

Konzept für eine Reduktion der Radon-Belastung in Wohnräumen durch Kontrolle des Lüftungsverhaltens mit Hilfe von VOC-Sensoren und biologisch verträglichen Tracergasen

Bernd Laquai, 18.01.14

Die Problemstellung

Radioaktivität, selbst wenn sie ganz natürlich auftritt, kann die Menschen erheblich verunsichern. Das hängt damit zusammen, dass die Gefahren, insbesondere mögliche stochastischen Spätschäden bei Niedrigdosis-Expositionen, selbst von Fachleuten auch heute noch sehr schwer einschätzbar sind. Das gilt ganz besonders auch für die Exposition infolge einer erhöhten Radon-Exhalation aus natürlichen Böden und Baumaterialien. Radon ist geruchlos, unsichtbar und hat in den Anfängen des Uranbergbaus für unzählige tödliche Lungenkrebserkrankungen gesorgt. Damit wird mit diesem radioaktiven Gas gewöhnlich eine sehr hohe Bedrohung assoziiert, egal in welchen Aktivitätskonzentrationen es tatsächlich auftritt. Zu der eigentlichen zell-biologischen Wirksamkeit des Radons kommt also noch eine psychische Wirksamkeit, die zunehmend als krankheitsbildender Stressfaktor mitberücksichtigt werden muss. Zu dem gesundheitsbezogenen Unwohlsein kommen bei Haus und Wohnungseigentümern meist zusätzlich noch Ängste was den Wertverlust des Immobilieneigentums anbelangt.

Die WHO hat mit einer Empfehlung von 100Bq/m^3 in der Raumluft einen messtechnisch gesehen anspruchsvollen Wert vorgegeben, ab dem man mit einem erhöhten radon-bedingten Risiko für Lungenkrebserkrankungen rechnen muss /1/. Etliche Länder, vor allem solche mit hohem geogenem Radonpotential, haben bereits frühzeitig mit Richtwerten bzw. Grenzwerten reagiert, die zwischen 200 und 1000Bq/m^3 liegen und haben diese in nationalen Gesetzen festgeschrieben /2/. Vor kurzem folgte auch die internationale Strahlenschutz Vereinigung ICRP /3/ und senkte die Bedenklichkeitsgrenze von 600 auf 300Bq/m^3 . Mittlerweile folgt nun auch die EU in ihren neuen Basic-Safety Standards und empfiehlt einen Richtwert für Wohnräume von 300Bq/m^3 . Dies könnte im Immobilienbereich durchaus noch erhebliche Konsequenzen haben.

In vielen Gegenden mit hohem geogenem Radonpotential sowie bei Radon-exhalierendem Baumaterial lassen sich die durch das Radon entstehenden Probleme in Wohnräumen allerdings meist mit geringem Aufwand durch eine geeignete Belüftung bzw. durch das Ändern des Lüftungsverhaltens lösen. Allerdings muss bei der entsprechenden Lüftungsmaßnahme die Energiesituation und andere spezifische Bedürfnisse der Bewohner zusätzlich betrachtet werden.

Es ist hinreichend bekannt, dass Radon ein äußerst mobiles Gas mit einer hohen Diffusionsrate ist. Damit hängt die Radon-Aktivitätskonzentration ganz fundamental an der Luftwechselrate. Umgekehrt herrscht bei vielen Menschen, wenn überhaupt, eine völlig falsche Vorstellung über die Eigenschaften dieses Gases vor. Oft vermuten die Bewohner, dass Radon wie ein Nebel den Boden entlang kriecht und

nur durch geöffnete Türen und Spalte am Boden wabern kann und dass deswegen ein Lüften über Fenster ineffizient wäre.

