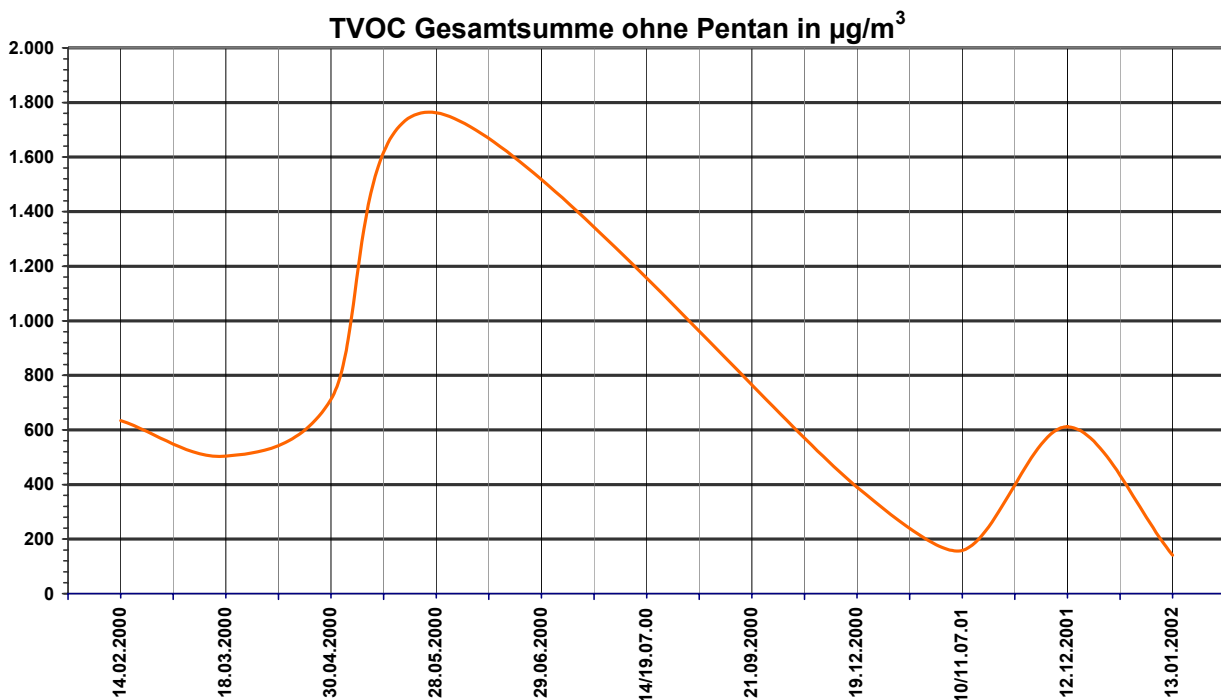
Flüchtige Organische Verbindungen (VOC) werden in Form von Lösemitteln, Lösevermittlern oder Monomeren besonders aus Klebstoffen, Beschichtungen und Dichtungsmitteln in die Gebäude eingebracht. Während der Nutzungsphase tragen vor allem die flüchtigen Schadstoffe der Einrichtung zur Raumlufbelastung bei.

Bewertungen von Raumlufbelastungen durch VOC in Wohnräumen während der Bauphase oder kurz nach Fertigstellung sind in der Literatur kaum vorhanden. Die einzelnen Messergebnisse des Projektes geben somit auch einen Eindruck über Schadstoffbelastungen während der Erstellung und kurz nach dem Einzug und deren Abklingkurven.

### Vorgehensweise bei den VOC-Untersuchungen

Die Untersuchungen wurden mit Tenax als Probenahmeträger und Thermodesorption (GC-MS) durchgeführt. Gemessen wurde während der Bauphase ohne Lüftungsanlage und mit Lüftungsanlage bei der Nutzung durch die Bewohner. Die Luftproben wurden im EG, OG und Dachstudio genommen. Zum Vergleich der zeitlichen Verläufe der Konzentrationen wurden zur besseren Übersicht und Vergleichbarkeit lediglich die Ergebnisse aus dem Flur des 1. OG gegenübergestellt, da hier auf Grund der durch die Lüftungsanlage gerichteten Luftströmung ein Durchschnitt aus der Luft der Räume im 1. OG und DG erfasst wird und damit der Bereich aus Massiv- und Leichtbau berücksichtigt wird. Außerdem sind hier eher etwas höhere Werte zu erwarten als in den Aufenthaltsräumen wo Frischluft zugeführt wird.

