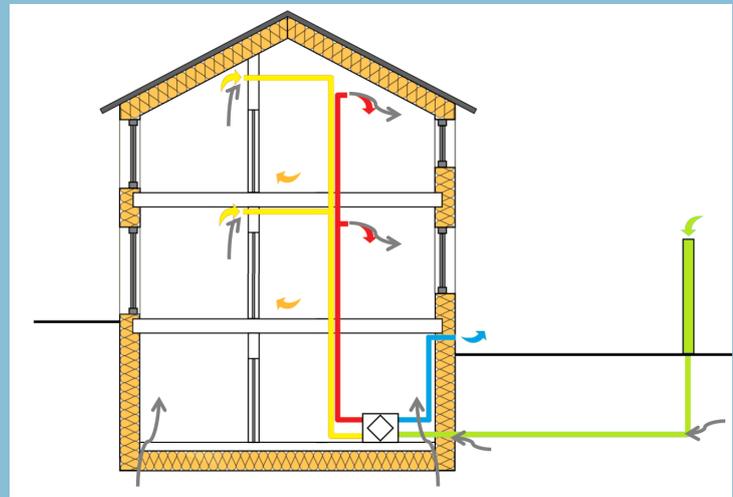


Radonbelastung in Innenräumen von Niedrig- energiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern



Resultate der Messungen in 15 Gebäuden im Kanton Luzern während der Heizsaison 2011/12

Horw, September 2012

Autoren

Davide Bionda
Christian Ruckstuhl
Peter Bucher
Heinrich Manz

Impressum

Finanzierung

Kanton Luzern
Umwelt und Energie (uwe)
Abteilung Energie, Luft und Strahlen
Libellenrain 15
CH-6002 Luzern

Bundesamt für Gesundheit (BAG)
CH-3003 Bern

Auftragnehmer

Hochschule Luzern
Technik & Architektur
Zentrum für Integrale Gebäudetechnik ZIG
Technikumstrasse 21
CH-6048 Horw

inNET Monitoring AG
Dätwylerstrasse 15
CH-6460 Altdorf

Autoren

Dr. Davide Bionda, Hochschule Luzern – T&A
Dr. Christian Ruckstuhl, inNET Monitoring AG
Dr. Peter Bucher, Kanton Luzern – uwe
Prof. Dr. Heinrich Manz, Hochschule Luzern – T&A

Projektleitung

Prof. Dr. Heinrich Manz, Hochschule Luzern – T&A

Verteiler

Kanton Luzern, Umwelt und Energie (uwe)
Libellenrain 15
CH-6002 Luzern
Bundesamt für Gesundheit (BAG)
CH-3003 Bern

Version/Datum

Version 1, 12. September 2012

Titelbild

Links: Aussenluftfassung eines Luft-Erdwärmetauschers (REFH Nebikon).

Rechts: Schematische Darstellung eines Niedrigenergiegebäudes mit mechanischer Lüftungsanlage und Luft-Erdwärmetauscher. Mögliche Radon-Infiltrationsstellen sind mit grauen Pfeilen gekennzeichnet.

Zusammenfassung

Energieeffizientes Bauen erfordert u.a. eine hohe Luftdichtheit und kontrollierte Luftwechselraten. Der nötige Luftaustausch wird bei den meisten Energiestandards (Minergie® /-P /-A, Passivhaus, usw.) durch Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung sichergestellt, die nicht selten mit Luft-Erdwärmetauschern ausgestattet sind. Tiefe Luftwechselraten sowie Luft-Erdwärmetauschern können potentiell zu einer Erhöhung der Radonkonzentration in Innenräumen führen, wenn radonhaltige Bodenluft durch Undichtigkeiten ins Gebäude eindringt.

Die Hochschule Luzern - Technik & Architektur wurde von der Dienststelle Umwelt und Energie des Kantons Luzern (uwe) und vom Bundesamt für Gesundheit (BAG) beauftragt, die Radonkonzentration in energieeffizienten Bauten zu ermitteln und zu untersuchen, ob der Einsatz von Luft-Erdwärmetauschern ein zusätzliches Risiko für die Belastung der Innenraumluft mit Radon darstellt.

Während der Heizperiode 2011/2012 wurde die Radonkonzentration in 15 Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauscher im Kanton Luzern durchgeführt. Die Messobjekte befinden sich in Gebieten, welche gemäss der Einstufung des BAG ein geringes bis mittleres Radonrisiko aufweisen (es gibt keine Gebiete mit hohem Radonrisiko im Kanton Luzern).

Die Ergebnisse zeigen, dass in den Wohn- und Aufenthaltsräumen der untersuchten Gebäude die Radonkonzentrationen im Allgemeinen wesentlich tiefer als die arithmetischen Mittelwerte der Radonkonzentrationen in den Wohn- und Aufenthaltsräumen der jeweiligen Gemeinden sind. Die mittleren Radonkonzentrationen in den bewohnten Räumen sind bei allen Messobjekten deutlich unter 100 Bq/m^3 (vgl. aktuellen Richtwert von 400 Bq/m^3) und erfüllen somit die WHO wie auch die Minergie-ECO Anforderungen. Der Einsatz von Luft-Erdwärmetauschern hat demnach bei diesen Gebäuden keinen negativen Einfluss auf die Radonbelastung.

Um noch präzisere Aussagen über die Wirkung von energetischen Massnahmen auf die Belastung der Innenluft mit Radon zu ermöglichen, sind jedoch weitere Untersuchungen empfehlenswert: grössere Stichprobe idealerweise in Gebieten mit hohen Radonbodenluftbelastungen; unterschiedliche Bautypen; Wiederholung der Messungen nach 5 bis 10 Jahren, um die Dichtigkeit der Erdregister nach der Alterung der Rohrleitungen und den Setzungen des Erdreichs zu prüfen; Vergleiche vor und nach einer energetischen Sanierung.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	4
1.1. Die Radon-Problematik.....	4
1.2. Radon und energieeffizientes Bauen	4
1.3. Ziele der Studie	5
1.4. Messobjekte.....	5
2. Methodik.....	7
2.1. Messmittel und -dauer	7
2.2. Messstellen.....	7
2.3. Datenaufbereitung	8
2.4. Vergleichsmessungen	8
3. Anforderungen an Luft-Erdwärmetauscher.....	9
3.1. Aufbau	9
3.2. Aussenluftfassung.....	9
3.3. Rohr	9
3.4. Kondensatablauf.....	10
3.5. Mauerdurchführungen.....	10
4. Resultate und Diskussion	11
4.1. Resultate im Überblick	11
4.2. Vergleich Dosimeter - Radonmonitor.....	12
4.3. Vergleich von bewohnten und unbewohnten Räumen.....	13
4.4. Keller mit luftdurchlässigem Boden („Naturkeller“.....	14
4.5. Luftdichtheit der Gebäudehülle.....	15
4.6. Aussenluftfassungen	16
4.7. Radonbelastung und Geologie.....	18
5. Schlussfolgerungen.....	19
6. Ausblick.....	20
7. Literaturverzeichnis	21
8. Danksagung.....	22
9. Anhang.....	23
9.1. Datenblätter Messobjekte.....	24
9.2. Messwerte	68
9.3. Diagramme der Messwerte.....	69
9.4. Zeitreihen	71
9.5. Vergleichsmessungen	86

1. Einleitung

1.1. Die Radon-Problematik

Radon ist ein natürliches radioaktives Edelgas, das als Produkt der Uranzerfallsreihe im Gestein und Untergrund entsteht und durch Undichtigkeiten ins Gebäudeinnere gelangen kann. Seine Folgeprodukte Blei, Wismuth und Polonium - die ebenfalls radioaktiv sind - können sich beim Einatmen auf dem Lungengewebe ablagern und dieses bestrahlen. Nach Schätzung des Bundesamts für Gesundheit (BAG) sterben in der Schweiz jedes Jahr 200 bis 300 Menschen an Radonverursachtem Lungenkrebs. Gefährdet sind vor allem Raucherinnen und Raucher, welche über längere Zeit radonhaltiger Luft ausgesetzt waren. Das Risiko nimmt dabei etwa linear mit der Radonkonzentration zu. Radon mit seinen Folgeprodukten gilt nach dem Rauchen als die wichtigste Ursache für Lungenkrebs und verursacht ca. 10% der Lungenkrebsfälle.

In der Schweiz liegt der aktuelle Grenzwert für die Radonbelastung in Wohn- und Aufenthaltsräumen gemäss Art. 110 der Strahlenschutzverordnung (StSV)¹ bei 1000 Bq/m³ (Mittelwert über 1 Jahr). Bei Neu- und Umbauten, sowie bei Sanierungen, gilt ein gesetzlicher Richtwert von 400 Bq/m³. Das BAG empfiehlt jedoch, ein möglichst tiefes Niveau anzustreben. Der Standard Minerergie-ECO® sieht vor, dass die Radonkonzentration den Wert von 100 Bq/m³ nicht überschreitet.

Verschiedene epidemiologische Studien [1, 2, 3, 4, 5] weisen darauf hin, dass das Lungenkrebsrisiko im Zusammenhang mit einer langfristigen Radonexposition früher wesentlich unterschätzt wurde und die von Radon ausgehende Gefährdung bereits bei Werten von deutlich weniger als 1000 Bq/m³ berücksichtigt werden muss. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfiehlt deshalb, die Radonexposition so weit als möglich zu senken und setzt als Grenz- und Richtwerte 300 bzw. 100 Bq/m³ [6].

In Anbetracht dieser neuen Erkenntnisse und im Sinne einer Anpassung der schweizerischen Radonstrategie an die neuen internationalen Standards hat der Bundesrat der neue nationale Radonaktionsplan 2012-2020 verabschiedet [7]. Demgemäss muss die Schweiz ihre Richt- und Grenzwerte überprüfen. Insbesondere der Grenzwert von 1000 Bq/m³ muss neu beurteilt werden.

1.2. Radon und energieeffizientes Bauen

Energieeffizientes Bauen erfordert, nebst einer thermisch hochgedämmten Gebäudehülle, auch eine hohe Luftdichtheit und kontrollierte Luftwechselraten. Der hygienisch nötige Luftaustausch wird bei den meisten Energiestandards (Minergie® /-P /-A, Passivhaus, usw.) durch Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung sichergestellt, die nicht selten mit Luft-Erdwärmetauschern (L-EWT, „Erdregister“) für die Vorwärmung der Zuluft ausgestattet sind (siehe Bild Titelseite).

Tiefe Luftwechselraten können potentiell zu einer Erhöhung der Radonkonzentration in Innenräumen führen, wenn radonhaltige Bodenluft durch Undichtigkeiten ins Gebäude eindringt. Bei Luft-Erdwärmetauschern besteht ausserdem, auch bei gegen das Erdreich gut abgedichteten Gebäudehüllen, grundsätzlich die Möglichkeit, dass bei Undichtigkeiten der erdverlegten Rohre oder bei einer bezüglich Radonbelastung ungünstig platzierten Aussenluftfassung (z.B. zu nah oder unter Erdreichniveau), radonhaltige Bodenluft in die Zuluft gelangen und zu einer erhöhten Radonkonzentration in der Innenluft führen kann.

¹ SR 814.501 Strahlenschutzverordnung (StSV) vom 22. Juni 1994 (Stand am 1. Januar 2012): Art. 110 Grenzwerte und Richtwert, http://www.admin.ch/ch/d/sr/814_501/a110.html

Horw, 12. September 2012

Seite 5/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

1.3. Ziele der Studie

Die Hochschule Luzern - Technik & Architektur wurde von der Dienststelle Umwelt und Energie des Kantons Luzern (uwe) und vom Bundesamt für Gesundheit (BAG) beauftragt, während der Heizperiode 2011/2012 Messungen der Radonkonzentration in 15 ausgewählten Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauscher im Kanton Luzern durchzuführen.

Mit Hilfe von Messungen soll exemplarisch die Radonkonzentration in energieeffizienten Bauten ermittelt und untersucht werden, ob der Einsatz von Luft-Erdwärmetauschern ein zusätzliches Risiko für die Belastung der Innenraumluft mit Radon darstellt. Bau- und/oder gebäudetechnische Massnahmen für die Minimierung der Radonkonzentration in Innenräumen von energieeffizienten Gebäuden werden diskutiert.

Die Messungen wurden in Zusammenarbeit mit der Firma inNET Monitoring AG durchgeführt. Die Messergebnisse werden im vorliegenden Bericht vorgestellt und diskutiert.

1.4. Messobjekte

Die Messungen wurden in 15 Bauten (8 EFH, 2 DEFH, 1 REFH, 3 MFH, 1 Verwaltungsgebäude)² mit Baujahr ab 1999 durchgeführt, die nach den Energiestandards Minergie-P (12), Minergie-P-ECO (1), Passivhaus (1, nicht zertifiziert), CEPHEUS³ (1) erstellt bzw. zertifiziert worden sind (siehe Tab. 1 und Anhang 9.1).

Die Messobjekte befinden sich in Gebieten (Abb. 1), welche gemäss der Einstufung des BAG⁴ ein geringes ($AM < 100 \text{ Bq/m}^3$) bis mittleres ($AM 100-200 \text{ Bq/m}^3$) Radonrisiko aufweisen (es gibt keine Gebiete mit hohem Radonrisiko, d.h. $AM > 200 \text{ Bq/m}^3$, im Kanton Luzern).

Folgende Kriterien waren für die Auswahl der Messobjekte massgebend:

- Das Gebäude ist in Niedrigenergiebauweise erstellt worden und hat eine mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.
- Die Aussenluft wird von der Lüftungsanlage durch einen Luft-Erdwärmetauscher eingesaugt.
- Das Gebäude befindet sich vorzugsweise in einem Gebiet mit mittlerem Radonrisiko.
- Es besteht die Möglichkeit, Messungen auch in erdberührten Räumen durchzuführen.
- Informationsmaterial über das Gebäude (Pläne, Angaben über die Gebäudetechnik, usw.) ist verfügbar.
- Der/die HausbesitzerIn/-MieterIn erklärt sich bereit an der Messkampagne teilzunehmen.

² EFH = Einfamilienhaus; DEFH = Doppelfamilienhaus; REFH = Reiheneinfamilienhaus; MFH = Mehrfamilienhaus

³ Cost Efficient Passive Houses as European Standards, <http://www.cephesus.de/>

⁴ Die Einstufung des Radonrisikos in gering/mittel/hoch beruht auf dem arithmetischen Mittel (AM) der Messungen, die in den Wohn- und Aufenthaltsräumen einer Gemeinde durchgeführt wurden.

Horw, 12. September 2012

Seite 6/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

Tab. 1. Ausgewählte Messobjekte.

Objekt Nr.	Energiestandard	Nutzungsart	Ort	Radonrisiko
1	Minergie-P	EFH	Buttisholz	mittel
2	Minergie-P	EFH	Dagmersellen	mittel
3	Minergie-P	EFH	Luzern	mittel
4	CEPHEUS	REFH	Nebikon	mittel
5	Minergie-P	EFH	Ohmstal	mittel
6	Minergie-P	EFH	Rickenbach	mittel
7	Minergie-P	MFH	Rothenburg	mittel
8	Minergie-P	MFH	Rothenburg	mittel
9	Minergie-P	EFH	St. Erhard (Gde. Knutwil)	mittel
10	Minergie-P	MFH	Willisau	mittel
11	Passivhaus (nicht zertifiziert)	DEFH	Kriens	gering
12	Minergie-P	EFH	Malters	gering
13	Minergie-P	EFH	Malters	gering
14	Minergie-P	DEFH	Neuenkirch	gering
15	Minergie-P-ECO	Verwaltung	Sempach	gering

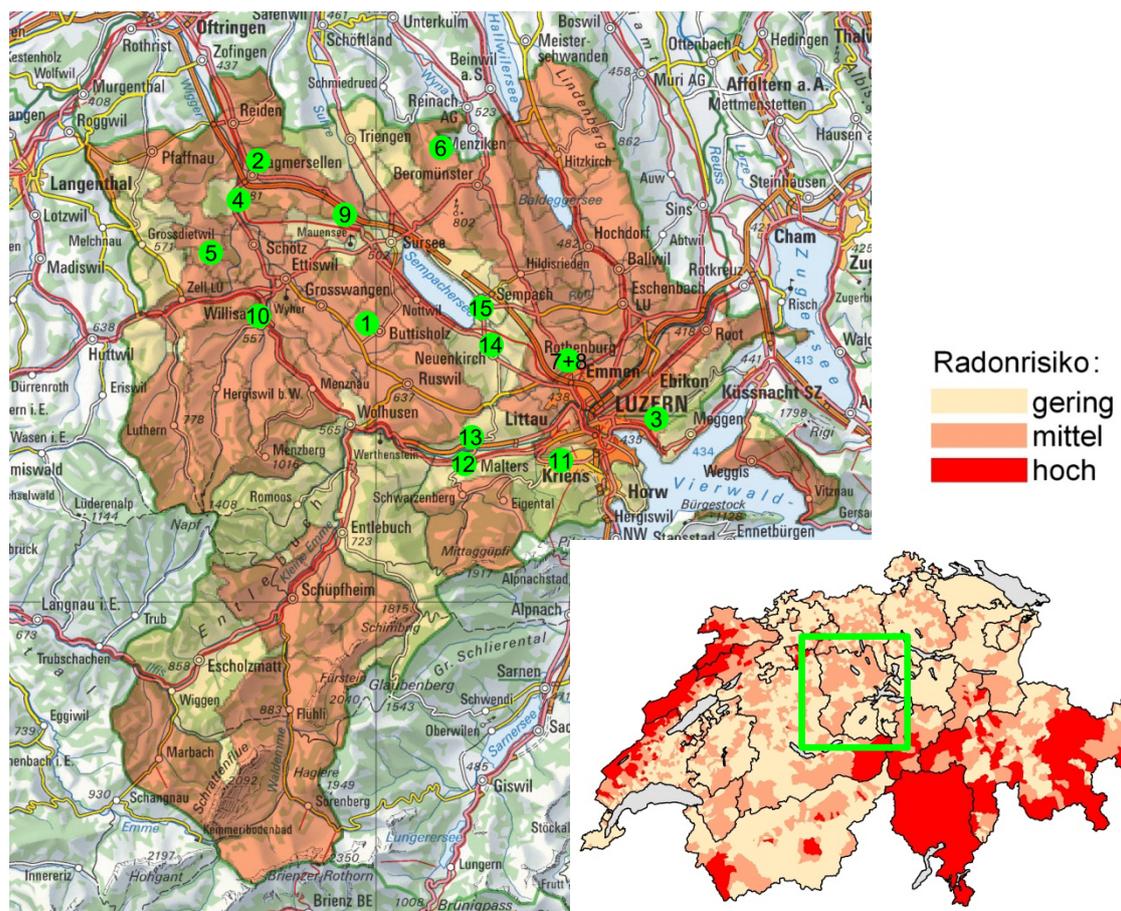


Abb. 1. Geographische Lage der Messobjekte mit Radonrisiko der Gemeinden im Kanton Luzern und Radonkarte der Schweiz (topographische Kartengrundlage ©swisstopo, <http://map.geo.admin.ch/>; Radonkarte Stand Februar 2011, <http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/00046/>).