Außerdem ist bei vielen Bewohnern nach den vielfältigen Diskussionen zum Klimaschutz und zur Energieversorgungsproblematik die Auffassung angekommen, dass eine Energiesanierung eines Gebäudes und ein energiebewusstes Verhalten in Bezug auf das Raumklima sehr wichtig sind. Die Folge davon sind deswegen inzwischen schon oft relativ dichte Gebäudehüllen, sowie dichte Fenster und Türen, sowie eine Hemmung vor allem auch im Winter zu Lüften. Dies kann aber die Radonproblematik in bestimmten Gebieten oder bei Verwendung von entsprechenden Baustoffen erheblich verstärken.

Erfährt nun ein Bewohner von einer Radon-Belastung in seinem Wohnraum oder vom Radon-Potential der Gegend in der sein Haus steht, tritt schnell eine starke Verunsicherung ein. Selbst wenn in vielen solchen Fällen die Radon-Aktivitätskonzentrationen, die beispielsweise über Kernspurdosimeter bzw. Aktivkohlesammler im Wohnraum bestimmt wurden, unter 1000Bq/m^3 liegen und keine sofortige und umfassende bauliche Sanierungsmaßnahme erfordern, kann allein durch die Kenntnis des Sachverhalts das Wohlfühl bzw. der ruhige Schlaf erheblich beeinträchtigt sein. Der Hinweis allein, dass man eine deutliche Verbesserung der Radon-Situation durch häufigeres Stoßlüften erreichen kann, ist dann oft nicht ausreichend um die Menschen zu beruhigen. Es ist dabei für viele Menschen oft unklar, was mit einem, dem spezifischen Radonproblem angemessenen Lüftungsverhalten tatsächlich gemeint ist. Auch eine überzogene Gegenreaktion mit viel zu häufigem und intensivem Lüften bzw. eine Installation unangemessener Lüftungsanlagen ist eine nicht gerade seltene Folge, der ersten Erkenntnis, die allen bisherigen Anstrengungen Energie zu sparen nun wieder völlig entgegenwirkt.

Angesichts dieser Radon-Problematik liegt eine genaue messtechnische Erfassung der Situation nahe. Dabei muss aber bedacht werden, dass eine Änderung des Lüftungsverhaltens mit dem Ziel die Luftwechselrate zu erhöhen einer individuell sehr verschiedenen Gewöhnung bedarf, die von ständiger Unsicherheit begleitet ist. Da die Radon-Konzentration auch einer jahreszeitlichen Schwankung unterliegt (beispielsweise tritt u.U. durch den Temperaturgradient im Winter ein Kamineffekt ein der Radon förmlich aus dem saugt) kann die Erfolgskontrolle nur durch Langzeit-Messungen erreicht werden, was den Gewöhnungsprozess erheblich erschweren und verlängern kann. Für Langzeit-Messungen stehen vor allem aktive Radon-Messgeräte zur Verfügung, deren Anschaffung allerdings für etliche Bewohner ein Kostenproblem darstellen kann. Genauso stellt die fachgerechte Bedienung des Geräts sowie das Auslesen und Bewerten der Daten ein enormes Problem dar, das fachliche Beratung erfordert und ist damit auch eine enorme Barriere die Maßnahmen überhaupt messtechnisch zu überwachen. Wünschenswert wäre daher eher ein kostengünstiges Messgerät, ähnlich der in der Zwischenzeit bekannten Miefampeln, die in Klassenzimmern bzw. Konferenzräumen die Luftgüte signalisieren. Dabei bedeutet grün gut (keine Aktion nötig) und rot legt eine Stoßlüftung nahe. Ein derartiges Gerät ist deswegen auch energieeffizient, da es ein bedarfsorientiertes Lüften bewirkt, obwohl man selbst die Luftgüte bei Aufenthalt in den betroffenen Räumen objektiv nur schwer bewerten kann.