### Auswertung der Gesamtsumme VOC ohne Pentan am Beispiele eines Hauses



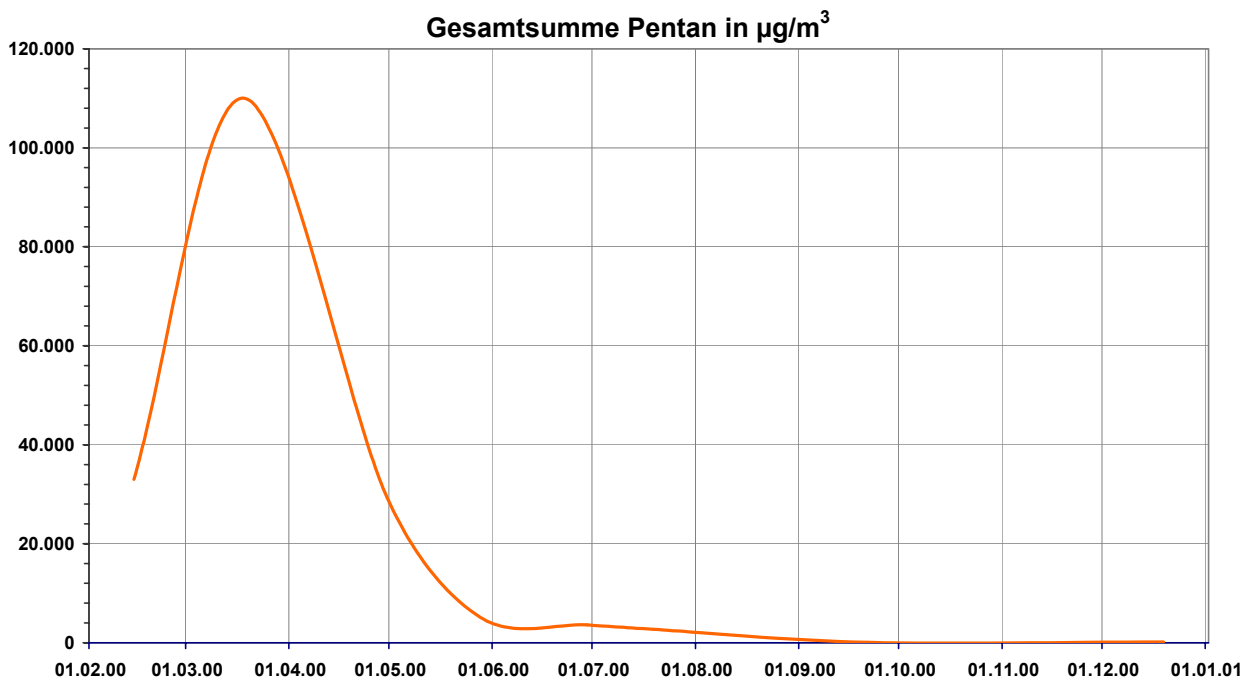
Bei der Bewertung des TVOC (Summe-VOC) sollte unterschieden werden zwischen unterschiedlichen VOC-Definitionen. Die in der VDI-Richtlinie 4300 Blatt 6 gegebene Definition des TVOC bezieht sich auf die chromatographische Analytik. Gemäß dieser Definition werden alle Substanzen unter die VOC gezählt, die in einem analytischen Fenster zwischen Hexan und Hexadekan liegen. Von den in der Analytik erfassten Substanzen liegt lediglich Aceton und Pentan nicht in diesem Definitionsbereich. Im Bundesgesundheitsblatt (B. Seifert, Richtwerte für die Innenraumluf, 3/99) wird ein Zielwert für die Raumluf definiert. Dieser beschreibt die Größenordnung, die im langzeitigen Mittel nach Möglichkeit unterschritten werden sollten und wird mit einer Spanne von 200-300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  festgelegt.

Die Summe der VOC, wie sie üblicherweise betrachtet wird, liegt bei den durchgeführten Untersuchungen auch während der Neubauphase in einem akzeptablen Bereiche, sodass sich die Auswahl der Baustoffe bezüglich einer Minimierung des Ausgasungspotentiales messtechnisch bemerkbar macht.

Das Erreichen der Zielwerte ein halbes Jahr nach Einzug im Juni/Juli 2001 lässt nach Erfahrung aus konventionellen Gebäuden, bei denen zum Teil noch nach einem Jahr nach dem Einzug wesentlich höhere VOC Werte gefunden werden, auf einen positiven Einfluss der Lüftungsanlage schließen.

Interessant wird es jedoch bei der Auswertung der Messwerte jenseits der VOC-Norm. Betrachtet man die Gesamtheit der flüchtigen Kohlenwasserstoffe, muss man das Pentan mitberücksichtigen. Pentan ist ein leichtflüchtiger Kohlenwasserstoff mit einem Siedepunkt von 36°C, der als Treibgas für Polystyrol-Dämmschaum eingesetzt wird.