2. Methodik

2.1. Messmittel und -dauer

Die Messung der Radonkonzentration wurde mit zeitlich hochaufgelöst messenden elektronischen Radonmonitoren der Typen AlphaGUARD⁵ (Abb. 2) und RadonMapper⁶ (Abb. 3) durchgeführt. Die Radonkonzentration wurde von den Messgeräten alle 10 Minuten erfasst. Die gesamte Messdauer pro Objekt betrug in der Regel zwischen 2 und 4 Wochen.

Die Messungen mit den elektronischen Geräten geben Information über den zeitlichen Verlauf der Radonkonzentration.

Nebst den elektronischen Messgeräten, wurden bei allen Messstellen Passivdosimeter des Typs Gammadata⁷ installiert (Abb. 2). Die Dosimeter wurden an den jeweiligen Messstellen während einer Minimalzeit von 2 Monaten gelassen.

Die Messungen mit den Dosimetern liefern die mittlere Radonkonzentration über die Messperiode.



Abb. 2. AlphaGUARD Radonmonitor und Gammadata Passivdosimeter (oben rechts). Abb. 3. RadonMapper Radonmonitor.

2.2. Messstellen

Die Messungen wurden soweit möglich an jeweils drei Stellen pro Objekt durchgeführt:

- Raum unbewohnt und unbelüftet im Untergeschoss (z.B. Technik- oder Kellerraum)
- Raum bewohnt im Erdgeschoss
- Raum bewohnt im Obergeschoss (falls vorhanden)

Die direkte Erfassung der Radonkonzentration mittels eines elektronischen Messgerätes in der Luft aus dem Erdwärmetauscher (im Rohr unmittelbar vor dem Eingang im Lüftungsgerät oder im Lüftungsgerät selbst) war nur in drei Gebäuden mit grösseren Lüftungsanlagen möglich: bei den zwei Mehrfamilienhäuser in Rothenburg und beim Verwaltungsgebäude in Sempach.

⁵ Saphymo GmbH, Heerstraße 149, D-60488 Frankfurt a.M., Deutschland, <http://www.genitron.de>

⁶ Tecnavia SA, Via Cadeplano 28, CH-6917 Barbengo-Lugano, Schweiz, <http://www.tecnavia.com>

⁷ Gammadata Instrument AB, P.O Box 2034, SE-750 02 Uppsala, Schweden, <http://www.gammadatainstrument.se>

Bei allen anderen Gebäuden waren die Lüftungsanlagen kleiner und somit war nicht genügend Platz für das Radonmessgerät vorhanden. Die Radonkonzentration in der Luft aus dem Erdwärmetauscher wurde in solchen Fällen lediglich mittels Passivdosimeter ermittelt.

2.3. Datenaufbereitung

Radonmessungen in hoher zeitlicher Auflösung weisen, aufgrund der stochastischen Natur des radioaktiven Zerfalls, meistens starke zeitliche Fluktuationen auf, aufgrund derer eventuell vorhandene niederfrequenterer periodische Schwankungen (wie z.B. Tagesschwankungen) schwer identifizierbar sind.

Um die Dateninterpretation zu erleichtern und mögliche Trends besser zu erkennen bzw. hervorzuheben, wurden die Rohdaten aus den Radonmonitoren durch die Bildung von gleitenden Stundenwerten geglättet. Für den Vergleich mit Dosimeterdaten (siehe z.B. Anhang 9.2 und 9.3), wurden zusätzlich Mittelwerte über die Messperiode berechnet.

Aus den Dosimeterdaten wurde gemäss BAG-Anleitung je Messstelle ein Jahresmittelwert anhand der folgenden Formel extrapoliert [8]

$$A_0 = A_m \cdot \frac{N_{Wi} + N_{So}}{1.12 \cdot N_{Wi} + 0.88 \cdot N_{So}}$$

wobei

A_0 = Jahresmittelkonzentration in Bq/m³

A_m = Gemessene Radonkonzentration in Bq/m³

N_{Wi} = Anzahl Messtage im Winter (Oktober bis März)

N_{So} = Anzahl Messtage im Sommer (April bis September)

2.4. Vergleichsmessungen

Vergleichsmessungen mit allen verwendeten Radonmonitoren (3 AlphaGUARD und 3 RadonMapper) im Parallelbetrieb unter gleichen Raumbedingungen wurden durchgeführt, um mögliche Messunterschiede zwischen den Geräten zu erkennen.

Die Vergleichsmessungen wurden sowohl im Keller bei der Dienststelle Umwelt und Energie des Kantons Luzern (etwas höhere Radonbelastung), als auch in der Klimakammer des Zentrums für Integrale Gebäudetechnik (ZIG) der Hochschule Luzern in Horw (kontrollierte Temperatur und relative Feuchte) durchgeführt.

Die Resultate sind im Anhang 9.5 zusammengefasst. Die Mittelwerte über die Messperiode der einzelnen Geräte zeigen kleine Differenzen (bis zu ca. 20 Bq/m³), die aufgrund ihrer absoluten Grösse als wenig signifikant eingestuft werden können. Ebenso konnte keine Temperaturabhängigkeit der Radonmonitore festgestellt werden.

In einer Messkampagne in den Jahren 2010 und 2011 wurde mittels Parallelmessungen die Messunsicherheit von Gammadata-Passivdosimetern ermittelt [9]. Die Differenzen bei Parallelmessungen liegen in der Regel unter 10%, es können aber in seltenen Fällen Ausreisser auftreten.

3. Anforderungen an Luft-Erdwärmetauscher

3.1. Aufbau

Ein Luft-Erdwärmetauscher besteht in der Regel aus drei Komponenten: Aussenluftfassung, Rohr und Kondensatablauf (Abb. 4). Optional kann dazu noch eine Bypassklappe eingebaut werden.

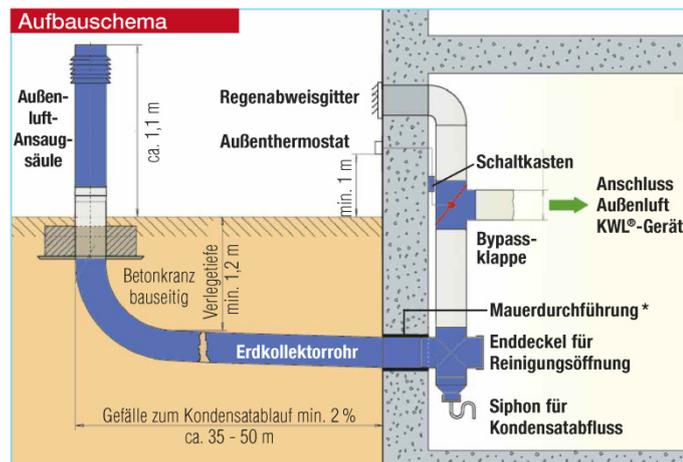


Abb. 4. Aufbauschema eines typischen Luft-Erdwärmetauschers. Bild aus <http://www.heliosventilatoren.de>.

Um das Risiko einer Radonbelastung der eingesaugten Aussenluft zu reduzieren, müssen bei der Konstruktion des Luft-Erdwärmetauschers bestimmte Anforderungen erfüllt werden, welche in den folgenden Abschnitten beschrieben werden.

3.2. Aussenluftfassung

Gemäss SIA Merkblatt 2023 [10] ist die Lage der Aussenluftfassung so zu wählen, dass eine negative Beeinflussung der Luftqualität durch lokale Emissionsquellen möglichst gering gehalten wird. Aussenluftfassungen dürfen deshalb nicht direkt am Boden oder in einem Lichtschacht angeordnet werden.

Die minimalen Höhen der Ansaugpunkte der Aussenluft betragen [9]:

- 3 m auf öffentlich zugänglichem Grund oder gemeinschaftlich genutzten privaten Arealen.
- 1.5 m in den übrigen Fällen bei Mehrwohnungsanlagen.
- 0.7 m bei Einzelwohnungsanlagen mit Aussenluftfassungen auf ausschliesslich privat zugänglichen Grundstücken.

Das BAG empfiehlt als vorsorgliche Massnahme zum Radonschutz, bei Neubauten die Aussenluftfassung mindestens 1.5 m über dem Terrain zu platzieren [11].

Ferner sollte die Aussenluftfassung nicht über einem offenen Kiesbett platziert werden.

3.3. Rohr

Bei der Realisierung von radonsicheren Luft-Erdwärmetauschern müssen, zusätzlich zu den Anforderungen an die Aussenluftfassung, folgende Kriterien erfüllt werden:

Horw, 12. September 2012

Seite 10/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

- Das Rohr soll wasser- und radondicht⁸ sein und aus Kunststoff bestehen (kein PVC) [12, 13]. Zementrohre sollten vermieden werden, da sie gegenüber Radon durchlässiger sind [14].
- Im Idealfall sind keine Stösse vorhanden. Wenn vorhanden, dann sind diese wasser- und radondicht zu verschweissen.

Ferner sollen aus hygienischen Gründen Rohre mit glatten Innenwänden verwendet und eine Öffnung für die Kontrolle und die Reinigung vorgesehen werden.

Die Rohre sind mit 1.5% bis 5% Gefälle zur Hauseinführung zu verlegen, so dass im Falle von Bildung von Kondenswasser (v.a. im Sommer) ein Abfliessen in Richtung Kondensatablauf möglich ist. Somit wird das Risiko der Vermehrung von Mikroorganismen im stehenden Kondenswasser minimiert.

3.4. Kondensatablauf

Im Gebäudeinnern ist ein Kondensatablauf vorzusehen. Beim Kondensatablauf ist ein Siphon vorhanden, der das Ansaugen von Boden- oder Kellerluft verhindert. Es muss sichergestellt werden, dass sich immer Wasser im Siphon befindet.

3.5. Mauerdurchführungen

Alle Mauerdurchführungen müssen dicht sein.

⁸ Der Begriff «radondicht» ist nicht verbindlich festgelegt. G. Keller, Universität Homburg, schlägt vor, ein Material als radondicht zu bezeichnen, wenn die Diffusionslänge kleiner als ein Drittel der Materialdicke ist. [15]

4. Resultate und Diskussion

4.1. Resultate im Überblick

Der Mittelwert der Radonkonzentration aller bewohnten Räume ($n = 21$, Dosimetermessungen) liegt bei 22 Bq/m^3 mit einer Standardabweichung von 16 Bq/m^3 .

Die Messwerte (Abb. 5) zeigen folgendes:

- Die Radonbelastungen in den Wohnräumen liegen unterhalb von 100 Bq/m^3 und können somit als gering eingestuft werden.
- Die Radonkonzentrationen in der Luft aus den Luft-Erdwärmetauschern sind in der Regel tiefer als in den bewohnten Räumen.
- Die Radonwerte in den unbelüfteten Räumen im Untergeschoss sind in der Regel höher als in den Wohnräumen (belüftet).
- Bei allen Messobjekten ist die Radonbelastung tiefer als der arithmetische Mittelwert der Wohn- und Aufenthaltsräumen in den jeweiligen Gemeinden (Messdaten BAG, Radonkarte der Schweiz).

Die vollständigen Resultate der Messungen sind im Anhang 9.2, 9.3 und 9.4 zu finden.

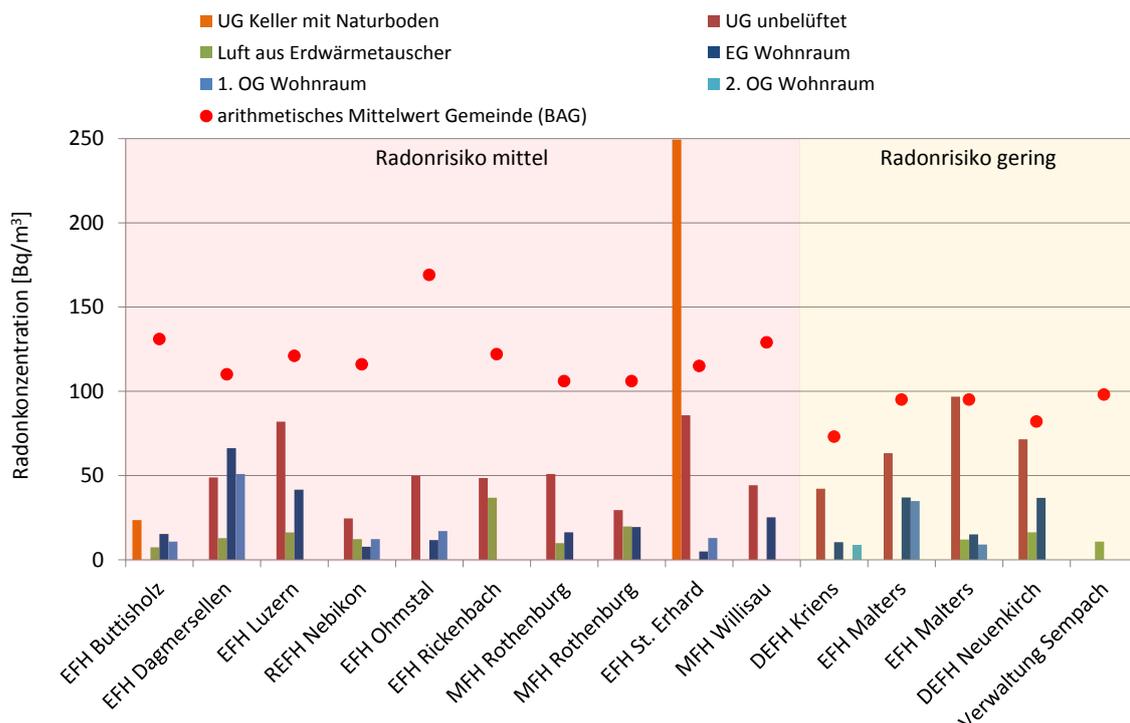


Abb. 5. Radonkonzentrationen (Jahresmittel aus den Dosimeterdaten) in verschiedenen Räumlichkeiten der untersuchten Gebäude verglichen mit dem arithmetischen Mittelwert der Wohn- und Aufenthaltsräume der jeweiligen Gemeinden gemäss Radonkarte der Schweiz (BAG-Messkampagne). Das Resultat der Dosimetermessung im Wohnzimmer (EG) des EFH Rickenbach ist im Diagramm nicht dargestellt (Ausreisser, siehe Abschnitt 4.2)

4.2. Vergleich Dosimeter - Radonmonitor

Der Vergleich der Daten aus den Dosimetern mit den Mittelwerten aus den Radonmonitoren-Messungen gibt einen groben Hinweis über die Qualität der Messungen und hilft bei der Identifikation eventuell vorhandener Messfehler. Da die Daten u.a. über unterschiedlich lange Messperioden erfasst worden sind (minimale Expositionsdauer von 2 Monaten für Dosimeter), kann eine komplette Übereinstimmung nicht erwartet werden. Bei den meisten Messstellen beträgt der Unterschied zwischen Dosimetermessung und Mittelwert aus den Radonmonitoren weniger als 20 Bq/m^3 (Abb. 6). Der Blindwert von passiven Dosimetern liegt Erfahrungsgemäss⁹ bei ca. $6\text{-}7 \text{ Bq/m}^3$. Dementsprechend sollte von den Radonkonzentrationen, die von den Dosimetern gemessen werden, dieser Wert abgezogen werden. Gemäss gängiger Praxis wird hier jedoch auf eine entsprechende Korrektur der Radonkonzentrationen aus den Dosimetern verzichtet.

Beim EFH Rickenbach (Wohnzimmer EG) wurde zwischen den zwei Messmethoden ein relativ grosser Unterschied festgestellt (Dosimeter 250 Bq/m^3 , Mittelwert Radonmonitor 82 Bq/m^3). In diesem Fall ist eine Wiederholung der Messung im betroffenen Raum zu empfehlen.