Das Lösungskonzept

Die Tatsache, dass die Radon-Aktivitätskonzentration in Wohnräumen sehr direkt mit der Luftwechselrate zusammenhängt, hat schon früh zu der Idee geführt auch umgekehrt die Luftwechselrate anhand einer gemessenen Radon-Aktivitätskonzentration zu bestimmen /4/. In jüngerer Zeit tauchen nun sogar Vorschläge auf, auch den Gehalt an flüchtigen organischen Verbindungen (volatile organic compounds, VOCs) in der Raumluft indirekt über das Radon zu messen, da deren Konzentration ebenso von der Luftwechselrate abhängt. In entsprechenden Arbeiten z.B. /5/ wird die eindeutige Korrelation zwischen der Radon- und der VOC-Konzentration beschrieben.

Das legt ebenfalls nahe, auch über die Umkehrung nachzudenken, nämlich die Radon-Aktivitätskonzentration über die VOC-Konzentration zu bestimmen. Was die Kostensituation und Komplexität der Messtechnik anbelangt, sind in der Vergangenheit die VOC-Messgeräte als ähnlich kostspielig zu bewerten gewesen wie Radon-Messgeräte. Man kann allerdings erkennen, dass in der jüngeren Zeit eine neue Klasse an VOC-Sensoren den Markt erobert, die äußerst kostengünstig in großen Mengen herstellbar sind und die eine einfache Auswertung erlauben. So findet man heute sogenannte Metalloxid-Halbleitersensoren (MOX-Sensoren) bereits in vielen Klimaanlage und zunehmend auch in KFZ-Lüftungen. Sie ermöglichen dort die Regelungs- und Steuerung der Luftströme in Abhängigkeit von Schadstoffkonzentrationen.

MOX-Sensoren werden mit den in der Halbleitertechnologie etablierten Mikrostrukturierungstechniken hergestellt und bestehen aus einem kleinen Heizelement, welches einen Metalloxid-Halbleiter auf eine vom zu detektierenden Zielgas abhängige Temperatur bringt. MOX-Sensoren sind durch Auswahl und zusätzliche chemische Beeinflussung des verwendeten Metalloxids auf die jeweiligen Zielgase optimiert, zeigen aber meist auch eine Empfindlichkeit für ein breiteres Spektrum an anderen Gasen. Auch die kostengünstigen Sensoren für VOCs, welche für den Massenmarkt vorgesehen sind, werden meist mit Hilfe der MOX-Sensortechnologie hergestellt. Sie sind insbesondere für die leicht flüchtigen organischen Verbindungen wie zum Beispiel Alkohole, Menthan usw. empfindlich. Solche Gase werden von Menschen zusammen mit CO₂ ausgeatmet oder ausgedünstet und können daher oft auch als sogenanntes CO₂ äquivalent gemessen werden. Die sogenannten Miefampeln, welche die Luftgüte anzeigen, nutzen daher in der Regel solche VOC-Sensoren und sind in Preisbereichen bis unter 50Euro erhältlich /6/. Sie enthalten auf einem wenige Quadratcentimeter großen Elektronikmodul (beispielsweise in einem USB-Stick) neben dem eigentlichen VOC-Sensor auch einen kleinen Mikrocontroller mit integriertem Flash-Speicher in dem das Auswerteprogramm abgelegt ist. Der Mikrocontroller führt die Analog/Digital-Wandlung des Sensorsignals durch, verrechnet es mit Kalibrierdaten und trifft die Entscheidung welche LED angeschaltet werden muss.

Unter Verwendung eines solchen mikrocontroller-gesteuerten VOC-Sensor-Moduls kann nun ein Konzept für die Lösung der obengestellten Aufgabe in einer sehr kostengünstigen Variante implementiert werden. Dabei kann, wenn die Radon-Aktivitätskonzentration im ungünstigen Fall bekannt ist, diese im Rahmen eines Kalibrierschritts, einer maximal erreichbaren VOC-Konzentration zugeordnet werden. Im Prinzip erzeugen die Menschen, welche sich in einem Wohnraum aufhalten