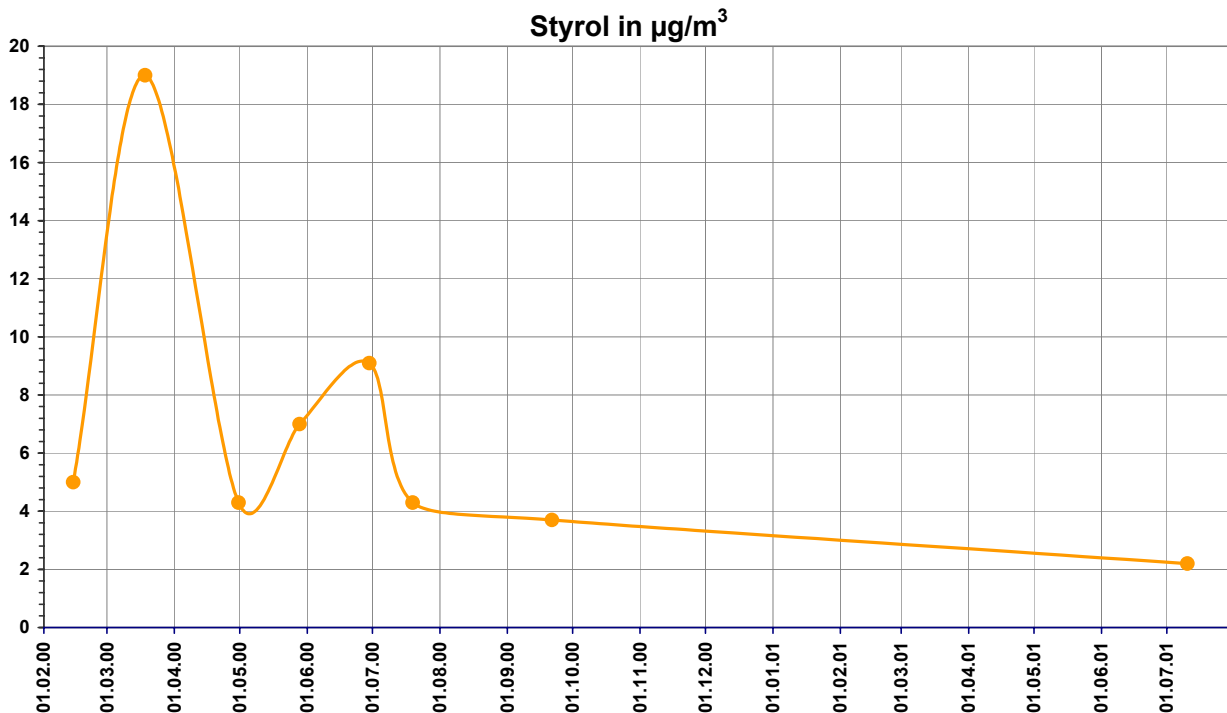
### Pentan in der Raumluf, am Beispiele eines Hauses



Während der Bauzeit werden z.T. extreme Raumlufkonzentrationen bis  $100.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (!) gemessen. Diese sind auf die Emissionen aus der Polystyrol-Wärmedämmung zurückzuführen. Zu Beginn der Nutzungsphase zeigte sich Pentan jedoch als unproblematischer, weil im Durchschnitt Werte von unter  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  erreicht werden. Dennoch leistet Pentan einen deutlichen Beitrag zur Gesamtbelastung der Raumluf mit flüchtigen organischen Verbindungen, so dass von Seiten der Hersteller versucht werden sollte, das Ausgasungspotential zu vermindern, zumal es keine toxikologische Daten über die Wirkungen von Pentan im Niedrigdosisbereich gibt.

Für Passivhäuser werden erhebliche Dämmstärken benötigt. Bei massiver Bauweise hat dies daher häufig Dämmung mit Polystyrol zur Folge. Im vorgestellten Fall wurde die Bodenplatte im EG und die Außenwände mit Polystyrol-Dämmschaum gedämmt. Daher sind Styrolwerte als Restmonomere aus den Schäumen in der Raumluf sicherlich von besonderer Bedeutung.

## Ergebnisse von Styrol in der Raumluft, am Beispiele eines Hauses



Die gemessene Styrolkonzentrationen können in der Anfangsphase nicht als optimal bewertet werden. Diese sind in der Masse sicherlich auf den Einsatz von Polystyrol als Dämmstoff zurückzuführen, wenn auch ein nicht unbedeutender Styrol Eintrag durch Oberflächenbeschichtung zum Einzug der Bewohner verursacht wurde.

Nach dem Einzug sinkt die Belastung durch die Lüftungsanlage erwartungsgemäß, liegt jedoch rund ein Jahr nach Einzug der Bewohner mit Werten zwischen 3 und 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  leicht über dem Mittelwert in bundesdeutschen Wohnungen. Nach Untersuchungen des BGA/WaBoLu, leider aus den Jahren 1985 und 1986, sind in bundesdeutschen Wohnungen Styrol Mittelwerte um ca. 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Raumluft vorzufinden. Interessant wären daher Vergleichsmessungen in Bauten nach konventionellem Niedrigenergiehaus-Standard mit vergleichbarer Bauweise jedoch ohne Lüftungsanlage.

### Zusammenfassung der VOC Ergebnisse

Durch den Einsatz der Lüftungsanlage konnten die Schadstoff-Konzentrationen innerhalb weniger Monate (abhängig vom Einzug der Bewohner) auf ein raumlufthygienisch sinnvolles Maß reduziert werden. Ohne Lüftungsanlage wäre die Abklingkurve nicht so günstig ausgefallen. Bei Vergleichsobjekten mit Fensterlüftung steigt der Schadstoffgehalt, auch wenn ein kompletter Luftaustausch erfolgte, bereits nach Minuten wieder auf seine vorherige Ausgleichskonzentration wieder an. Ursächlich hierfür ist die Anreicherung der Oberflächen (Oberflächenbeladungen), welche nach der Lüftung die Konzentration abpuffern. Nur ein permanenter Luftaustausch ist in der Lage, die Konzentrationen dauerhaft zu senken. Mögliche Fehler bei der Baustoffauswahl gehen so nicht zwangsläufig zu Lasten der gesundheitlichen Vorsorge der Bewohner.

Wir möchten darauf hinweisen, dass trotz des Aufwands, der bei diesem Bauvorhaben zur Schadstoffminimierung betrieben wurde, noch relevante Mengen an Schadstoffen auftreten. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass bei Standardgebäuden ohne Lüftungsanlage in vielen Fällen mit höheren Schadstoffgehalten gerechnet werden muss, als allgemein angenommen wird.