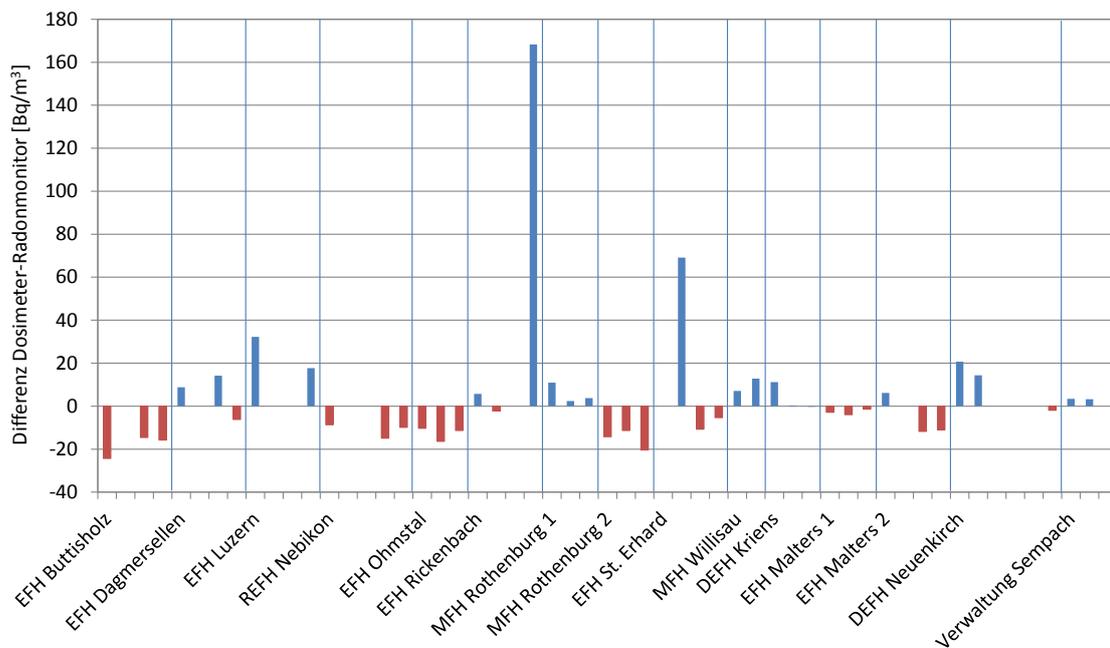


Abb. 6. Differenz zwischen Dosimeterdaten und Mittelwerte aus den Messungen mit den Radonmonitoren.

⁹ Persönliche Mitteilung P. Bucher, Dienststelle Umwelt und Energie des Kantons Luzern.

Horw, 12. September 2012

Seite 13/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

4.3. Vergleich von bewohnten und unbewohnten Räumen

Die Radonkonzentration wurde in mehreren Stockwerken gemessen. Bei allen untersuchten Gebäuden sind die untersuchten Räume im Untergeschoss unbewohnt und, mit Ausnahme des DEFH Neuenkirch, nicht durch die mechanische Lüftungsanlage belüftet. Diese Räume zeigen eine höhere Radonkonzentration als die belüfteten Wohnräume (Abb. 7 und Abb. 8). Dies lässt sich mit der Infiltration von radonhaltiger Bodenluft durch die erdberührten Bauteile und der niedrigeren Luftwechselrate im Untergeschoss erklären. Beim EFH Dagmersellen, wo ein Kippfenster im Technikraum stets leicht geöffnet ist, ist die Radonkonzentration im Untergeschoss entsprechend tiefer.

Zwischen Erdgeschoss und Obergeschoss sind keine relevanten Unterschiede feststellbar.

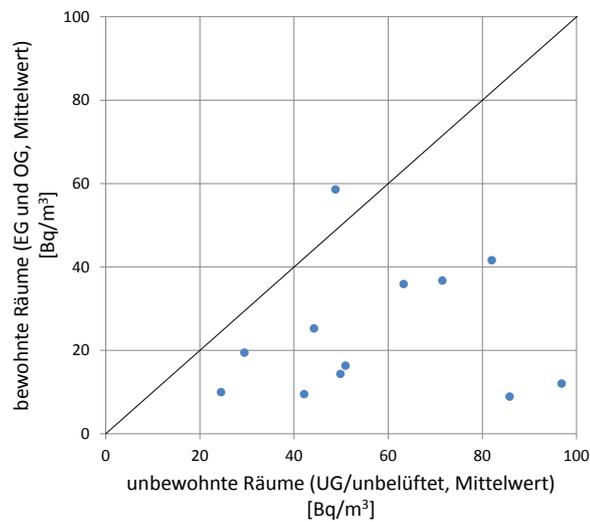


Abb. 7. Vergleich der Radonkonzentration (Jahresmittel aus den Dosimeterdaten) in bewohnten und in unbewohnten Räumen.

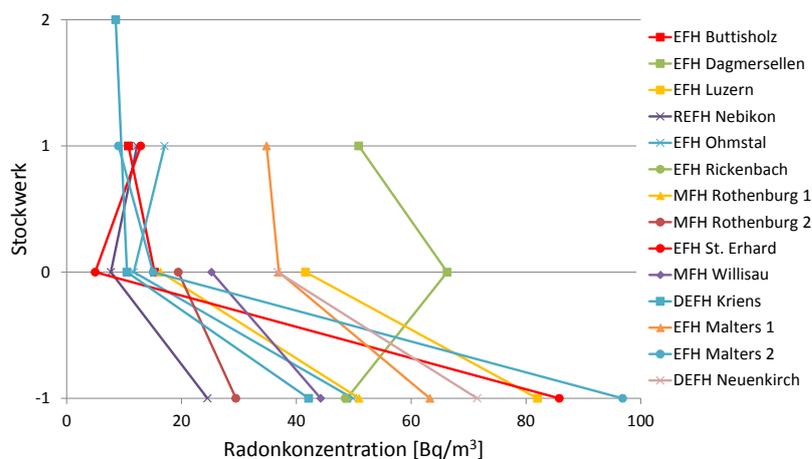


Abb. 8. Radonkonzentration im Zusammenhang mit der Stockwerkhöhe (Jahresmittel aus den Dosimeterdaten). -1 = Untergeschoss, 0 = Erdgeschoss, 1 = 1. Obergeschoss, 2 = 2. Obergeschoss.

Horw, 12. September 2012

Seite 14/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

4.4. Keller mit luftdurchlässigem Boden („Naturkeller“)

Alle untersuchten Objekte verfügen über eine Bodenplatte aus Beton. Bei zwei Gebäuden (EFH Buttisholz und EFH St. Erhard) ist ein Teil des Kellerbodens mit Kies bzw. Hochlochziegel luftdurchlässig realisiert worden (Abb. 9 und Abb. 10). Solche Konstruktionen bieten keinen Schutz vor Radon.



Abb. 9. Kellerraum mit Kiesboden (5.2 m²), EFH Buttisholz.



Abb. 10. Kellerraum mit Lochziegelboden (3.6 m²). EFH St. Erhard.

Trotz dieses ungünstigen Bodenaufbaus ist die Radonkonzentration im Naturkeller des EFH Buttisholz nur geringfügig höher als in den übrigen Räumen des Gebäudes und immer noch sehr niedrig (Abb. 11).

Hingegen ist die Radonkonzentration im Naturkeller des EFH St. Erhard mit 250 Bq/m³ deutlich höher als bei den übrigen Messstellen (Abb. 12), aber immer noch unterhalb des Richtwertes von 400 Bq/m³. Durch die Fensterlüftung kann eine wesentliche Reduktion der Radonbelastung im Innenraum erreicht werden (Abb. 13).

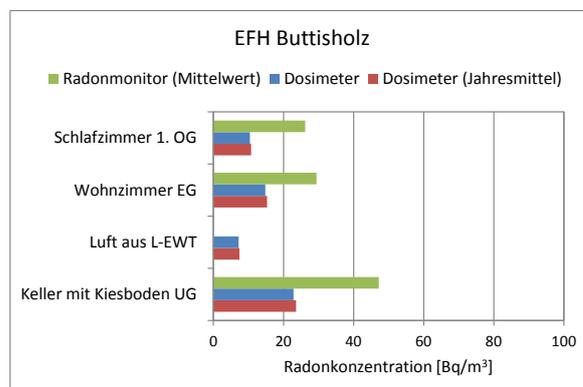


Abb. 11. Radonkonzentrationen im EFH Buttisholz.

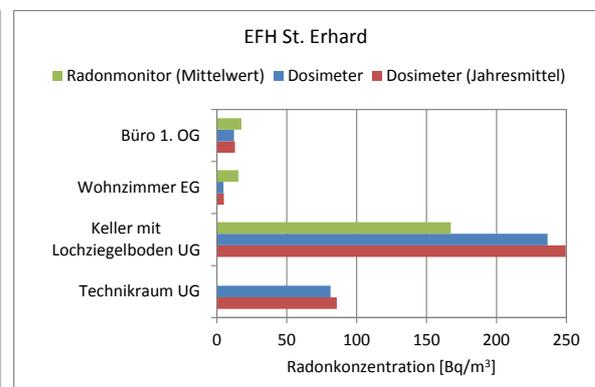


Abb. 12. Radonkonzentrationen im EFH St. Erhard.

Horw, 12. September 2012

Seite 15/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

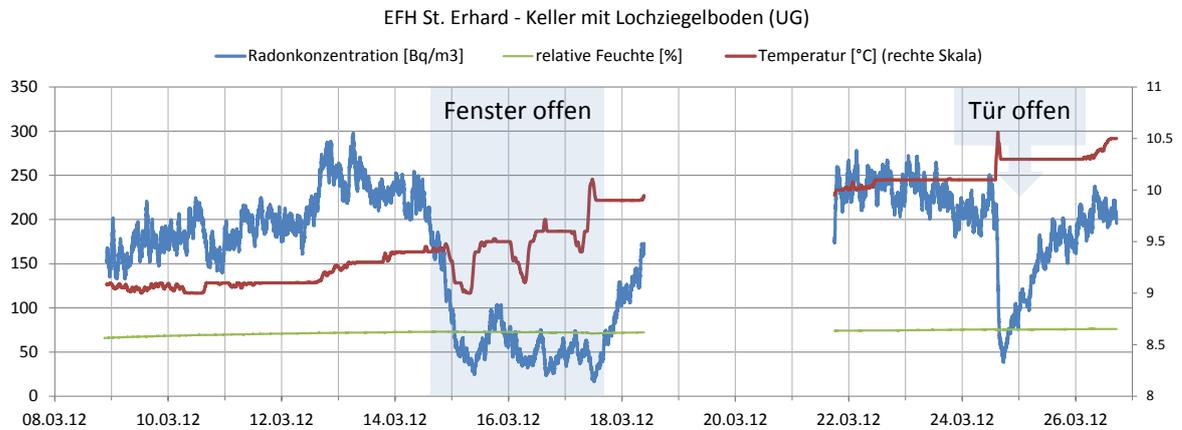


Abb. 13. Verlauf der Radonkonzentration im Naturkeller des EFH St. Erhard und Auswirkung der Belüftung des Raumes.

4.5. Luftdichtheit der Gebäudehülle

Für die Zertifizierung nach Minergie-P ist die Luftdichtheit der Gebäudehülle n_{50} mit einer Dichtheitsprüfung nachzuweisen (Differenzdruckmethode bzw. Blower-Door-Methode). Bei Neubauten darf der gemessene Wert nicht höher als 0.6 h^{-1} sein. Dieser Wert wird bei allen untersuchten Minergie-P-Gebäuden unterschritten (Anhang 9.1). Die Luftdichtheit n_{50} korreliert nicht mit den gemessenen Radonkonzentration im jeweiligen Gebäude (Abb. 14).

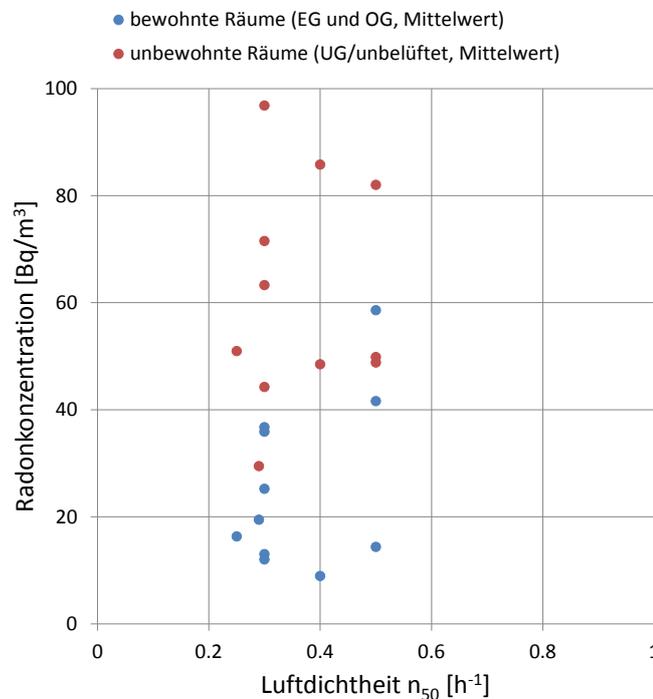


Abb. 14. Luftdichtheit n_{50} der Gebäudehülle und gemessene Radonkonzentrationen in den bewohnten und unbewohnten Räumen (Jahresmittel aus den Dosimeterdaten).

Horw, 12. September 2012

Seite 16/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

4.6. Aussenluftfassungen

Bei nur 6 von 15 untersuchten Objekten liegt der Ansaugpunkt der Aussenluft mindestens 1.5 m über Boden und ist somit mit den in Abschnitt 3.2 beschriebenen Empfehlungen konform (Beispiele in Abb. 15 und Abb. 16). In allen anderen Fällen ist die Höhe über Boden bezüglich Radonschutzes ungenügend (Beispiele in Abb. 17 bis Abb. 20) und in 5 dieser Fälle liegt der Ansaugpunkt über einem offenen Kiesbett. Beim DEFH Kriens liegt die Aussenluftfassung etwa 0.5 m unter Bodenniveau, in einem Schacht an der Südseite des Gebäudes (Abb. 18).

Die Messdaten zeigen aber keine Korrelation zwischen Radonkonzentration in der Luft aus dem Luft-Erdwärmetauscher und Höhe über Terrain der Aussenluftfassung (Abb. 21).



Abb. 15. Aussenluftfassung des REFH Nebikon. Der Ansaugpunkt liegt bei ca. 1.6 m über dem Terrain.



Abb. 16. Aussenluftfassungen des Verwaltungsgebäudes Sempach. Der Ansaugpunkt liegt bei ca. 1.5 m über dem Terrain.



Abb. 17. Aussenluftfassung des EFH Malters 1. Der Ansaugpunkt liegt bei ca. 1 m über dem Terrain.

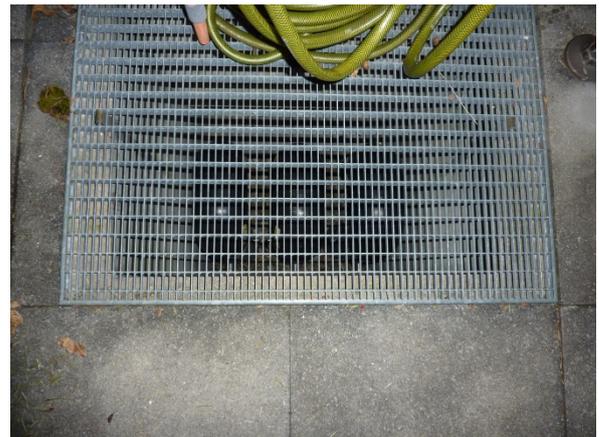


Abb. 18. Aussenluftfassung des DEFH Kriens. Der Ansaugpunkt liegt bei ca. 0.5 m unter dem Terrain.

Horw, 12. September 2012

Seite 17/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern



Abb. 19. Aussenluftfassung des EFH Buttisholz. Der Ansaugpunkt liegt bei ca. 0.9 m über offenem Kiesbett.



Abb. 20. Aussenluftfassungen mit Filterkasten beim MFH Willisau. Der Ansaugpunkt liegt bei ca. 0.8 m über offenem Kiesbett.