bereits durch Ihre eigene VOC-Exhalation eine Quellestärke, die ausreichend wäre um auch das für eine substantielle Radon-Reduktion in der Raumluft relevante Lüftungsverhalten zu trainieren. Allerdings ist im Gegensatz zum Radon die durch menschliche Exhalation hervorgerufene VOC-Konzentration von der Anwesenheit und der Personenanzahl pro Wohnfläche abhängig. Um diesen wesentlichen Einfluss zu minimieren, beinhaltet das Konzept die Einbringung eines sogenannten Tracergases. Die Verwendung von Tracersubstanzen (Gase, Flüssigkeiten) in kleinsten, unschädlichen Mengen zur Analyse von Transportvorgängen und Konzentrationsverteilungen in Wirtssystemen ist in Medizin, Biologie, Geologie und Technik weitverbreitet. Die Tracersubstanz sollte vom Detektorsystem gut und eindeutig erkannt werden können und möglichst keinen Einfluss auf das zu untersuchende Wirtssystem haben. Beim Einsatz als Hilfsmittel in Systemen im Consumerbereich sind aber nicht nur die physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften einer Tracersubstanz wichtig, sondern auch die emotionale Wahrnehmung. Daher ist die Verwendung von radioaktiven Tracergasen wie das Radon zur Bestimmung der Luftwechselrate bzw. der VOC-Konzentration eher kritisch zu bewerten, auch wenn die verwendeten Radon-Konzentrationen nach heutigem Kenntnisstand keine nennenswerte Erhöhung des Gesundheitsrisikos darstellen würden. Umgekehrt aber sind biologisch unbedenkliche VOC-Substanzen mit „guter Reputation“ denkbar, die als Tracergas in der Raumluft ein dem Radon vergleichbares Ausbreitungs und Diffusionsverhalten haben und damit geeignet wären, ein Lüftungssystem oder ein manuelles Lüftungsverhalten zu testen. Eine solche Substanz könnte lebensmitteltauglicher Alkohol oder auch Wasserstoffgas sein.

Bild 2 zeigt das Ergebnis eines Versuchs mit einem Wasserstoff-Generator. Der Generator bestand aus einem Glas mit Wasser in dem eine Brise Kochsalz aufgelöst war und in das zwei spiralförmige Elektroden zur Elektrolyse getaucht waren. Zur Elektrolyse wurde eine Spannungsquelle mit 20V verwendet so dass sich ein Stromfluss von etwa 1A einstellte. Als VOC-Sensor wurde das iAQ-2000 Modul von Applied Sensors verwendet. Der Raum hat ein Luftvolumen von ca. 30m³. Das Fenster und die Tür waren zu Beginn geschlossen. Um 9:00h wurde die Elektrolyse gestartet und um 10:00h wieder beendet. Unmittelbar nach Beendigung der Elektrolyse wurde das Fenster gekippt und die Zimmertür geöffnet. Deutlich kann man erkennen, wie innerhalb von 3Minuten die vom VOC Sensor registrierte Wasserstoff-Konzentration auf Werte unter der Grundlinie von 450ppm (untere Messgrenze des Sensors) zurückgeht.

Das Konzept sieht also nicht allein die VOC-Kontrolle in der Raumluft mit einem kostengünstigen Sensor vor, sondern auch die kostengünstige Einbringung einer biologisch gut verträglichen und als unbedenklich akzeptierten VOC-Substanz als Tracergas. Bereits das Aufstellen eines Schnapsglases gefüllt mit einem trinkbaren Alkohol mit 40 Vol.% in einem durchschnittlichen Wohnraum mit geschlossenen Fenstern und Türen erhöht das VOC Sensorsignal in kurzer Zeit auf Werte, die deutlich über denen liegen, welche in gleicher Zeit von Personen exhaliert werden würden. Ein 5 minütiges Stoßlüften bringt das VOC-Sensorsignal unmittelbar wieder auf die Grundlinie. In Bild 1 kann man das Ergebnis eines entsprechenden Versuchs erkennen. Das Schnapsglas wurde zu Beginn der Messung um 22:19Uhr in einem ca. 12qm großen Raum auf der Fensterbank über der Heizung aufgestellt und Fenster sowie die Zimmertür geschlossen. Um 23Uhr wurde nochmal kurz nachgesehen, kurz darauf schaltete