## Raumluftuntersuchungen auf Schimmelpilze

Die gestellte Fragestellung lautete: „Unterscheidet sich die Raumluftkonzentration von luftgetragenen Keimen in den Passivhäusern mit zentraler Lüftungsanlage und Erdwärmetauscher von den Konzentrationen in konventioneller Häuser, welche über Fenster gelüftet werden?“ Daher wurden zusätzlich Proben in einem Haus (bezeichnet mit Haus 5; Holzhaus, errichtet nach AKÖH-Kriterien) mit kontrollierter Lüftung (also Abluftanlage ohne Lüftungskanäle, Filter und Erdwärmetauscher) durchgeführt.

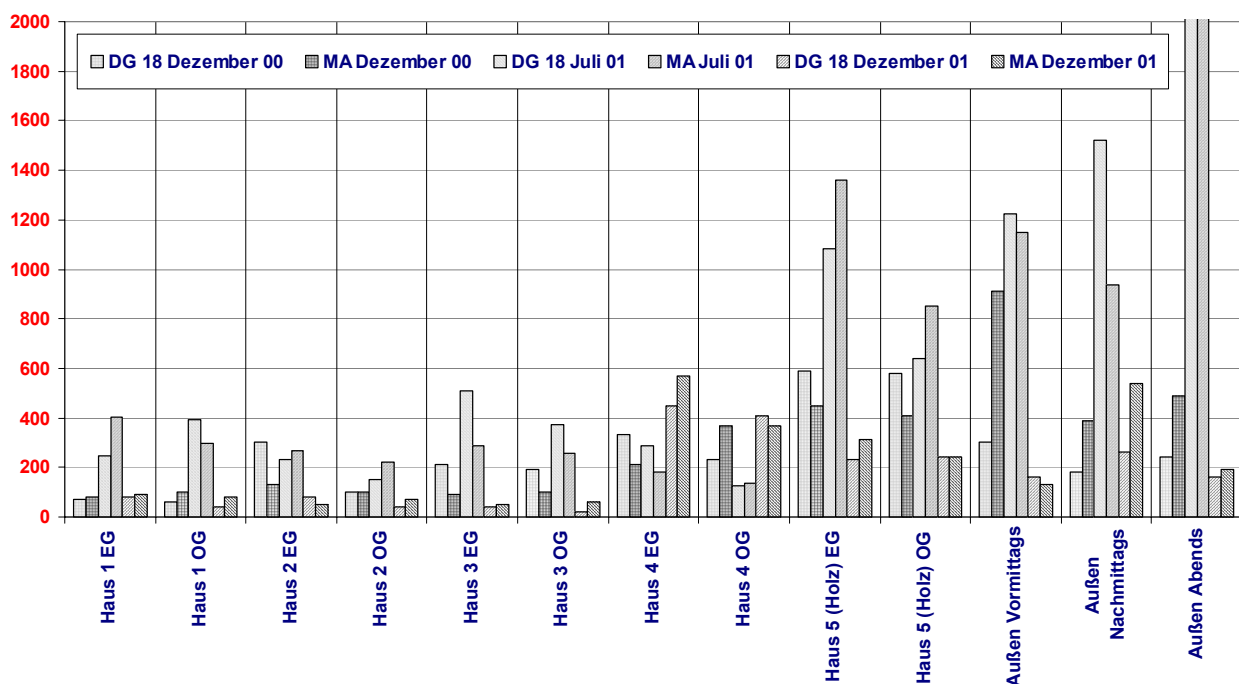
### Vorgehensweise der Raumluftuntersuchungen auf Schimmelpilze

Da das Ziel war, eventuelle Besonderheiten der Lüftungsanlage zu prüfen, wurde erst nach Einzug der Bewohner mit den Probenahmen begonnen. Vor dem Einzug wären, bedingt durch den Baustellenstaub, keine repräsentativen Werte zu erwarten gewesen. Die Probenahmen erfolgten im Innenraum bei laufender Lüftung, da dies ja der Normalzustand für die untersuchten Passivhäuser ist.

Schimmelpilzsporen sind ubiquitär in der Außenluft verbreitet und ihre Anzahl unterliegt starken jahreszeitlichen Schwankungen. Es ist daher notwendig, um die Ergebnisse im Innenraum sinnvoll vergleichen zu können, parallel und möglichst zeitgleich die Innen- und die Außenluft zu beproben. Maßstab der Beurteilung ist demzufolge das jeweilige Verhältnis der Sporenbelastung von Außen- und Innenluft, da die in der Außenluft vorkommenden Sporen über die normalen Lüftungsvorgänge in den Innenraum gelangen und dort ebenfalls in deutlichen Mengen nachweisbar sind.

Erfüllt der Wohnraum hygienische Grundbedingen – kein Pilzwachstum im Innenraum und somit keine zusätzliche Quelle für eine Sporenbelastung - dann entspricht die Innenraumluft im wesentlichen der Außenluft. Da dieser Parameter im Mittelpunkt stand, wurde bei der Zählung der „Schimmelpilze“ nur zwischen sogenannten Schwärze-Pilzen (auf der Unterseite dunkel) und nicht Schwärze-Pilzen sowie Bakterien und Hefen unterschieden. Die Artenflora der einzelnen Arten schwankt im Laufe des Jahres stark und ein Gesamtüberblick wäre dementsprechend sehr umfangreich und hätte aufgrund des Aufwandes zu einer deutlichen Einschränkung der Probenzahl geführt. Würde man die im Innenraum vorhandenen Schimmelschäden jedoch präzise umweltmedizinisch bewerten wollen, wäre die hier gewählte Methode unzureichend.