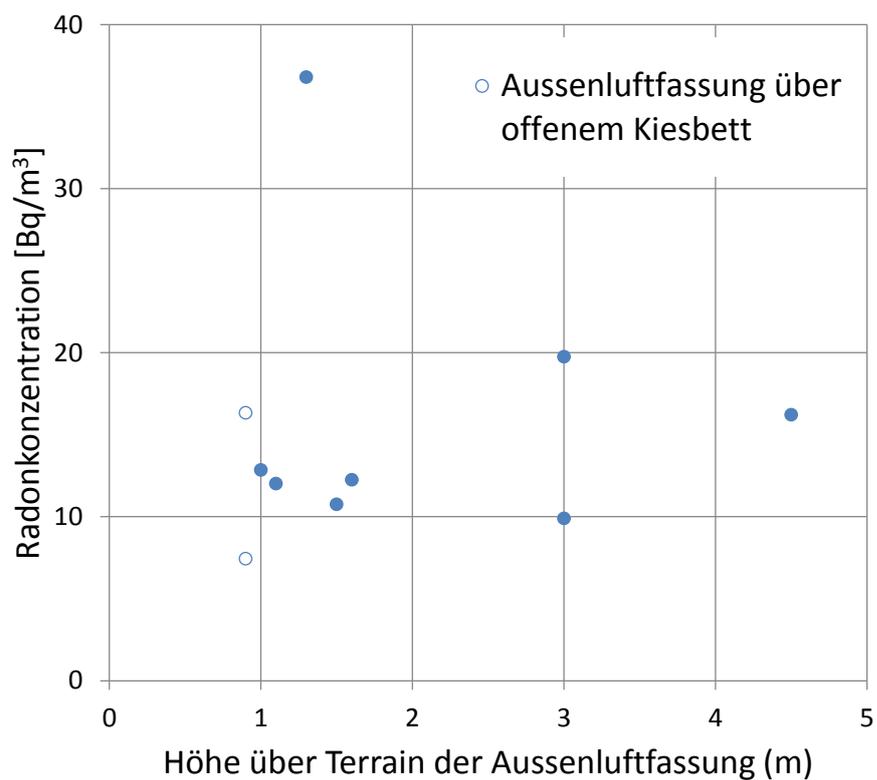


Abb. 21. Höhe über dem Terrain der Aussenluftfassung und gemessene Radonkonzentration in der Luft aus dem Luft-Erdwärmetauscher (Jahresmittel aus den Dosimeterdaten).

Horw, 12. September 2012

Seite 18/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

4.7. Radonbelastung und Geologie

Hohes Radonrisiko besteht in der Schweiz in den Alpen und Südalpen (Kristallingebieten mit uran- und radiumhaltigem granitischem, vulkanischem oder Verrucano-Untergrund) sowie im Jura (hohe Durchlässigkeit des Untergrundes durch Verkarstung).

In allen anderen Gebieten wird die Radonverfügbarkeit massgebend von der lokalen Bodenpermeabilität beeinflusst.

Die in dieser Studie untersuchten Gebäude befinden sich alle im Molassegebiet. Dieses ist durch Sedimentgesteine (Konglomerate, Sandsteine, Tone und Mergel) charakterisiert, die auf weite Strecken von einer zwischen einigen wenigen und einigen hundert Meter dicken Schicht Lockergestein (vorwiegend Moräne und Schotter) überdeckt ist.

Bei den durchgeführten Messungen wurde kein erkennbarer Zusammenhang zwischen Radonbelastung der untersuchten Objekte und Geologie des Ortes gefunden (Abb. 22).

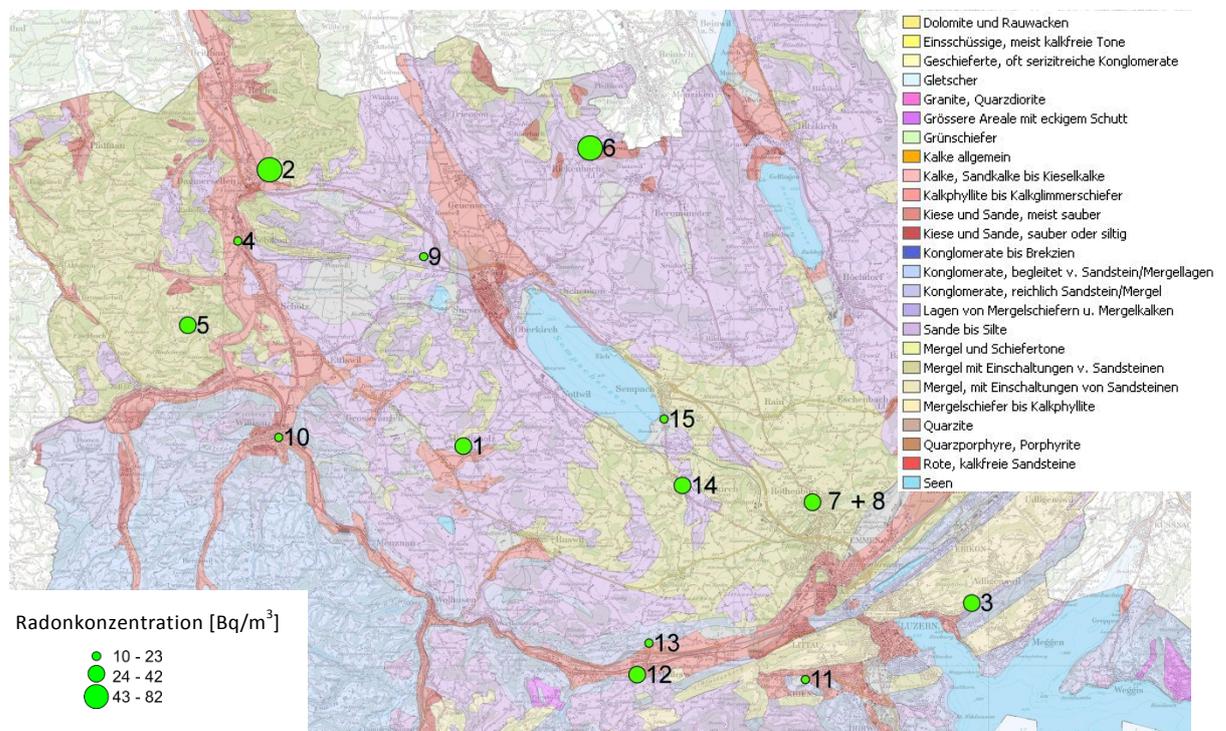


Abb. 22. Überblick Radonbelastung in den bewohnten Räumen der untersuchten Objekte (Mittelwert aus den Radonmonitoren) und Geologie. Zuordnung der Messpunkte gemäss Tab. 1.

5. Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse dieser Messungen zeigen, dass in den Wohn- und Aufenthaltsräumen der untersuchten Niedrigenergiegebäude mit Luft-Erdwärmetauscher die Radonkonzentrationen im allgemeinen wesentlich tiefer als die arithmetischen Mittelwerte der Radonkonzentrationen in den Wohn- und Aufenthaltsräumen der jeweiligen Gemeinden sind. Die mittleren Radonkonzentrationen in den bewohnten Räumen sind bei allen Messobjekten deutlich unter 100 Bq/m^3 (vgl. aktuellen Richtwert von 400 Bq/m^3) und erfüllen somit die WHO wie auch die Minergie-ECO Anforderungen.

Der Einsatz von Luft-Erdwärmetauschern hat demnach bei diesen Gebäuden keinen negativen Einfluss auf die Radonbelastung. Die Gebäudehüllen und die Luft-Erdwärmetauscher bei den untersuchten 15 Objekten sind gegenüber Radon genügend dicht. Da die Radonkonzentrationen in der Bodenluft aus Kostengründen nicht gemessen werden konnten, ist allerdings die Radonbelastung vom Erdreich her an den jeweiligen Standorten nicht bekannt. Die Fälle von Radon in den Naturkellern zeigen jedoch, dass Radon, wenn auch nicht in sehr hoher Konzentration, so doch vorhanden ist.

Die Radonkonzentration in den belüfteten Wohnräumen ist meistens niedriger als in den unbelüfteten Räumen im UG. Die mechanische Belüftung begünstigt – wegen des erhöhten Luftwechsels – tiefe Radonkonzentrationen. Kellerräume mit luftdurchlässigem Boden („Naturkeller“) sind grundsätzlich bezüglich Radonbelastung unvorteilhaft.

Aufgrund der relativ kleinen Stichprobe ist die Aussagekraft der Resultate beschränkt. Zudem befindet sich keines der untersuchten Gebäude in einem hochbelasteten Gebiet.

6. Ausblick

Sowohl bei Sanierungen als auch bei Neubauten muss klar aufgezeigt werden können, dass Energieeffizienz und Radonsicherheit keinen Widerspruch darstellen. Um noch präzisere Aussagen über die Wirkung von energetischen Massnahmen auf die Belastung der Innenluft mit Radon zu ermöglichen, sind weitere Untersuchungen empfehlenswert, welche die folgenden Themen beinhalten könnten.

Bei modernen luftdichten und mechanisch belüfteten Gebäuden stellen Luft-Erdwärmetauscher wohl eines der grössten Risiken bezüglich der Anreicherung von Radon in den Innenräumen dar. Zusätzliche Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern, idealerweise in Gebieten mit hohen Radonbodenluftbelastungen, sollten untersucht werden um eine grössere Stichprobe mit unterschiedlichen Bautypen zu erhalten. Die Messungen sollten nach 5 bis 10 Jahren wiederholt werden, um die Dichtigkeit der Erdregister nach der Alterung der Rohrleitungen und den Setzungen des Erdreichs zu prüfen.

In der Schweiz werden jedes Jahr etwa 10 Milliarden Franken in die Erneuerung des Gebäudebestandes investiert. Um den hohen Energieverbrauch des schweizerischen Gebäudeparks zu reduzieren und die energiepolitischen Ziele des Bundes zu erreichen, muss in den nächsten Jahren und Jahrzehnten eine sehr grosse Anzahl von älteren Bauten energetisch saniert werden. Eine zentrale Anforderung an energieeffiziente Bauten ist, nebst einer guten Dämmung, auch eine hohe Luftdichtheit der Hülle, was zu entsprechend kleinen natürlichen Luftwechsell führt. Geringere Luftwechsel haben – bei gleichbleibender Radoninfiltration – eine Erhöhung der Konzentration zur Folge.

Besitzer und Mieter von Immobilien werden durch generelle Aussagen, es bestehe ein Widerspruch zwischen energetischen und gesundheitlichen Anforderungen, verunsichert. Die Datengrundlage muss deshalb verbessert werden.

Es muss insbesondere geklärt werden, ob, bzw. in welchem Umfang, Massnahmen der Energieeffizienz negative Auswirkungen auf die Radonkonzentration in Innenräumen haben. Dabei ist es wichtig, dass die untersuchte Bausubstanz repräsentativ für eine Region ist und entsprechend dokumentiert wird.

In einer repräsentativen Anzahl von Gebäuden sollte deshalb die Radonbelastung in Innenräumen vor und nach einer energetischen Sanierung gemessen und so die Auswirkung der dichten Gebäudehülle (neue Fenster, Türen etc.) abgeklärt werden. Bei allen Gebäuden sollten Baukonstruktion, Sanierungsmassnahmen, Lüftungssystem etc. systematisch erfasst, dokumentiert und kategorisiert werden.

7. Literaturverzeichnis

- [1] S. Darby et al., «Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies,» *BMJ*, 330(7485), pp. 223-227, 2005.
- [2] S. Darby et al., «Residential radon and lung cancer - detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe,» *Scand J Work Environ Health, suppl. 1*, pp. 1-84, 2006.
- [3] D. Krewski et al., «Residential radon and risk of lung cancer: a combined analysis of 7 North American case-control studies,» *Epidemiology*, 16(2), pp. 137-145, 2005.
- [4] D. Krewski et al., «A combined analysis of North American case-control studies of residential radon and lung cancer,» *J Toxicol Environ Health A*, 69(7), pp. 533-597, 2006.
- [5] J. H. Lubin et al., «Risk of lung cancer and residential radon in China: pooled results of two studies,» *Int J Cancer*, 109(1), pp. 132-137, 2004.
- [6] World Health Organization, «WHO handbook on indoor radon: a public health perspective,» Geneva, 2009.
- [7] Bundesamt für Gesundheit (BAG), «Nationaler Radonaktionsplan 2012 – 2020,» 2011.
- [8] Bundesamt für Gesundheit (BAG), „Radon - Jahresbericht 1995,“ Feb. 1996.
- [9] C. Ruckstuhl, «Radonbelastung in Vitznau. Schlussbericht der Sommer- und Wintermesskampagne 2010/2011,» in NET Monitoring AG, 2011.
- [10] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, «SIA Merkblatt 2023 - Lüftung in Wohnbauten,» 2008.
- [11] Bundesamt für Gesundheit (BAG), „BAG-Empfehlungen: bauliche Massnahmen für Neubauten,“ 29.09.2011.
- [12] EnergieSchweiz, „Planer-KiT für den Architekten - Komfortlüftung für Wohnbauten“.
- [13] EnergieSchweiz, „Komfortlüftungen - Technische Ergänzungen für den Lüftungsplaner“.
- [14] W. Ringer und J. Gräser, „Measurement and Analysis of Radon in Low Energy and Passive Houses in Austria,“ RADPAR WP 6: Assessment of radon control technologies. Austrian Agency for Health and Food Control (AGES), 2011.
- [15] Bundesamt für Gesundheit (BAG), „Radonhandbuch Schweiz“.

Horw, 12. September 2012

Seite 22/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

8. Danksagung

Dieses Projekt wurde durch den Kanton Luzern, Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) als Auftraggeber und durch einem Zusatzbeitrag vom Bundesamt für Gesundheit (BAG) finanziert.

Folgende Personen werden besonders verdankt:

- Dr. Fabio Barazza (BAG) für die Vermittlung der Finanzierung durch das BAG.
- Prof. Urs-Peter Menti (Leiter Zentrum für Integrale Gebäudetechnik ZIG, Hochschule Luzern – T&A) für die Vermittlung des Auftrages.
- Dr. Tjeerd De Neef (Leiter Prüfstelle Gebäudetechnik, Hochschule Luzern – T&A) und Daniel Dyntar (Prüfstelle Gebäudetechnik, Hochschule Luzern – T&A) für die Unterstützung bei den Vergleichsmessungen in der Klimakammer der HLK-Prüfstelle.

Horw, 12. September 2012

Seite 23/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

9. Anhang

Horw, 12. September 2012

Seite 24/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

9.1. Datenblätter Messobjekte

9.1.1. EFH Buttisholz

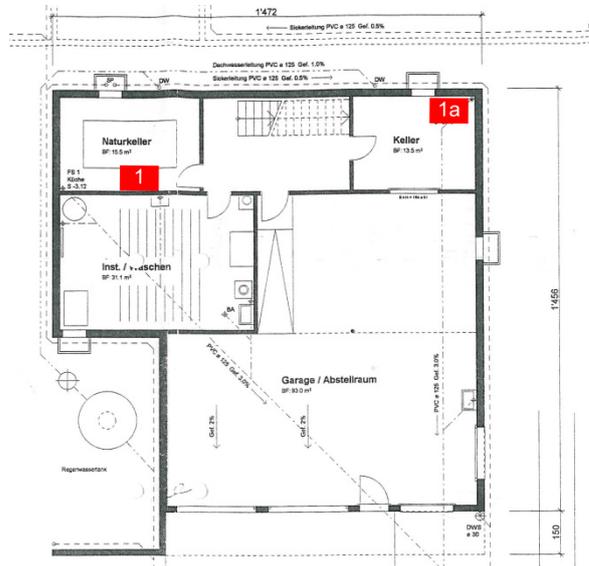
Gebäude			
Geographische Lage	CH-6018 Buttisholz		
Baujahr	2003		
Energiestandard	Minergie-P		
Nutzungsart	<input checked="" type="checkbox"/> EFH <input type="checkbox"/> DEFH <input type="checkbox"/> REFH <input type="checkbox"/> MFH <input type="checkbox"/> Verwaltung		
Gebäudetyp	<input type="checkbox"/> Massivbau <input checked="" type="checkbox"/> Leichtbau (UG Massivbau) <input type="checkbox"/> Mischbau		
Geschosse	Anzahl: 3	Untergeschoss	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
Wohnräume gegen Erdreich	<input type="checkbox"/> ja welche:	<input checked="" type="checkbox"/> nein	
Boden Untergeschoss	<input checked="" type="checkbox"/> Betonplatte <input checked="" type="checkbox"/> Naturkeller (Kiesboden auf Fläche von 5.2 m ²)		
Luftdichtheit n ₅₀	0.30 h ⁻¹		
Luft-Erdwärmetauscher			
Rohrmaterial	Kunststoff, schwarz		
Länge	2 Rohre à 20 m		
Durchmesser	140 mm		
Verlegungstiefe	ca. 2 m unter Bodenniveau		
Innenoberfläche	<input checked="" type="checkbox"/> glatt <input type="checkbox"/> gewellt <input type="checkbox"/> unbekannt		
Stösse	<input type="checkbox"/> ja Anzahl: <input type="checkbox"/> nein, das ganze Rohr ist ein einziges Stück <input checked="" type="checkbox"/> unbekannt		
Lage der Mauerdurchführung	<input checked="" type="checkbox"/> Aussenwand <input type="checkbox"/> Bodenplatte		
Kondensatablauf	<input checked="" type="checkbox"/> vorhanden Lage: Technikraum <input type="checkbox"/> nicht vorhanden <input type="checkbox"/> mit Siphon <input checked="" type="checkbox"/> ohne Siphon		
Aussenluftfassung	Höhe über Boden: 0.9 m Lage: SO-Wand Garage/Abstellraum über Kiesbett		
Lüftungsanlage			
Lage	<input checked="" type="checkbox"/> Untergeschoss <input type="checkbox"/> Erdgeschoss		
Betriebsart	<input type="checkbox"/> einstufig <input checked="" type="checkbox"/> mehrstufig <input type="checkbox"/> manuell		
Aussenluftvolumenstrom	210 m ³ /h (Standard-Wert Minergie-P Antrag)		
Messstellen			
1	Naturkeller	UG	<input checked="" type="checkbox"/> AlphaGUARD <input type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
1a	Luft aus L-EWT	UG	<input type="checkbox"/> AlphaGUARD <input type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
2	Schlafzimmer	1.OG	<input checked="" type="checkbox"/> AlphaGUARD <input type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
3	Wohnzimmer	EG	<input checked="" type="checkbox"/> AlphaGUARD <input type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter

Horw, 12. September 2012

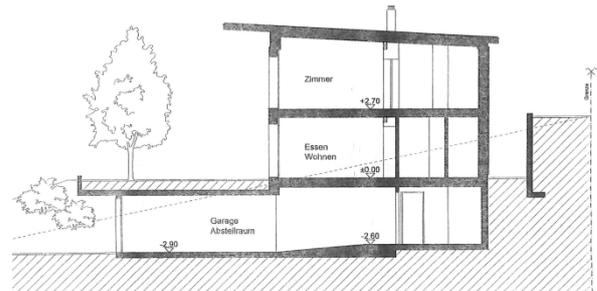
Seite 25/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

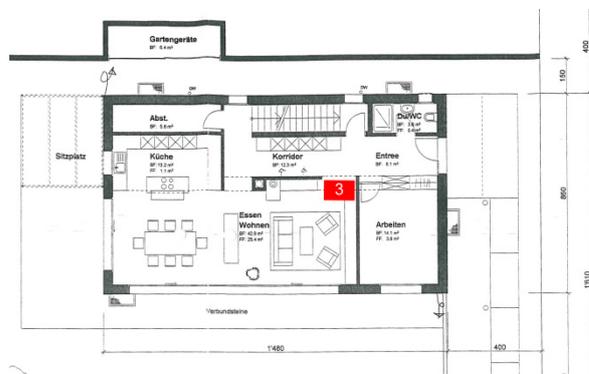
EFH Buttisholz - Grundrisse mit Messstellen



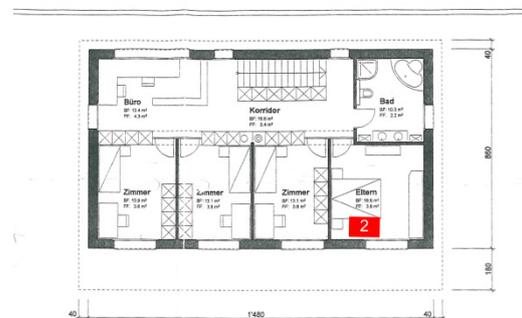
UG



Schnitt



EG



1. OG

Horw, 12. September 2012

Seite 26/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

EFH Buttisholz - Bilder



Aussenluftfassung



Revisionsöffnung und Mauerdurchführung des
Luft-Erdwärmetauschers mit Passivdosimeter



Lüftungsanlage mit Mauerdurchführung (unten
links) und Kondensatablauf (unten rechts)



Naturkeller mit Kiesboden

Horw, 12. September 2012

Seite 27/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

9.1.2. EFH Dagmersellen

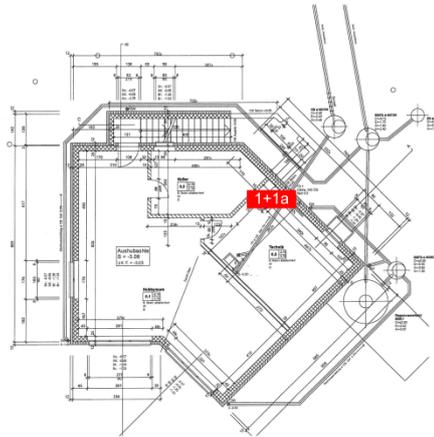
Gebäude					
Geographische Lage	CH-6252 Dagmersellen				
Baujahr	2009				
Energiestandard	Minergie-P				
Nutzungsart	<input checked="" type="checkbox"/> EFH <input type="checkbox"/> DEFH <input type="checkbox"/> REFH <input type="checkbox"/> MFH <input type="checkbox"/> Verwaltung				
Gebäudetyp	<input checked="" type="checkbox"/> Massivbau <input type="checkbox"/> Leichtbau <input type="checkbox"/> Mischbau				
Geschosse	Anzahl: 3		Untergeschoss		<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
Wohnräume gegen Erdreich	<input type="checkbox"/> ja welche:		<input checked="" type="checkbox"/> nein		
Boden Untergeschoss	<input checked="" type="checkbox"/> Betonplatte <input type="checkbox"/> Naturkeller				
Luftdichtheit n_{50}	0.50 h ⁻¹				
Luft-Erdwärmetauscher					
Rohrmaterial	Kunststoff, orange				
Länge	25 m				
Durchmesser	185 mm				
Verlegungstiefe	unbekannt				
Innenoberfläche	<input checked="" type="checkbox"/> glatt <input type="checkbox"/> gewellt <input type="checkbox"/> unbekannt				
Stösse	<input type="checkbox"/> ja Anzahl: <input type="checkbox"/> nein, das ganze Rohr ist ein einziges Stück <input checked="" type="checkbox"/> unbekannt				
Lage der Mauerdurchführung	<input checked="" type="checkbox"/> Aussenwand		<input type="checkbox"/> Bodenplatte		
Kondensatablauf	<input checked="" type="checkbox"/> vorhanden Lage: Technikraum <input type="checkbox"/> nicht vorhanden <input type="checkbox"/> mit Siphon <input checked="" type="checkbox"/> ohne Siphon				
Aussenluftfassung	Höhe über Boden: 1 m		Lage: Aussenwand Abstellraum		
Lüftungsanlage					
Lage	<input checked="" type="checkbox"/> Untergeschoss		<input type="checkbox"/> Erdgeschoss		
Betriebsart	<input type="checkbox"/> einstufig <input checked="" type="checkbox"/> mehrstufig <input type="checkbox"/> manuell				
Aussenluftvolumenstrom	180 m ³ /h (effektiver Wert Minergie-P Antrag)				
Messstellen					
1	Technikraum	UG	<input checked="" type="checkbox"/> AlphaGUARD	<input type="checkbox"/> RadonMapper	<input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
1a	Luft aus L-EWT	UG	<input type="checkbox"/> AlphaGUARD	<input type="checkbox"/> RadonMapper	<input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
2	Büro	EG	<input checked="" type="checkbox"/> AlphaGUARD	<input type="checkbox"/> RadonMapper	<input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
3	Waschküche	1.OG	<input checked="" type="checkbox"/> AlphaGUARD	<input type="checkbox"/> RadonMapper	<input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter

Horw, 12. September 2012

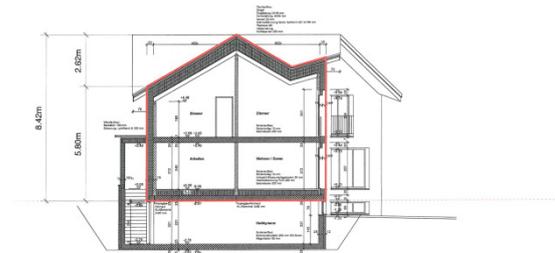
Seite 28/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

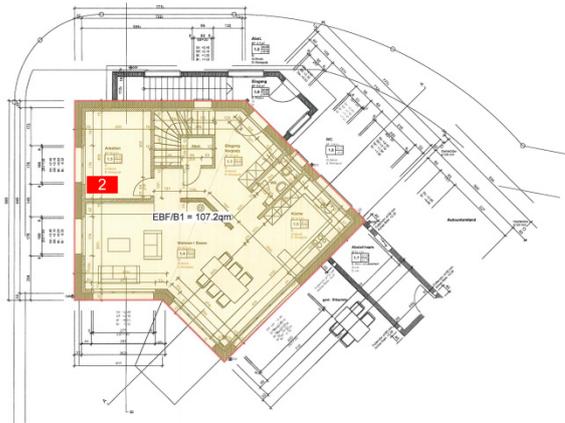
EFH Dagmersellen - Grundrisse mit Messstellen



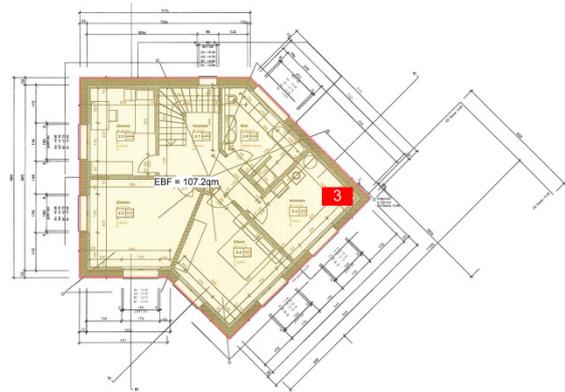
UG



Schnitt



EG



1. OG

Horw, 12. September 2012

Seite 29/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

EFH Dagmersellen - Bilder



Technikraum mit Lüftungsanlage (links) und Revisionskasten des Luft-Erdwärmetauschers (Mitte oben)



Aussenluftfassung (rundes Gitter)



Revisionskasten des Luft-Erdwärmetauschers mit Kondensatablauf auf der Unterseite



Revisionsöffnung und Mauerdurchführung des Luft-Erdwärmetauschers

Horw, 12. September 2012

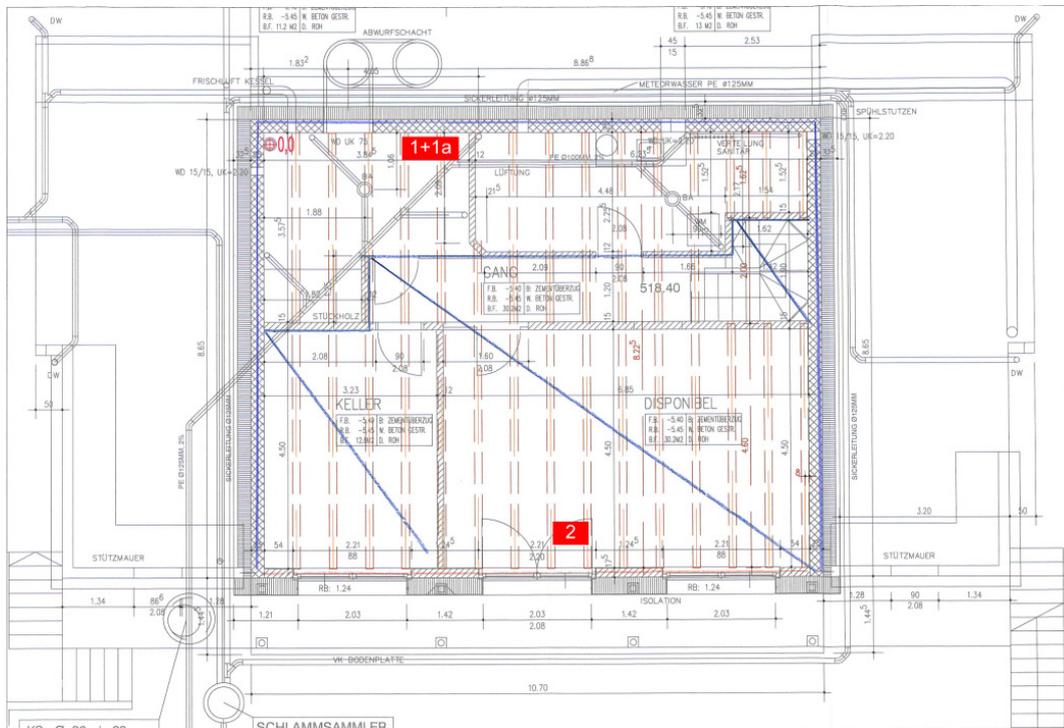
Seite 30/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

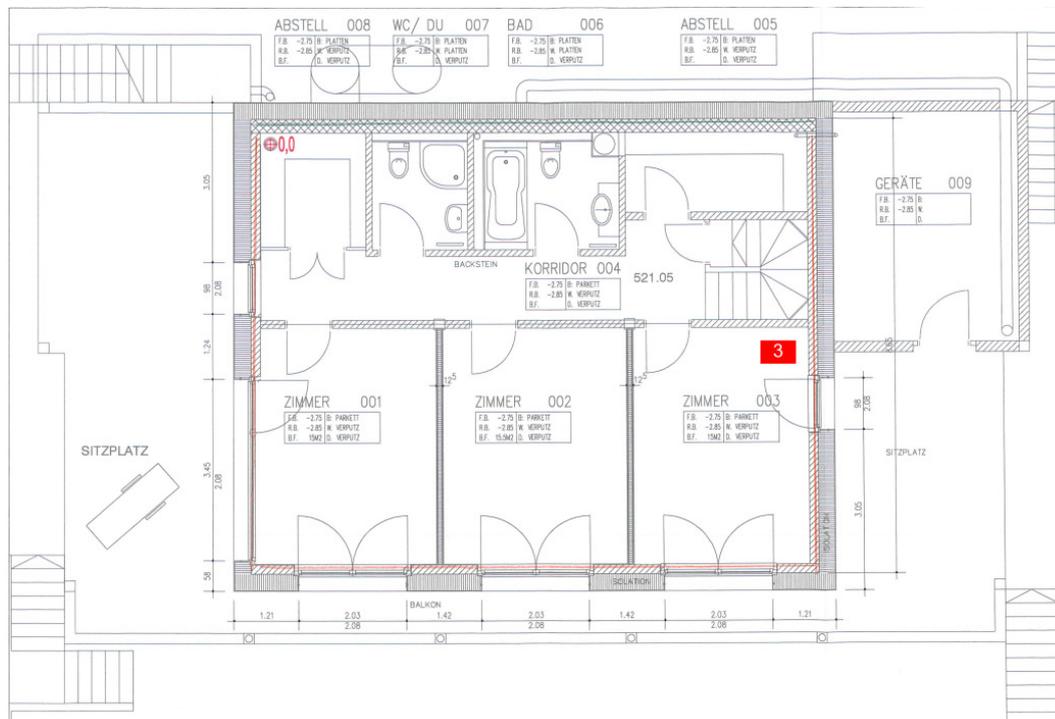
9.1.3. EFH Luzern

Gebäude			
Geographische Lage	CH-6006 Luzern		
Baujahr	2005		
Energiestandard	Minergie-P		
Nutzungsart	<input checked="" type="checkbox"/> EFH <input type="checkbox"/> DEFH <input type="checkbox"/> REFH <input type="checkbox"/> MFH <input type="checkbox"/> Verwaltung		
Gebäudetyp	<input checked="" type="checkbox"/> Massivbau <input type="checkbox"/> Leichtbau <input type="checkbox"/> Mischbau		
Geschosse	Anzahl: 4	Untergeschoss	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
Wohnräume gegen Erdreich	<input type="checkbox"/> ja welche:	<input checked="" type="checkbox"/> nein	
Boden Untergeschoss	<input checked="" type="checkbox"/> Betonplatte <input type="checkbox"/> Naturkeller		
Luftdichtheit n_{50}	0.50 h ⁻¹		
Luft-Erdwärmetauscher			
Rohrmaterial	Kunststoff, schwarz		
Länge	25 m		
Durchmesser	240 mm		
Verlegungstiefe	ca. 0.3 m über Boden UG		
Innenoberfläche	<input type="checkbox"/> glatt <input type="checkbox"/> gewellt <input checked="" type="checkbox"/> unbekannt		
Stösse	<input checked="" type="checkbox"/> ja Anzahl: Rohr in 2 Teile <input type="checkbox"/> nein, das ganze Rohr ist ein einziges Stück <input type="checkbox"/> unbekannt		
Lage der Mauerdurchführung	<input checked="" type="checkbox"/> Aussenwand <input type="checkbox"/> Bodenplatte		
Kondensatablauf	<input checked="" type="checkbox"/> vorhanden Lage: Technikraum <input type="checkbox"/> nicht vorhanden <input type="checkbox"/> mit Siphon <input checked="" type="checkbox"/> ohne Siphon		
Aussenluftfassung	Höhe über Boden: 4.5 m Lage: NE-Fassade		
Lüftungsanlage			
Lage	<input checked="" type="checkbox"/> Untergeschoss <input type="checkbox"/> Erdgeschoss		
Betriebsart	<input type="checkbox"/> einstufig <input checked="" type="checkbox"/> mehrstufig <input type="checkbox"/> manuell		
Aussenluftvolumenstrom	240 m ³ /h (effektiver Wert Minergie-P Antrag)		
Messstellen			
1	Technikraum	UG	<input type="checkbox"/> AlphaGUARD <input checked="" type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
1a	Luft aus L-EWT	UG	<input type="checkbox"/> AlphaGUARD <input type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
2	Bastelraum	UG	<input type="checkbox"/> AlphaGUARD <input checked="" type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
3	Gästezimmer	EG	<input type="checkbox"/> AlphaGUARD <input checked="" type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter

EFH Luzern - Grundrisse mit Messstellen



UG



EG

Horw, 12. September 2012
Seite 32/86
Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

EFH Luzern - Bilder



Aussenluftfassung (rundes Gitter)



Mauerdurchführung des L-EWT und Kondensatablauf



Technikraum mit Lüftungsanlage (Mitte), Mauerdurchführung des Luft-Erdwärmetauschers (unten rechts) und Luftverteilung (oben links)