die Heizung auf Nachtbetrieb. Morgens um 6:30Uhr wurde das Fenster gekippt und die Zimmertür geöffnet. All diese den Luftaustausch betreffenden Aktionen bilden sich in dem gemessenen VOC-Konzentrationsverlauf auf plausible Weise ab.

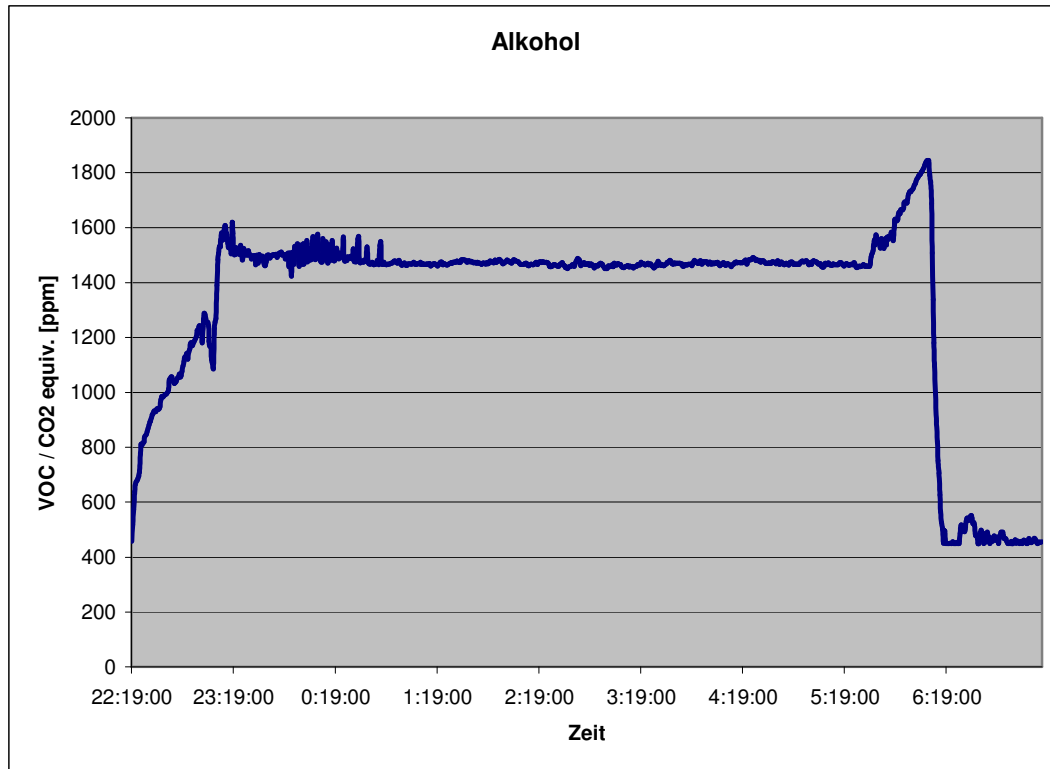


Bild 1: Verlauf der VOC-Konzentration in der Raumluft nach Platzierung eines mit Alkohol gefüllten Schnapsglases auf der Fensterbank über der Heizung am Abend und eines Lüftungsvorgangs am Morgen