### Graphische Auswertung Sommer / Winter



## Zusammenfassung

Bei der vergleichenden Untersuchung auf koloniebildende Schimmelsporen zwischen der Raumluft und der Außenluft konnte bei einer rein quantitativen Auswertung in den Räumen gegenüber der Außenluft kein signifikant erhöhtes Vorkommen von Schimmelsporen festgestellt werden. In den meisten Fällen liegen die Anzahl der Sporen deutlich unter der jahreszeitlich bedingten Außenkonzentration. Die ermittelten Keimzahlen in der Raumluft entsprechen nach unseren langjährigen Erfahrungen auch denen von konventionell belüfteten Innenräumen ohne Schimmelbefall. Der Erdreichwärmetauscher der untersuchten Lüftungsanlage, besonders im Sommer durch Kondensation warmer Luft in den Erdleitungen ein möglicher Schwachpunkt in Bezug auf mikrobiologische Kontamination, zeigte im Untersuchungszeitraum (welcher für Schimmelpilz sehr knapp bemessen ist) keine Auffälligkeiten.

Das verbreitete Vorurteil, Lüftungsanlagen würden mikrobielle Belastungen der Raumluft verstärken oder gar hervorrufen, konnte in den untersuchten Häusern nicht bestätigt werden. Die gemessenen Keimzahlen von Schimmelpilzen im untersuchten Vergleichshaus ohne zentrale Lüftungsanlage lagen tendenziell über denen der Passivhäuser. Dies ist mit dem bei der zentralen Lüftungsanlage eingesetzten Partikelfilter, welcher einen Teil der Pilzsporen aus der Außenluft zurückhält, erklärbar. Allerdings kann gerade dieser Filter auch zum Nachteil werden, falls dieser selbst zur Schimmelpilz Quelle wird. Möglich wäre dies z.B. bei Betriebszuständen wie einem Wetterumschwung von kalt auf warm im Winterhalbjahr oder bei ungünstig positionierten Filtern im Sommerbetrieb, wenn der Filter längere Zeit durchfeuchtet und die Lüftungsanlage anschließend nicht in Betrieb ist. Daher sollte eine repräsentative Auswahl solcher Filter nach einem Einsatz mikrobiologisch untersucht werden.

Insgesamt zeigt sich ein erstes gutes Ergebnis, auch wenn die Untersuchungsspanne von rund zwei Jahren für Schimmelpilzuntersuchungen sicherlich kurz bemessen ist. Positiv kommt hinzu, dass in der untersuchten Anlage die Filter zweimal jährlich gewechselt werden. Zu diesem Zeitpunkt wird auch die Leitungsführung des Erdwärmespeichers gereinigt. Ein wesentlicher Faktor ist sicher auch, dass die Lüftungsanlagen praktisch nicht abgestellt und die Bauleitung ein strenges Auge auf die Bauausführung warf. Ob bei Lüftungsanlagen welche weniger sorgfältig überwacht werden und welche nur zeitweise betrieben werden, ähnlich gute Werte erzielt werden, ist noch zu prüfen.

## Radon

Radongas (Radon-222) ist ein Zerfallsprodukt des Radium-226 und gelangt in erster Linie durch Diffusion aus dem Erdboden in die Luft. Das Edelgas sammelt sich unter dem Haus und kann durch verschiedene Schwachstellen eindringen: Risse in Mauerwerk und Bodenplatte, Kabelkanäle und Rohrführungen, Lüftungs- und Lichtschächte. Je nach Luftwechsel oder Lüftungsgewohnheiten reichert sich das Gas in Innenräumen an.

Ausgehend von einem in deutschen Wohnräumen vorzufindenden Mittelwert von ca. 50 Bq/m<sup>3</sup> Radon in der Raumluft berechnet sich, dass der Körper mit einer effektiven Äquivalentdosisleistung von ca. 1,4 mSv/a belastet wird. In etwa 1-2% der deutschen Wohnungen können nach bisherigen Messungen jedoch Radonkonzentrationen von über 250 Bq/m<sup>3</sup> gemessen werden. Das radioaktive Radon ist also als gesundheitlich besonders bedenklich einzustufen, weil es als unsichtbares, geruch- und geschmackloses Gas direkt in die Lunge gelangt und von dort die Lunge bestrahlt, sich in den Körperflüssigkeiten löst und sich so im ganzen Organismus verteilt. Die anfallenden radioaktiven Folgeprodukte können so unmittelbar im Körper entstehen. Nach statistischen Schätzungen kommt es allein in den alten Bundesländern jährlich zu 2000 - 6000 zusätzlichen Lungenkrebstoten durch Radon. Damit ist das Radon nach dem Rauchen die zweithäufigste Ursache von Lungenkrebs.

Die Frischluftzuführung der Lüftungsanlage der untersuchten Passivhäuser wird über einen Erdwärmetauscher geführt. Die Lüftungsanlage ist in diesem Fall die „einzige“ Frischluftversorgung. Auch wenn der Nürnberger Standort der Häuser kein ausgesprochenes Radongebiet darstellt, ist es wichtig zu überprüfen, ob Radongas aus dem Erdreich z. B. in die Kanäle, welche ja aus Kunststoffen bestehen, eindringen kann und somit möglicherweise die Innenraumluft mit einem „krebsauslösenden“ Schadstoff belastet.