Horw, 12. September 2012

Seite 33/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

9.1.4. REFH Nebikon

Gebäude					
Geographische Lage	CH-6244 Nebikon				
Baujahr	1999				
Energiestandard	CEPHEUS				
Nutzungsart	<input type="checkbox"/> EFH <input type="checkbox"/> DEFH <input checked="" type="checkbox"/> REFH <input type="checkbox"/> MFH <input type="checkbox"/> Verwaltung				
Gebäudetyp	<input type="checkbox"/> Massivbau <input checked="" type="checkbox"/> Leichtbau (UG Massivbau) <input type="checkbox"/> Mischbau				
Geschosse	Anzahl: 3 Untergeschoss <input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein				
Wohnräume gegen Erdreich	<input type="checkbox"/> ja welche: <input checked="" type="checkbox"/> nein				
Boden Untergeschoss	<input checked="" type="checkbox"/> Betonplatte <input type="checkbox"/> Naturkeller				
Luftdichtheit n_{50}	$\leq 0.60 \text{ h}^{-1}$ (genauer Messwert unbekannt)				
Luft-Erdwärmetauscher					
Rohrmaterial	Kunststoff (PE)				
Länge	> 25 m				
Durchmesser	200 mm				
Verlegungstiefe	ca. 1.7 m				
Innenoberfläche	<input type="checkbox"/> glatt <input type="checkbox"/> gewellt <input checked="" type="checkbox"/> unbekannt				
Stösse	<input type="checkbox"/> ja Anzahl: <input type="checkbox"/> nein, das ganze Rohr ist ein einziges Stück <input checked="" type="checkbox"/> unbekannt				
Lage der Mauerdurchführung	<input checked="" type="checkbox"/> Aussenwand <input type="checkbox"/> Bodenplatte				
Kondensatablauf	<input type="checkbox"/> vorhanden Lage: Technikraum <input checked="" type="checkbox"/> nicht vorhanden <input type="checkbox"/> mit Siphon <input checked="" type="checkbox"/> ohne Siphon				
Aussenluftfassung	Höhe über Boden: 1.6 m Lage: W-Seite				
Lüftungsanlage					
Lage	<input checked="" type="checkbox"/> Untergeschoss <input type="checkbox"/> Erdgeschoss				
Betriebsart	<input type="checkbox"/> einstufig <input checked="" type="checkbox"/> mehrstufig <input type="checkbox"/> manuell				
Aussenluftvolumenstrom	unbekannt				
Messstellen					
1	Technikraum	UG	<input checked="" type="checkbox"/> AlphaGUARD	<input type="checkbox"/> RadonMapper	<input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
1a	Luft aus L-EWT	UG	<input type="checkbox"/> AlphaGUARD	<input type="checkbox"/> RadonMapper	<input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
1b	Keller	UG	<input type="checkbox"/> AlphaGUARD	<input type="checkbox"/> RadonMapper	<input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
2	Wohnzimmer	EG	<input checked="" type="checkbox"/> AlphaGUARD	<input type="checkbox"/> RadonMapper	<input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
3	Schlafzimmer	1.OG	<input checked="" type="checkbox"/> AlphaGUARD	<input type="checkbox"/> RadonMapper	<input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter

Horw, 12. September 2012

Seite 35/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

REFH Nebikon - Bilder



Aussenluftfassung



Lüftungsanlage und Luftverteilung



Mauerdurchführung des L-EWT



Technikraum mit Lüftungsanlage

Horw, 12. September 2012

Seite 36/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

9.1.5. EFH Ohmstal

Gebäude			
Geographische Lage	CH-6143 Ohmstal		
Baujahr	2009		
Energiestandard	Minergie-P		
Nutzungsart	<input checked="" type="checkbox"/> EFH <input type="checkbox"/> DEFH <input type="checkbox"/> REFH <input type="checkbox"/> MFH <input type="checkbox"/> Verwaltung		
Gebäudetyp	<input type="checkbox"/> Massivbau <input type="checkbox"/> Leichtbau <input checked="" type="checkbox"/> Mischbau		
Geschosse	Anzahl: 4 Untergeschoss <input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein		
Wohnräume gegen Erdreich	<input type="checkbox"/> ja welche: <input checked="" type="checkbox"/> nein		
Boden Untergeschoss	<input checked="" type="checkbox"/> Betonplatte <input type="checkbox"/> Naturkeller		
Luftdichtheit n_{50}	0.50 h ⁻¹		
Luft-Erdwärmetauscher			
Rohrmaterial	Kunststoff		
Länge	ca. 7 m		
Durchmesser	ca. 180-200 mm		
Verlegungstiefe	ca. 1.5 m		
Innenoberfläche	<input checked="" type="checkbox"/> glatt <input type="checkbox"/> gewellt <input type="checkbox"/> unbekannt		
Stösse	<input type="checkbox"/> ja Anzahl: <input checked="" type="checkbox"/> nein, das ganze Rohr ist ein einziges Stück <input type="checkbox"/> unbekannt		
Lage der Mauerdurchführung	<input checked="" type="checkbox"/> Aussenwand <input type="checkbox"/> Bodenplatte		
Kondensatablauf	<input checked="" type="checkbox"/> vorhanden Lage: Technikraum <input type="checkbox"/> nicht vorhanden <input checked="" type="checkbox"/> mit Siphon <input type="checkbox"/> ohne Siphon		
Aussenluftfassung	Höhe über Boden: 1.2 m Lage: NO-Seite, über Kiesbett		
Lüftungsanlage			
Lage	<input checked="" type="checkbox"/> Untergeschoss <input type="checkbox"/> Erdgeschoss		
Betriebsart	<input type="checkbox"/> einstufig <input checked="" type="checkbox"/> mehrstufig <input type="checkbox"/> manuell		
Aussenluftvolumenstrom	180 m ³ /h (Standard-Wert Minergie-P Antrag)		
Messstellen			
1	Wohnzimmer	1.OG	<input checked="" type="checkbox"/> AlphaGUARD <input type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
2	Gästezimmer	EG	<input checked="" type="checkbox"/> AlphaGUARD <input type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
3	Technikraum	UG	<input checked="" type="checkbox"/> AlphaGUARD <input type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter

EFH Ohmstal - Bilder



Aussenluftfassung



Luftverteilung und Filterkasten



Integralsystem mit Lüftungsgerät und Wärmepumpe (Mitte). Revisionskasten des Luft-Erdwärmetauschers und Kondensatablauf (oben rechts). Der Siphon befindet sich hinter dem Integralsystem



Revisionskasten des Luft-Erdwärmetauschers mit Kondensatablauf auf der Unterseite

Horw, 12. September 2012

Seite 39/86

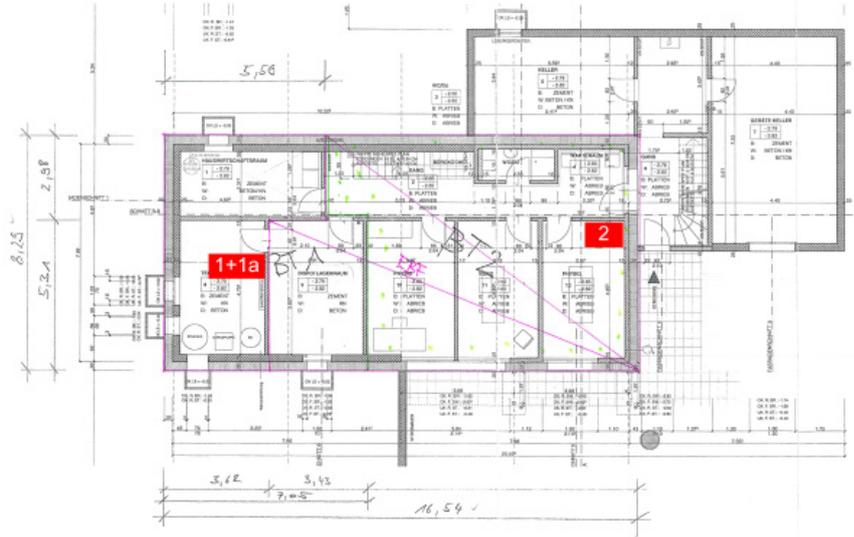
Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

9.1.6. EFH Rickenbach

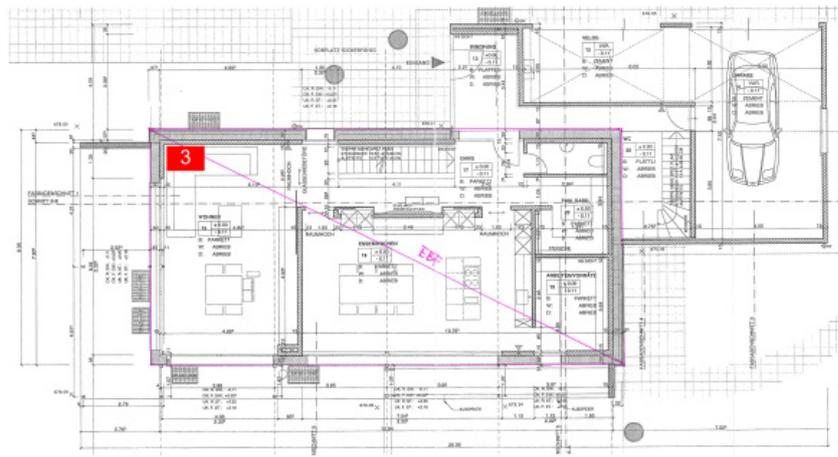
Gebäude			
Geographische Lage	CH-6221 Rickenbach		
Baujahr	2008		
Energiestandard	Minergie-P		
Nutzungsart	<input checked="" type="checkbox"/> EFH <input type="checkbox"/> DEFH <input type="checkbox"/> REFH <input type="checkbox"/> MFH <input type="checkbox"/> Verwaltung		
Gebäudetyp	<input type="checkbox"/> Massivbau <input type="checkbox"/> Leichtbau <input checked="" type="checkbox"/> Mischbau		
Geschosse	Anzahl: 4	Untergeschoss	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
Wohnräume gegen Erdreich	<input type="checkbox"/> ja welche:	<input checked="" type="checkbox"/> nein	
Boden Untergeschoss	<input checked="" type="checkbox"/> Betonplatte <input type="checkbox"/> Naturkeller		
Luftdichtheit n_{50}	0.40 h ⁻¹		
Luft-Erdwärmetauscher			
Rohrmaterial	Kunststoff, grün		
Länge	2 Rohre, Rohrlänge total 66 m (gemäss Minergie-P Antrag)		
Durchmesser	180 mm		
Verlegungstiefe	ca. 2 m		
Innenoberfläche	<input checked="" type="checkbox"/> glatt <input type="checkbox"/> gewellt <input type="checkbox"/> unbekannt		
Stösse	<input type="checkbox"/> ja Anzahl: <input type="checkbox"/> nein, das ganze Rohr ist ein einziges Stück <input checked="" type="checkbox"/> unbekannt		
Lage der Mauerdurchführung	<input checked="" type="checkbox"/> Aussenwand <input type="checkbox"/> Bodenplatte		
Kondensatablauf	<input checked="" type="checkbox"/> vorhanden Lage: Technikraum <input type="checkbox"/> nicht vorhanden <input checked="" type="checkbox"/> mit Siphon <input type="checkbox"/> ohne Siphon		
Aussenluftfassung	Höhe über Boden: 1.3 m Lage: Stützmauer Garten Südseite		
Lüftungsanlage			
Lage	<input checked="" type="checkbox"/> Untergeschoss <input type="checkbox"/> Erdgeschoss		
Betriebsart	<input type="checkbox"/> einstufig <input checked="" type="checkbox"/> mehrstufig <input type="checkbox"/> manuell		
Aussenluftvolumenstrom	330 m ³ /h (Standard-Wert Minergie-P Antrag)		
Messstellen			
1	Technikraum	UG	<input checked="" type="checkbox"/> AlphaGUARD <input type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
1a	Luft aus L-EWT	UG	<input type="checkbox"/> AlphaGUARD <input type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
2	Praxisraum	UG	<input checked="" type="checkbox"/> AlphaGUARD <input type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
3	Wohnzimmer	EG	<input checked="" type="checkbox"/> AlphaGUARD <input type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter

Bemerkung: Revisionskasten des Luft-Erdwärmetauschers undicht (es wird Luft aus dem Technikraum angesaugt).

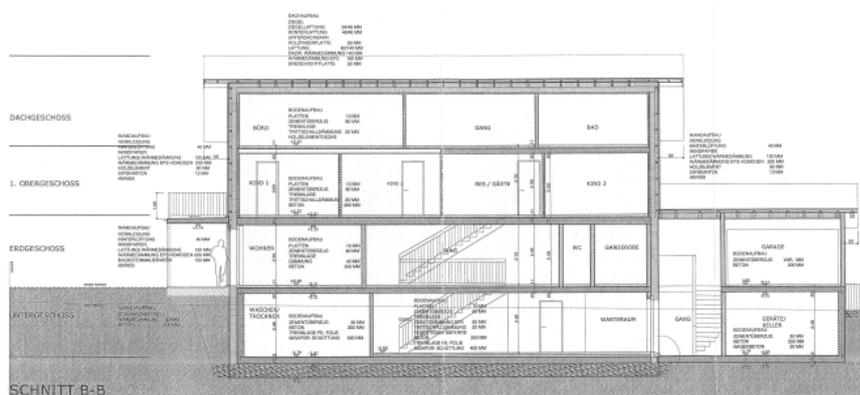
EFH Rickenbach - Grundrisse mit Messstellen



UG



EG



Schnitt

Horw, 12. September 2012
Seite 41/86
Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

EFH Rickenbach - Bilder



Aussenluftfassungen



Revisionsöffnung und Mauerdurchführung des Luft-Erdwärmetauschers (2 Rohre)



Lüftungsanlage mit Revisionskasten des Luft-Erdwärmetauschers (rechts) und Kondensatablauf mit Siphon(unten)



Detailansicht Kondensatablauf und Siphon

Horw, 12. September 2012

Seite 42/86

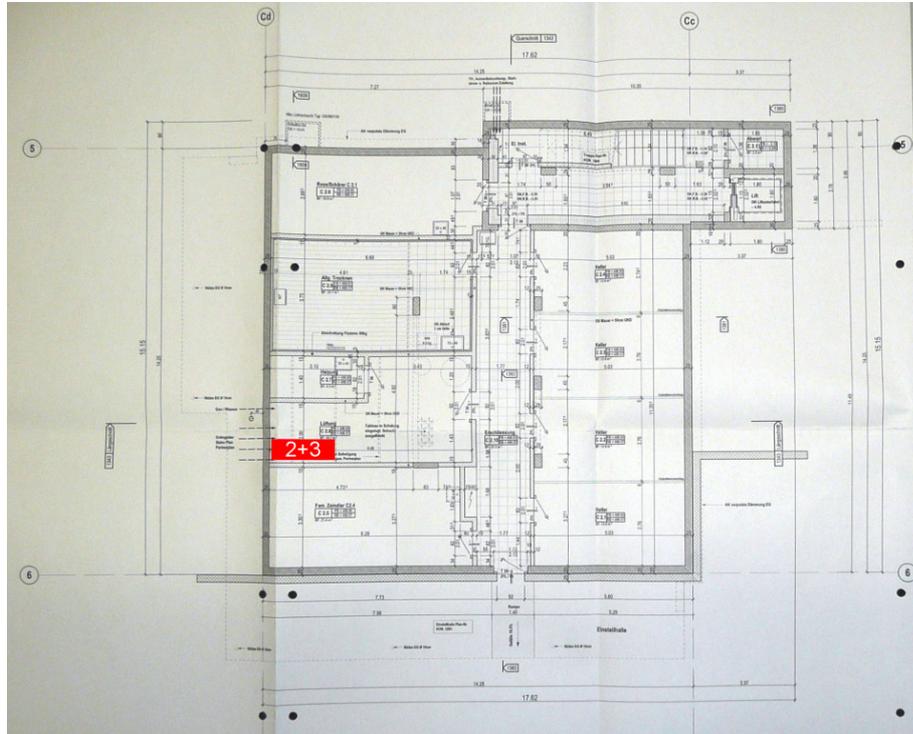
Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