In der Praxis kann aber ein unkontrolliertes Verdunsten von Alkohol selbst in kleinsten Mengen sowohl als Geruchsbelästigung wie auch als ungünstig für das Wohlfühl empfunden werden. Da VOC Sensoren fast noch empfindlicher auf Wasserstoff reagieren und Wasserstoff geruchlos und biologisch gut verträglich ist, erscheint dieser als noch günstiger für dieses Messkonzept im Vergleich zu organischen Kohlenwasserstoffen. Wasserstoff kann mit Hilfe einer elektronischen Steuerung entweder elektrolytisch oder über eine UV-Bestrahlung photokatalytischer Schichten wie beispielsweise nanostrukturiertem Titandioxid erzeugt werden ohne dass das Wohlbefinden in Wohnräumen gestört wird. Daher sieht das bisher bevorzugte Lösungskonzept einen elektronisch gesteuerten Generator für kleinste Wasserstoffmengen vor. Die elektronische Steuerung stellt sicher dass das zeitliche Exhalationprofil auf den Sensor angepasst ist und gewisse Maximal-Konzentrationen nicht überschritten werden.

Elektrolytisch arbeitende Wasserstoffgeneratoren sind für die notwendigen Konzentrationen mit Sicherheit kostengünstig realisierbar, könnten aber von der Ergonomie (Nachfüllen des Elektrolyten, Reinigung der Elektroden) gewisse Anforderungen stellen. Inwieweit photokatalytisch erzeugter Wasserstoff (z.B. mit UV Leuchtdioden und TiO₂ Farbe bzw. Beschichtung) ausreichende Konzentrationen erzeugen kann muss noch untersucht werden. Es wäre aber vorstellbar, dass damit auch die Ergonomie des Tracergasgenerators deutlich verbessert werden kann.