### Vorgehensweise der Radonmessungen:

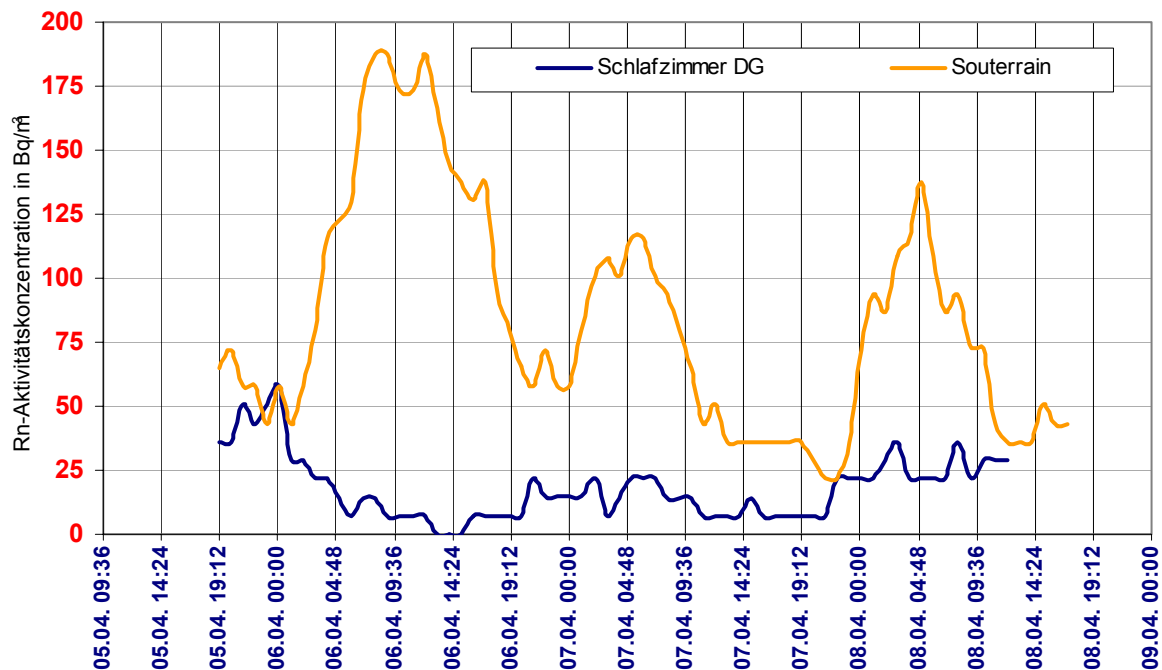
Mit zwei Langzeitaufzeichnungsgeräten für Radon (DOSEman Fa. Sarad, Dresden, Alphaspektroskopie: Messkammer mit HL-Detektor, quantitativ, elektronisches Radon-Dosimeter, Messbereich: 3500 bis 8500 keV Alpha-Energie) wurde die Radon-Aktivitätskonzentration (Raumluft) in  $\text{Bq/m}^3$  simultan im Bereich der Frischluftzuführung und im Lagerraum gemessen. Der Lagerraum befindet sich im Souterrain, wird normal über Fenster gelüftet und verfügt über keine Verbindung zur Lüftungsanlage.

Zum Vergleich wurden, zwar nicht simultan, aber doch zeitnah, in einem konventionellen Einfamilienhaus mit Fensterlüftung und in einem denkmalgeschütztem Sandsteingebäude jeweils auf unterschiedlichen Etagen Messungen der Radonkonzentration durchgeführt.