9.1.7. MFH Rothenburg 1

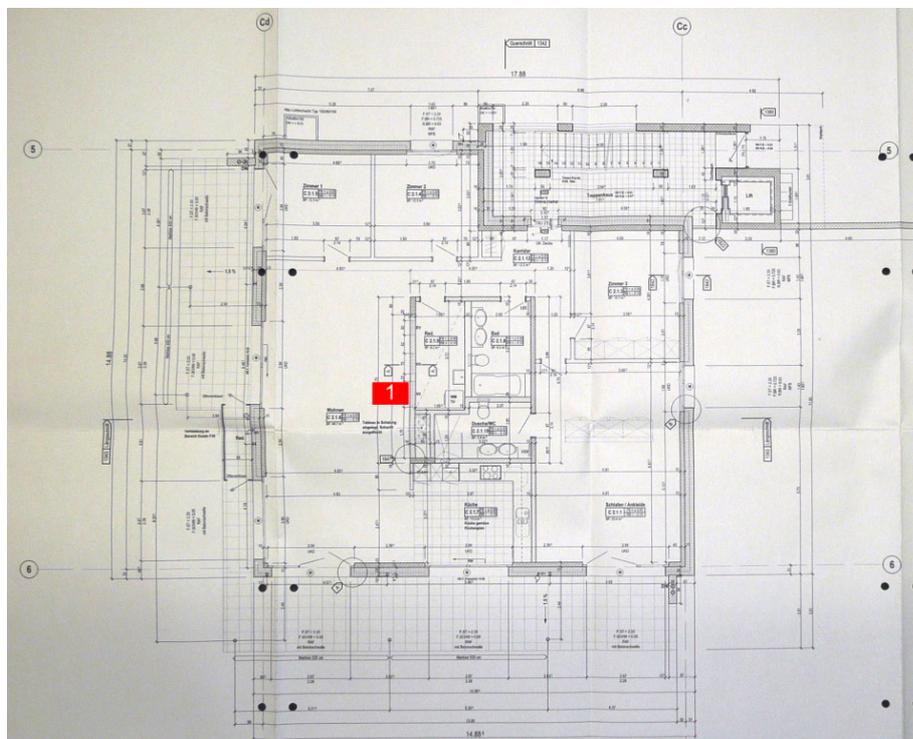
Gebäude			
Geographische Lage	CH-6023 Rothenburg		
Baujahr	2004		
Energiestandard	Minergie-P		
Nutzungsart	<input type="checkbox"/> EFH <input type="checkbox"/> DEFH <input type="checkbox"/> REFH <input checked="" type="checkbox"/> MFH <input type="checkbox"/> Verwaltung		
Gebäudetyp	<input checked="" type="checkbox"/> Massivbau <input type="checkbox"/> Leichtbau <input type="checkbox"/> Mischbau		
Geschosse	Anzahl: 4 Untergeschoss <input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein		
Wohnräume gegen Erdreich	<input type="checkbox"/> ja welche: <input checked="" type="checkbox"/> nein		
Boden Untergeschoss	<input checked="" type="checkbox"/> Betonplatte <input type="checkbox"/> Naturkeller		
Luftdichtheit n_{50}	0.25 h ⁻¹		
Luft-Erdwärmetauscher			
Rohrmaterial	Kunststoff		
Länge	4 Rohre à ca. 35 m		
Durchmesser	160 mm		
Verlegungstiefe	unbekannt		
Innenoberfläche	<input type="checkbox"/> glatt <input type="checkbox"/> gewellt <input checked="" type="checkbox"/> unbekannt		
Stösse	<input type="checkbox"/> ja Anzahl: <input checked="" type="checkbox"/> nein, das ganze Rohr ist ein einziges Stück <input type="checkbox"/> unbekannt		
Lage der Mauerdurchführung	<input checked="" type="checkbox"/> Aussenwand <input type="checkbox"/> Bodenplatte		
Kondensatablauf	<input checked="" type="checkbox"/> vorhanden Lage: Technikraum <input type="checkbox"/> nicht vorhanden <input type="checkbox"/> mit Siphon <input checked="" type="checkbox"/> ohne Siphon		
Aussenluftfassung	Höhe über Boden: > 1.5 m Lage: im nebenstehenden „Ökonomiegebäude“		
Lüftungsanlage			
Lage	<input checked="" type="checkbox"/> Untergeschoss <input type="checkbox"/> Erdgeschoss		
Betriebsart	<input type="checkbox"/> einstufig <input checked="" type="checkbox"/> mehrstufig <input type="checkbox"/> manuell		
Aussenluftvolumenstrom	840 m ³ /h (effektiver Wert Minergie-P Antrag)		
Messstellen			
1	Wohnzimmer	EG	<input type="checkbox"/> AlphaGUARD <input checked="" type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
2	Technikraum	UG	<input type="checkbox"/> AlphaGUARD <input checked="" type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
3	Luft aus L-EWT	UG	<input type="checkbox"/> AlphaGUARD <input checked="" type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter

Horw, 12. September 2012
Seite 43/86
Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

MFH Rothenburg 1 - Grundrisse mit Messstellen



UG



EG

Horw, 12. September 2012

Seite 44/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

MFH Rothenburg 1 - Bilder



Lüftungsanlage



Messung der Radonkonzentration in der Luft aus dem L-EWT im Lüftungsgerät



Revisionskasten des Luft-Erdwärmetauschers und Kondensatablauf (blaues Rohr)



Kondensatablauf

Horw, 12. September 2012

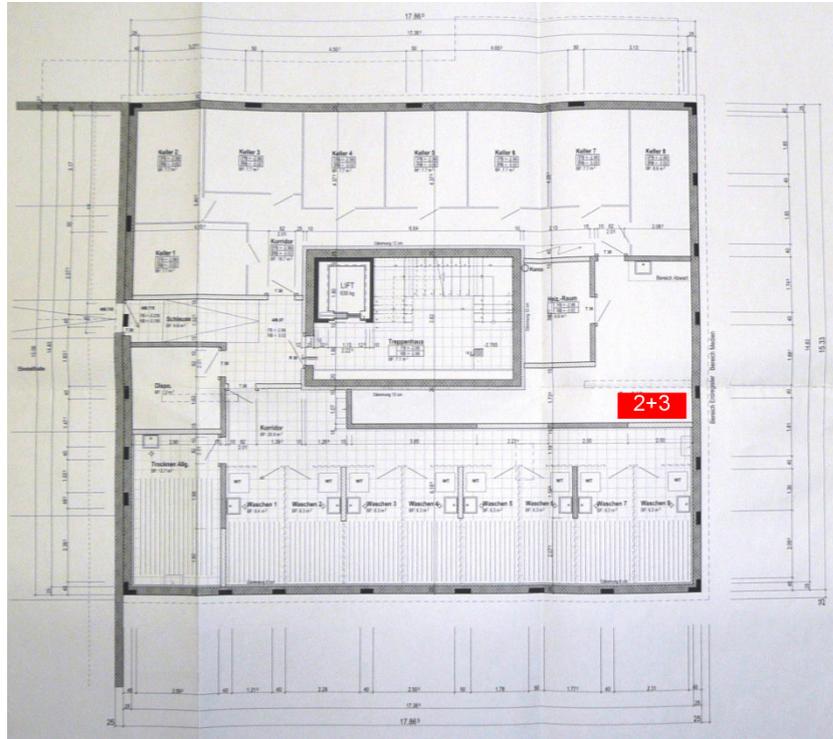
Seite 45/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

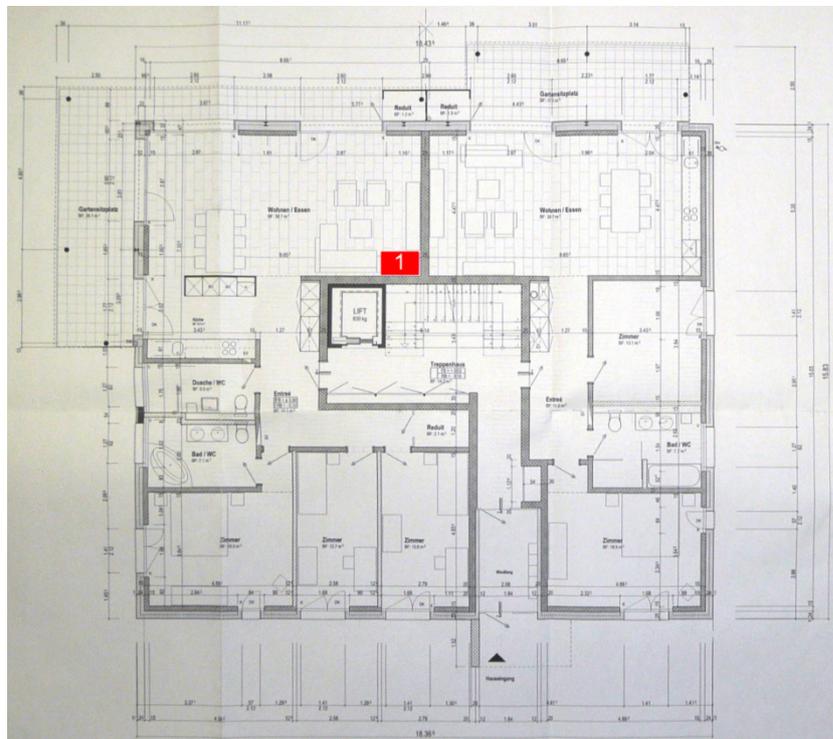
9.1.8. MFH Rothenburg 2

Gebäude			
Geographische Lage	CH-6023 Rothenburg		
Baujahr	2004		
Energiestandard	Minergie-P		
Nutzungsart	<input type="checkbox"/> EFH <input type="checkbox"/> DEFH <input type="checkbox"/> REFH <input checked="" type="checkbox"/> MFH <input type="checkbox"/> Verwaltung		
Gebäudetyp	<input checked="" type="checkbox"/> Massivbau <input type="checkbox"/> Leichtbau <input type="checkbox"/> Mischbau		
Geschosse	Anzahl: 4 Untergeschoss <input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein		
Wohnräume gegen Erdreich	<input type="checkbox"/> ja welche: <input checked="" type="checkbox"/> nein		
Boden Untergeschoss	<input checked="" type="checkbox"/> Betonplatte <input type="checkbox"/> Naturkeller		
Luftdichtheit n_{50}	0.29 h ⁻¹		
Luft-Erdwärmetauscher			
Rohrmaterial	Kunststoff		
Länge	4 Rohre à ca. 35 m		
Durchmesser	160 mm		
Verlegungstiefe	unbekannt		
Innenoberfläche	<input type="checkbox"/> glatt <input type="checkbox"/> gewellt <input checked="" type="checkbox"/> unbekannt		
Stösse	<input type="checkbox"/> ja Anzahl: <input checked="" type="checkbox"/> nein, das ganze Rohr ist ein einziges Stück <input type="checkbox"/> unbekannt		
Lage der Mauerdurchführung	<input checked="" type="checkbox"/> Aussenwand <input type="checkbox"/> Bodenplatte		
Kondensatablauf	<input checked="" type="checkbox"/> vorhanden Lage: Technikraum <input type="checkbox"/> nicht vorhanden <input type="checkbox"/> mit Siphon <input checked="" type="checkbox"/> ohne Siphon		
Aussenluftfassung	Höhe über Boden: > 1.5 m Lage: im nebenstehenden „Ökonomiegebäude“		
Lüftungsanlage			
Lage	<input checked="" type="checkbox"/> Untergeschoss <input type="checkbox"/> Erdgeschoss		
Betriebsart	<input type="checkbox"/> einstufig <input checked="" type="checkbox"/> mehrstufig <input type="checkbox"/> manuell		
Aussenluftvolumenstrom	980 m ³ /h (effektiver Wert Minergie-P Antrag)		
Messstellen			
1	Wohnzimmer	EG	<input checked="" type="checkbox"/> AlphaGUARD <input type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
2	Technikraum	UG	<input checked="" type="checkbox"/> AlphaGUARD <input type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
3	Luft aus L-EWT	UG	<input checked="" type="checkbox"/> AlphaGUARD <input type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter

MFH Rothenburg 2 - Grundrisse mit Messstellen



UG



EG

Horw, 12. September 2012

Seite 47/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

MFH Rothenburg 2 - Bilder



Technikraum mit Lüftungsanlage



Revisionskasten des Luft-Erdwärmetauschers und Kondensatablauf-Öffnung (rechts)



Revisionsöffnung des Luft-Erdwärmetauschers und L-EWT-Rohr



Messung der Radonkonzentration in der Luft aus dem L-EWT im Revisionskasten mittels Alpha-GUARD Radonmonitor und Passivdosimeter

Horw, 12. September 2012

Seite 48/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

9.1.9. EFH St. Erhard

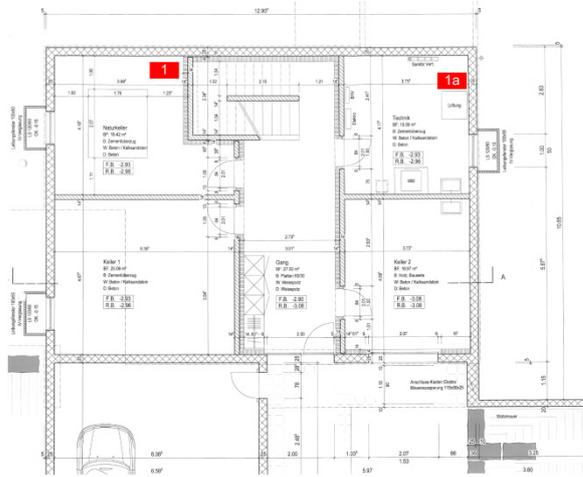
Gebäude			
Geographische Lage	CH-6212 St. Erhard		
Baujahr	2009		
Energiestandard	Minergie-P		
Nutzungsart	<input checked="" type="checkbox"/> EFH <input type="checkbox"/> DEFH <input type="checkbox"/> REFH <input type="checkbox"/> MFH <input type="checkbox"/> Verwaltung		
Gebäudetyp	<input type="checkbox"/> Massivbau <input checked="" type="checkbox"/> Leichtbau (UG Massivbau) <input type="checkbox"/> Mischbau		
Geschosse	Anzahl: 3	Untergeschoss	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
Wohnräume gegen Erdreich	<input type="checkbox"/> ja welche:	<input checked="" type="checkbox"/> nein	
Boden Untergeschoss	<input checked="" type="checkbox"/> Betonplatte <input checked="" type="checkbox"/> Naturkeller		
Luftdichtheit n_{50}	0.40 h ⁻¹		
Luft-Erdwärmetauscher			
Rohrmaterial	Kunststoff (PE)		
Länge	Batterie von 3 Rohren, Totallänge ca. 30 m		
Durchmesser	200 mm		
Verlegungstiefe	1.2 m		
Innenoberfläche	<input checked="" type="checkbox"/> glatt <input type="checkbox"/> gewellt <input type="checkbox"/> unbekannt		
Stösse	<input checked="" type="checkbox"/> ja Anzahl: unbekannt <input type="checkbox"/> nein, das ganze Rohr ist ein einziges Stück <input type="checkbox"/> unbekannt		
Lage der Mauerdurchführung	<input checked="" type="checkbox"/> Aussenwand <input type="checkbox"/> Bodenplatte		
Kondensatablauf	<input checked="" type="checkbox"/> vorhanden Lage: Technikraum <input type="checkbox"/> nicht vorhanden <input checked="" type="checkbox"/> mit Siphon <input type="checkbox"/> ohne Siphon		
Aussenluftfassung	Höhe über Boden: 2 m Lage: SO-Seite, rechts vom Hauseingang		
Lüftungsanlage			
Lage	<input checked="" type="checkbox"/> Untergeschoss <input type="checkbox"/> Erdgeschoss		
Betriebsart	<input type="checkbox"/> einstufig <input checked="" type="checkbox"/> mehrstufig <input type="checkbox"/> manuell		
Aussenluftvolumenstrom	180 m ³ /h (Standard-Wert Minergie-P Antrag)		
Messstellen			
1	Keller mit Lochziegelboden	UG	<input type="checkbox"/> AlphaGUARD <input checked="" type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
1a	Technikraum	UG	<input type="checkbox"/> AlphaGUARD <input type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
2	Wohnzimmer	EG	<input type="checkbox"/> AlphaGUARD <input checked="" type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
3	Büro	1.OG	<input type="checkbox"/> AlphaGUARD <input checked="" type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter

Horw, 12. September 2012

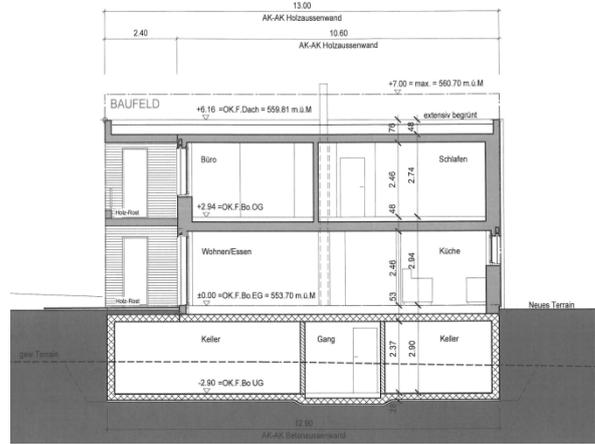
Seite 49/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

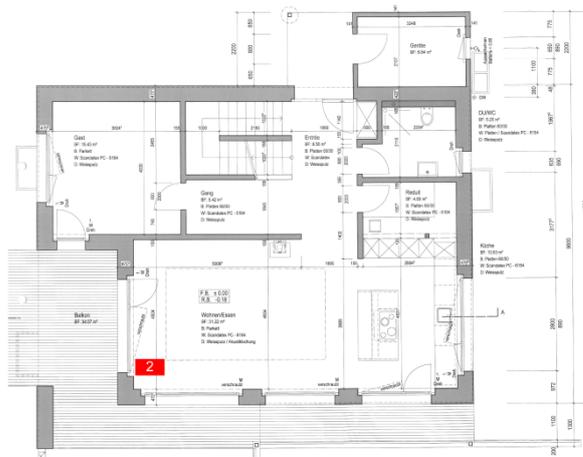
EFH St. Erhard - Grundrisse mit Messstellen



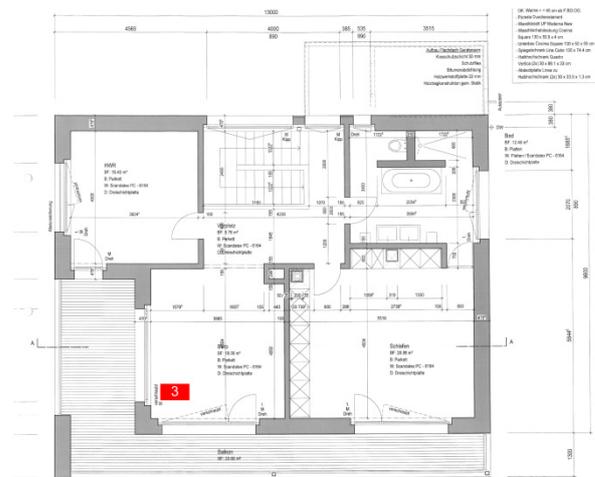
UG



Schnitt



EG



1. OG

Horw, 12. September 2012

Seite 50/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

EFH St. Erhard - Bilder



Lüftungsanlage mit Mauerdurchführung des Luft-Erdwärmetauschers und Kondensatablauf (links)