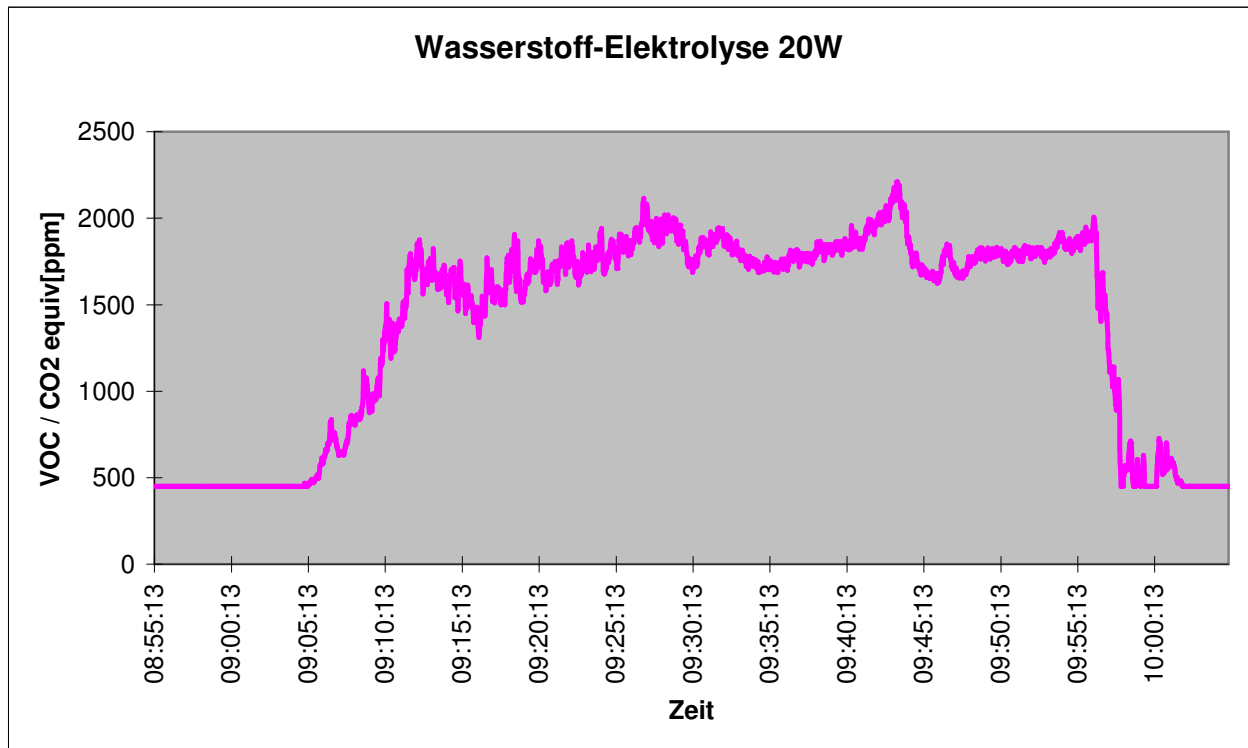


Bild 2: Verlauf der VOC-Konzentration in der Raumluft bei Wasserstoff-Erzeugung von 9:00h-10:00h und anschließendem Lüften

Im Falle eines Productizing dieses Konzepts (siehe Bild 3) muss aber die patentrechtliche Situation berücksichtigt werden. Sowohl die Verwendung von Tracergasen zur Bestimmung von Luftwechselraten, wie auch die Messung mit Gassensoren sind bereits mit Patenten abgedeckt /7/, /8/. Allerdings könnte es sich wesentliche Unterschiede im Hinblick auf der Verwendung und Erzeugung von Wasserstoff als Tracergas und die Verwendung neuer kostengünstiger VOC-Sensortechnologien ergeben.