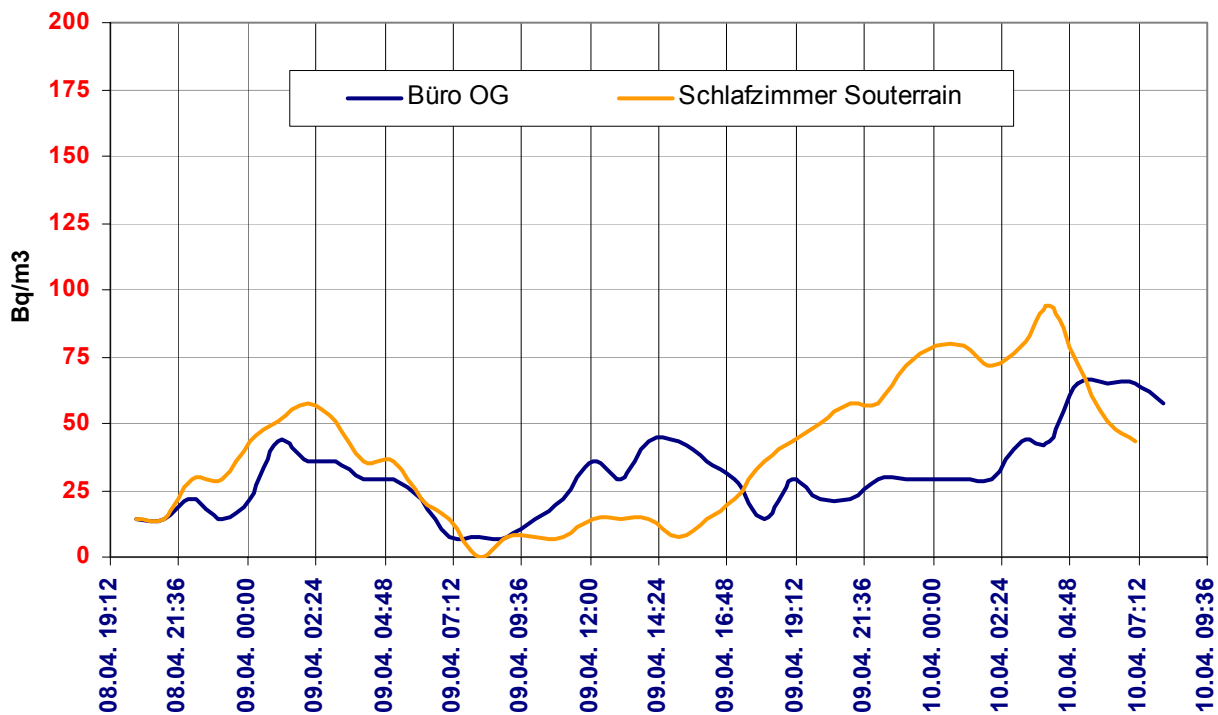


Abbildung: verwendetes Aufzeichnungsgerät „DOSEman“ der Fa. Sarad, Dresden

### Auswertungen der Radonkonzentration im Passivhaus



## Vergleichende Radonkonzentration in einem Einfamilienhaus mit Fensterlüftung



### Zusammenfassung der Radonergebnisse

Auffallend bei den Aufzeichnungen im Passivhaus ist ein Ansteigen der Radonkonzentration im Vorratsraum auf eine beachtliche Größenordnung. Dies dürfte dadurch zu erklären sein, dass sich die „Kellerfenster“ direkt über dem Erdboden befinden und so bodennahe mit Radon angereicherte Luft beim Lüften wie Wasser in den tiefer liegenden Vorratsraum fließt und dort lange Zeit verbleibt, da der Souterrainraum nicht an die Lüftungsanlage angeschlossen ist.

Der Verdacht, dass Radon durch die im Erdreich verlegte Luftzuführung (Erdwärmetauscher) der Lüftungsanlage vermehrt in den Innenraum gelangen könnte, hat sich bei den untersuchten Häusern nicht bestätigt. Jedoch sollte auch bedacht werden, dass es sich hierbei um punktuelle Untersuchungen handelt, welche nicht pauschal auf alle Lüftungsanlagen übertragen werden kann. Fehler bei der Bauausführung können hier besonders schnell zu gegenteiligen Effekten mit ernststen Folgen führen. Ob sich Erdwärmetauscher auch in Gebieten mit Radonauffälligkeiten als unproblematisch erweisen, sollte mittels weiterer Untersuchungen überprüft werden.

Die Radonkonzentrationen in Passivhäusern sind durch den effektiveren Luftaustausch sogar eher niedriger als in konventionellen Wohnräumen. Allerdings sollte dieser Faktor bei Lüftungsanlagen mit Erdwärmetauscher oder bodennahe Ansaugung der Frischluft regelmäßig überprüft werden, da direkt über dem Erdboden die Radonkonzentrationen besonders hoch sind und regelrecht in die Häuser gepumpt werden können.



## Luftionenkonzentration der Raumluff

Als Ionen werden elektrisch geladene Atome oder Moleküle bezeichnet. Sie entstehen aus ursprünglich elektrisch neutralen Teilchen durch Ionisation.

Je nach der überwiegenden Polarität von Elementarladungen lassen sich negative Ionen, die einen Überschuss an Elektronen aufweisen, und positive Ionen, bei denen weniger Elektronen als Protonen vorhanden sind, unterscheiden.

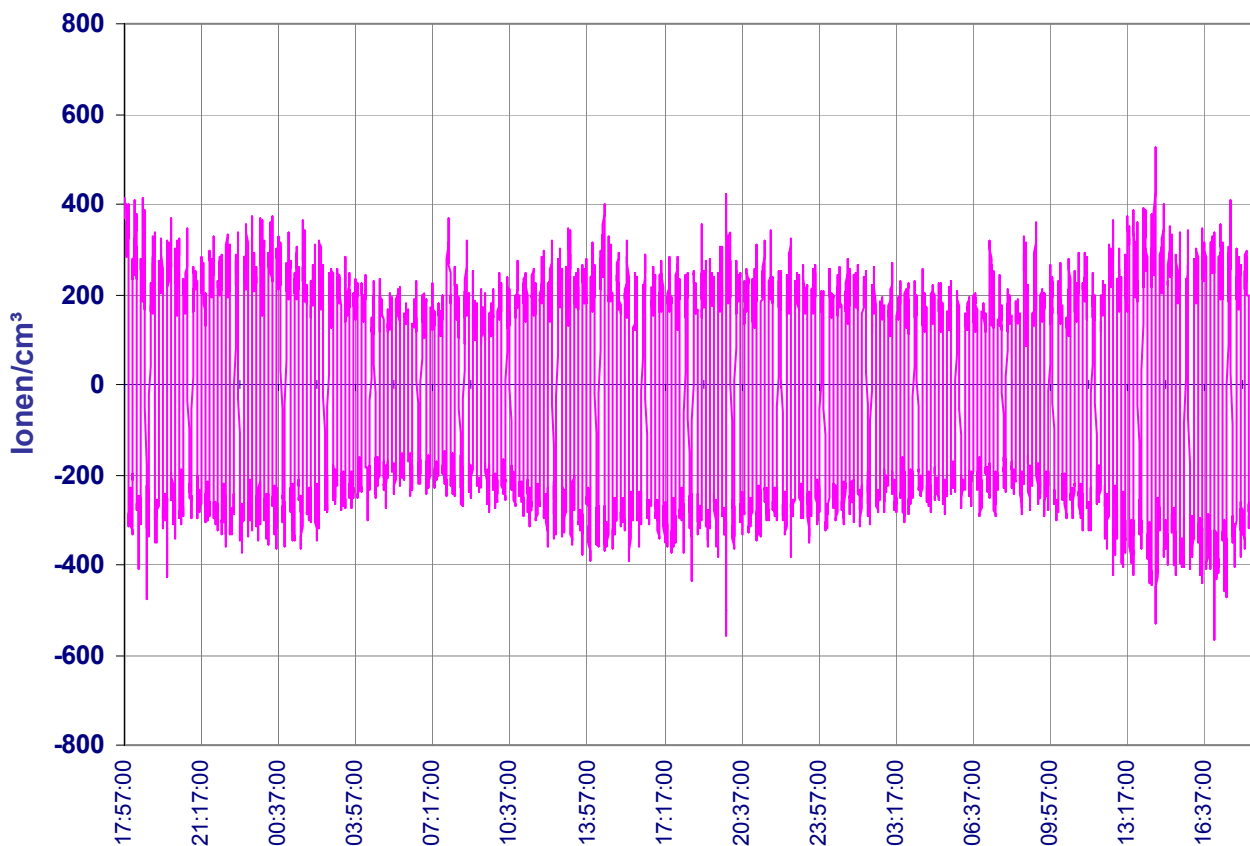
Ionen entstehen dadurch, dass energiereiche Teilchen oder eine ionisierende Wellenstrahlung von einem ursprünglich neutralen Molekül oder Atom ein oder mehrere Elektronen abtrennt. Diese können sich dann wiederum an anderen Teilchen anlagern und somit neue Ionen bilden. Ursachen für natürliche Luftionen in der freien Natur sind die natürliche Radioaktivität, UV-Strahlung, Blitzschläge in der Atmosphäre, aber auch die Zerstäubung von Wasser usw. Künstlich können Luftionen mit 'offenen Flammen', Wasserzerstäubung, Hochspannung bzw. Ionisatoren und radioaktiven Präparaten erzeugt werden.

Für gesundheitlich zuträglich gelten negative und positive Kleinionen im Bereich der natürlichen Außenluftkonzentration. Eine Abweichung davon in Innenräumen gilt in der Baubiologie als Merkmal eines gestörten Raumklimas. Ziel war es daher zu prüfen, ob es Hinweise gibt, die diese Bedenken stützen könnten.

### Vorgehensweise der Ionenmessungen

Mit Langzeitaufzeichnungsgeräten für Luftionen (IM 5005, Fa. Holbach Umweltanalytik) wurde die Luftionenkonzentration als negative / positive Ionenladung pro  $\text{cm}^3$  im Bereich der Frischluftzuführung erfasst. Die eingesetzte Messtechnik erlaubte es, mit einem Gerät abwechselnd, von der Software gesteuert, die positive und negative Ionenladung des jeweils beprobten Luftstromes zu messen

### Luftionenkonzentration (+/-) im Passivhaus



## Zusammenfassung

Die Luftionen, positive wie negative, bewegen sich im Raum zwischen 200 und 300 Ionenladungsäquivalente/cm<sup>3</sup>. Die Ladungsmenge ist zwischen den positiven und negativen Ionen ausgewogen, es gibt also keine Verzerrungen.

Für Ionen in der Außenluft in einer Höhe von mehr als 300 m über Meeresspiegel, wie im aufgeführten Beispiel, sind bei normaler Witterung und ohne erhöhte Luftverschmutzung zwischen 200 und 300 Ionen/cm<sup>3</sup> zu erwarten. Die Vergleichsmessung der Außenluft zur selben Zeit ergibt Werte von im Schnitt 200 Ladungsäquivalente /cm<sup>3</sup>.

Die exemplarischen Messungen der Luftionisation in zwei Passivhäusern ergaben, dass sowohl die quantitative als auch die qualitative Ionen-Zusammensetzung der Raumluft dort den Werten für konventionelle Häuser entspricht. Die untersuchten Lüftungsanlagen beeinträchtigen die Qualität der angesaugten Luft nicht. Auch nach baubiologischen Kriterien unterscheidet sich hier die technisch aufbereitete Frischluft nicht von der unveränderten natürlichen Außenluft.

Der vollständige Forschungsbericht ist als CD (Schulze Darup, B. (Hrsg.): Passivhaus-Projektbericht, Energie und Raumluftqualität, Messtechnische Evaluierung und Verifizierung der energetischen Einsparpotentiale und Raumluftqualität an Passivhäusern in Nürnberg; Fürth 2002) veröffentlicht und kann im Verlag des AnBUS e.V. für 39,90 Euro bestellt werden.