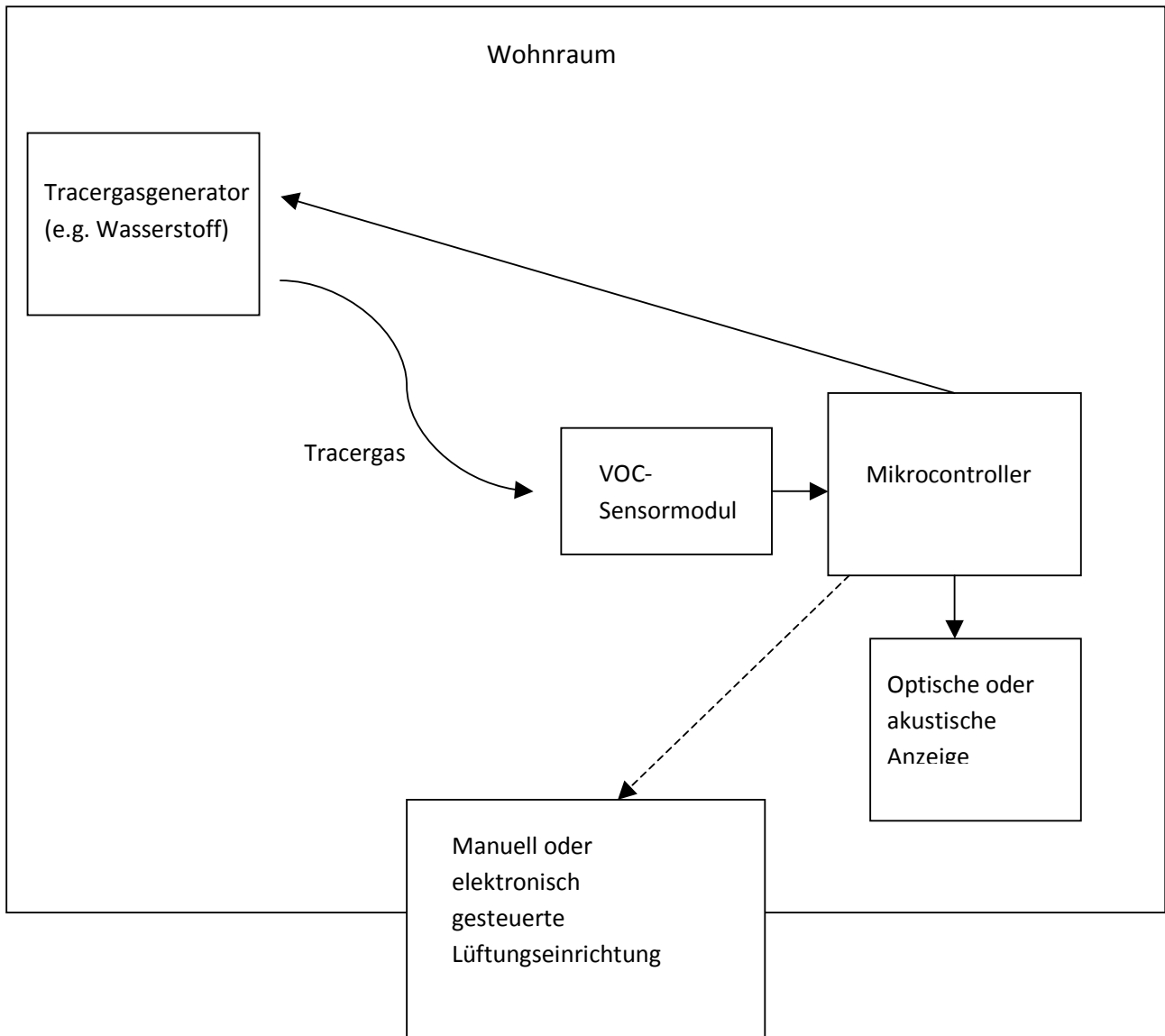


Bild 3: Skizze des Konzepts für ein System zur Radon-Reduktion durch Kontrolle der VOC-Konzentration

Literatur

/1/ World Health Organization: WHO handbook on indoor radon - a public health perspective

http://www.who.int/ionizing_radiation/env/radon/en/index1.html

/2/ Hugh Synnott, David Fenton, Radiological Protection Institute of Ireland (RPII): An Evaluation of Radon Reference Levels and Radon Measurement Techniques and Protocols in European Countries, <http://www.rpii.ie/RPII/files/b5/b5991662-b082-4fc4-a90e-29e74c6bd6d7.pdf>

/3/ International Commission on Radiological Protection (ICRP), ICRP Statement on Radon AND Lung cancer risk from radon and progeny

[http://www.icrp.org/docs/ICRP_Statement_on_Radon_AND_Lung_cancer_risk_from_radon_and_progeny\(for_consultation\).pdf](http://www.icrp.org/docs/ICRP_Statement_on_Radon_AND_Lung_cancer_risk_from_radon_and_progeny(for_consultation).pdf)

/4/ Wolfgang Horn: Ermittlung der Luftwechselrate mit Radon, Deutsches Patent DE 102005034732 A1

<http://www.google.com/patents/DE102005034732A1>

/5/ Dipl.-Ing. (FH) Franz Anton Rößler: Entwicklung eines effizienten Messverfahrens zur Bestimmung der Radonkonzentration als Indikator für die Qualität der Innenraumluft

http://fs-ev.de/Nachwuchs/Arbeiten_2013/Masterarbeit_Roessler.pdf

/6/ Sentinel Haus Institut: RaumluftWächter

<http://shop.sentinel-haus.eu/Wohngesundheit/Raumluftmessung/Der-RaumluftWaechter-inkl-Spezial-Software.html>

/7/ Stanislaw Dr. Bukowiecki, Cerberus AG: Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung von Luftwechselzahlen, Europäisches Patent EP 0067314 A2

/8/ Hans Stymne: A method for measuring ventilation in rooms with tracer gas technique, Europäisches Patent WO 1998004872 A1

/9/ Bundesamt für Strahlenschutz: Informationen zu Radon

<http://www.bfs.de/de/ion/radon>

/10/ wikipedia: Gassensoren, Abschnitt Metalloxid-Halbleitergassensoren

http://de.wikipedia.org/wiki/Gassensor#Metalloxid-Halbleitergassensoren_.28MOX.29