Detailansicht des Siphons unter dem Lüftungsgerät



Aussenluftfassung



Naturkeller mit Hochlochziegelboden

Horw, 12. September 2012

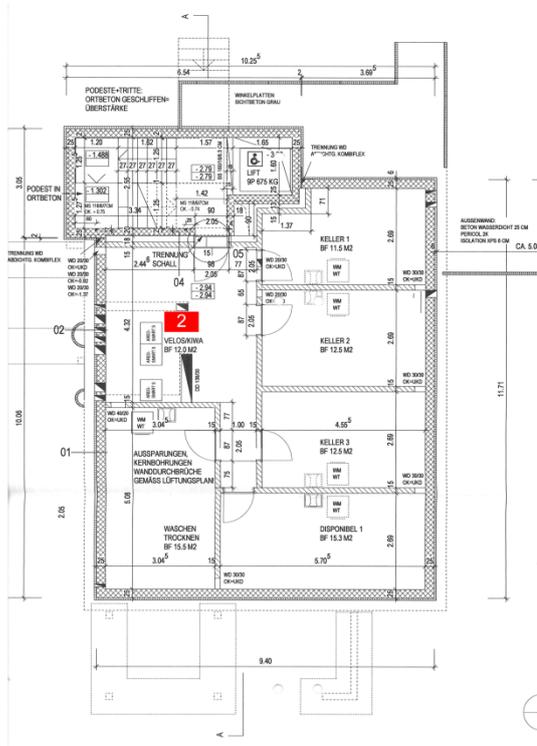
Seite 51/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

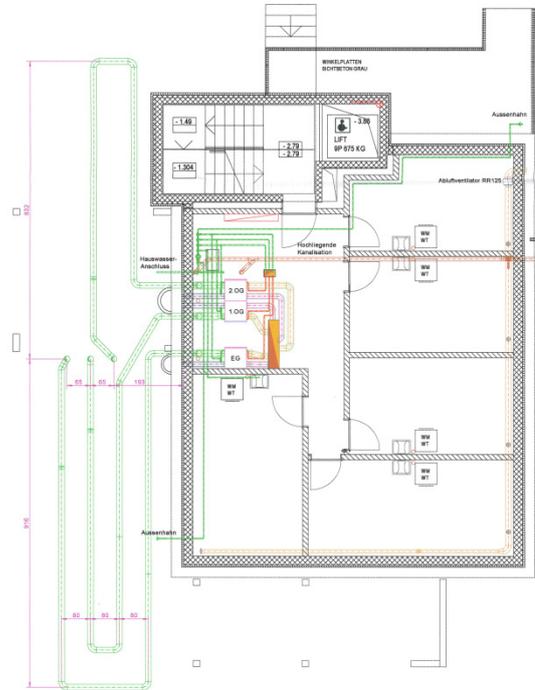
9.1.10. MFH Willisau

Gebäude			
Geographische Lage	CH-6130 Willisau		
Baujahr	2008		
Energiestandard	Minergie-P		
Nutzungsart	<input type="checkbox"/> EFH <input type="checkbox"/> DEFH <input type="checkbox"/> REFH <input checked="" type="checkbox"/> MFH <input type="checkbox"/> Verwaltung		
Gebäudetyp	<input checked="" type="checkbox"/> Massivbau <input type="checkbox"/> Leichtbau <input type="checkbox"/> Mischbau		
Geschosse	Anzahl: 4 Untergeschoss <input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein		
Wohnräume gegen Erdreich	<input type="checkbox"/> ja welche: <input checked="" type="checkbox"/> nein		
Boden Untergeschoss	<input checked="" type="checkbox"/> Betonplatte <input type="checkbox"/> Naturkeller		
Luftdichtheit n_{50}	0.30 h ⁻¹		
Luft-Erdwärmetauscher			
Rohrmaterial	Kunststoff		
Länge	3 Rohren à ca. 18 m (1 Rohr pro Lüftungsgerät/Wohnung)		
Durchmesser	160 mm		
Verlegungstiefe	unbekannt		
Innenoberfläche	<input type="checkbox"/> glatt <input type="checkbox"/> gewellt <input checked="" type="checkbox"/> unbekannt		
Stösse	<input type="checkbox"/> ja Anzahl: <input type="checkbox"/> nein, das ganze Rohr ist ein einziges Stück <input checked="" type="checkbox"/> unbekannt		
Lage der Mauerdurchführung	<input checked="" type="checkbox"/> Aussenwand <input type="checkbox"/> Bodenplatte		
Kondensatablauf	<input checked="" type="checkbox"/> vorhanden Lage: Technikraum <input type="checkbox"/> nicht vorhanden <input type="checkbox"/> mit Siphon <input checked="" type="checkbox"/> ohne Siphon		
Aussenluftfassung	Höhe über Boden: 0.8 m Lage: Garten W-Seite, über Kiesbett		
Lüftungsanlage			
Lage	<input checked="" type="checkbox"/> Untergeschoss <input type="checkbox"/> Erdgeschoss		
Betriebsart	<input type="checkbox"/> einstufig <input checked="" type="checkbox"/> mehrstufig <input type="checkbox"/> manuell		
Aussenluftvolumenstrom	270 m ³ /h (Standard-Wert Minergie-P Antrag)		
Messstellen			
1	Wohnzimmer	EG	<input type="checkbox"/> AlphaGUARD <input checked="" type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
2	Technikraum	UG	<input type="checkbox"/> AlphaGUARD <input checked="" type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter

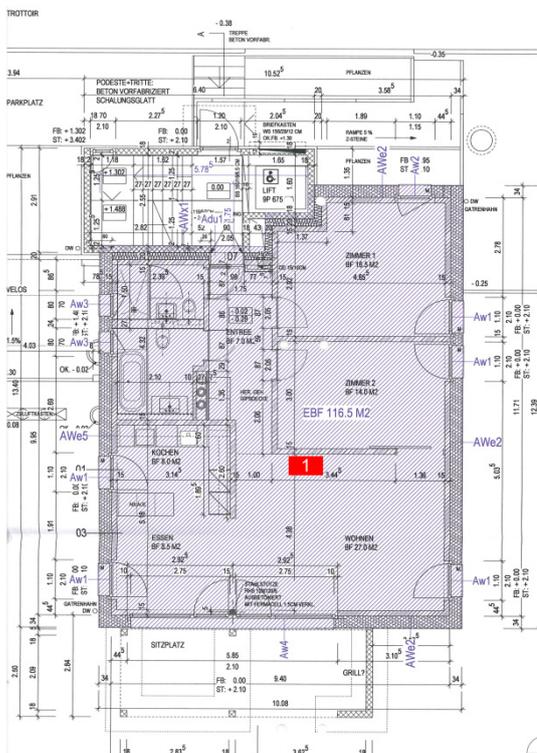
MFH Willisau - Grundrisse mit Messstellen



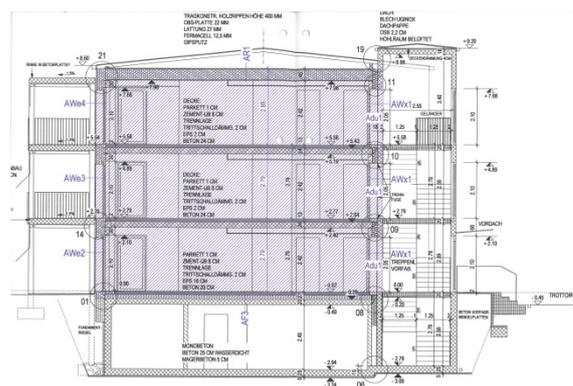
UG



Plan Luft-Erdwärmetauscher



EG



Schnitt

Horw, 12. September 2012

Seite 53/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

MFH Willisau - Bilder



Aussenluftfassungen mit Filterkasten



Technikraum mit den 3 Lüftungsanlagen



Mauerdurchführung der Luft-Erdwärmetauscher



Detailansicht Kondensatablauf-Öffnung auf der Unterseite des Luft-Erdwärmetauschers

Horw, 12. September 2012

Seite 54/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

9.1.11. DEFH Kriens

Gebäude			
Geographische Lage	CH-6010 Kriens		
Baujahr	1999		
Energiestandard	Passivhaus (nicht zertifiziert)		
Nutzungsart	<input type="checkbox"/> EFH <input checked="" type="checkbox"/> DEFH <input type="checkbox"/> REFH <input type="checkbox"/> MFH <input type="checkbox"/> Verwaltung		
Gebäudetyp	<input type="checkbox"/> Massivbau <input checked="" type="checkbox"/> Leichtbau (UG Massivbau) <input type="checkbox"/> Mischbau		
Geschosse	Anzahl: 4 Untergeschoss <input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein		
Wohnräume gegen Erdreich	<input type="checkbox"/> ja welche: <input checked="" type="checkbox"/> nein		
Boden Untergeschoss	<input checked="" type="checkbox"/> Betonplatte <input type="checkbox"/> Naturkeller		
Luftdichtheit n ₅₀	Vermutlich ≤ 0.60 h ⁻¹ (genauer Messwert unbekannt)		
Luft-Erdwärmetauscher			
Rohrmaterial	Kunststoff		
Länge	unbekannt		
Durchmesser	240 mm		
Verlegungstiefe	ca. 2 m		
Innenoberfläche	<input type="checkbox"/> glatt <input type="checkbox"/> gewellt <input checked="" type="checkbox"/> unbekannt		
Stösse	<input type="checkbox"/> ja Anzahl: <input type="checkbox"/> nein, das ganze Rohr ist ein einziges Stück <input checked="" type="checkbox"/> unbekannt		
Lage der Mauerdurchführung	<input checked="" type="checkbox"/> Aussenwand <input type="checkbox"/> Bodenplatte		
Kondensatablauf	<input checked="" type="checkbox"/> vorhanden Lage: Abstellraum neben Technikraum <input type="checkbox"/> nicht vorhanden <input type="checkbox"/> mit Siphon <input checked="" type="checkbox"/> ohne Siphon		
Aussenluftfassung	Höhe über Boden: 0.5 m unter Terrain Lage: im Schacht an der Südseite		
Lüftungsanlage			
Lage	<input checked="" type="checkbox"/> Untergeschoss <input type="checkbox"/> Erdgeschoss		
Betriebsart	<input type="checkbox"/> einstufig <input checked="" type="checkbox"/> mehrstufig <input type="checkbox"/> manuell		
Aussenluftvolumenstrom	unbekannt		
Messstellen			
1	Technikraum	UG	<input type="checkbox"/> AlphaGUARD <input checked="" type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
2	Wohnzimmer	EG	<input type="checkbox"/> AlphaGUARD <input checked="" type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
3	Büro	2.OG	<input type="checkbox"/> AlphaGUARD <input checked="" type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter

Horw, 12. September 2012

Seite 55/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

DEFH Kriens - Grundrisse mit Messstellen

Gebäudepläne nicht vorhanden

DEFH Kriens - Bilder



Lüftungsanlage



Mauerdurchführung des L-EWT mit Kondensatablauf auf der Unterseite (dünnes Rohr)



Aussenluftfassung



Rohrende des Kondensatablaufs (dünnes Rohr links). Der Siphon bietet in diesem Fall keinen Schutz gegen Radon

Horw, 12. September 2012

Seite 56/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

9.1.12. EFH Malters 1

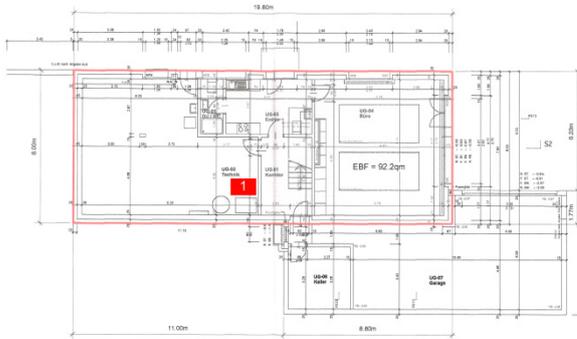
Gebäude			
Geographische Lage	CH-6102 Malters		
Baujahr	2009		
Energiestandard	Minergie-P		
Nutzungsart	<input checked="" type="checkbox"/> EFH <input type="checkbox"/> DEFH <input type="checkbox"/> REFH <input type="checkbox"/> MFH <input type="checkbox"/> Verwaltung		
Gebäudetyp	<input type="checkbox"/> Massivbau <input type="checkbox"/> Leichtbau <input checked="" type="checkbox"/> Mischbau		
Geschosse	Anzahl: 3 Untergeschoss <input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein		
Wohnräume gegen Erdreich	<input type="checkbox"/> ja welche: <input checked="" type="checkbox"/> nein		
Boden Untergeschoss	<input checked="" type="checkbox"/> Betonplatte <input type="checkbox"/> Naturkeller		
Luftdichtheit n_{50}	0.30 h ⁻¹		
Luft-Erdwärmetauscher			
Rohrmaterial	unbekannt		
Länge	55 m		
Durchmesser	180 mm		
Verlegungstiefe	unbekannt		
Innenoberfläche	<input type="checkbox"/> glatt <input type="checkbox"/> gewellt <input checked="" type="checkbox"/> unbekannt		
Stösse	<input type="checkbox"/> ja Anzahl: <input type="checkbox"/> nein, das ganze Rohr ist ein einziges Stück <input checked="" type="checkbox"/> unbekannt		
Lage der Mauerdurchführung	<input checked="" type="checkbox"/> Aussenwand <input type="checkbox"/> Bodenplatte		
Kondensatablauf	<input checked="" type="checkbox"/> vorhanden Lage: Technikraum <input type="checkbox"/> nicht vorhanden <input type="checkbox"/> mit Siphon <input checked="" type="checkbox"/> ohne Siphon		
Aussenluftfassung	Höhe über Boden: 1 m Lage: Stützmauer Südseite		
Lüftungsanlage			
Lage	<input checked="" type="checkbox"/> Untergeschoss <input type="checkbox"/> Erdgeschoss		
Betriebsart	<input type="checkbox"/> einstufig <input checked="" type="checkbox"/> mehrstufig <input type="checkbox"/> manuell		
Aussenluftvolumenstrom	270 m ³ /h (Standard-Wert Minergie-P Antrag)		
Messstellen			
1	Technikraum	UG	<input checked="" type="checkbox"/> AlphaGUARD <input type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
2	Gästezimmer	EG	<input checked="" type="checkbox"/> AlphaGUARD <input type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
3	Schlafzimmer	1.OG	<input checked="" type="checkbox"/> AlphaGUARD <input type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter

Horw, 12. September 2012

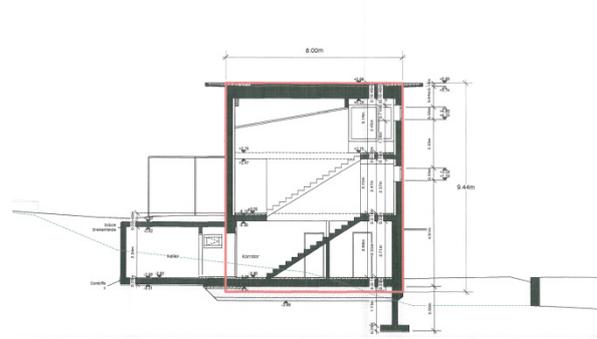
Seite 57/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

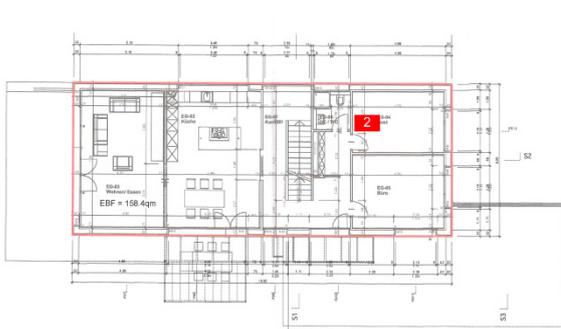
EFH Malters 1 - Grundrisse mit Messstellen



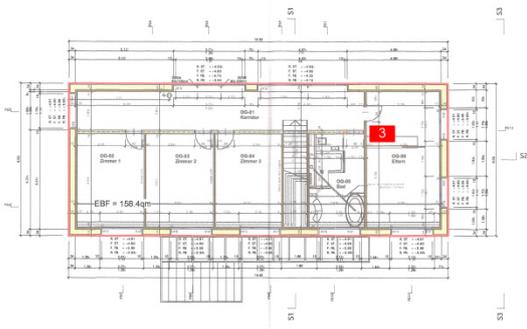
UG



Schnitt



EG



1.OG

Horw, 12. September 2012
Seite 58/86
Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

EFH Malters 1 - Bilder



Technikraum mit Lüftungsanlage



Mauerdurchführung des L-EWT mit Kondensatablauf (dünnes Rohr)



Aussenluftfassung

Horw, 12. September 2012

Seite 59/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

9.1.13. EFH Malters 2

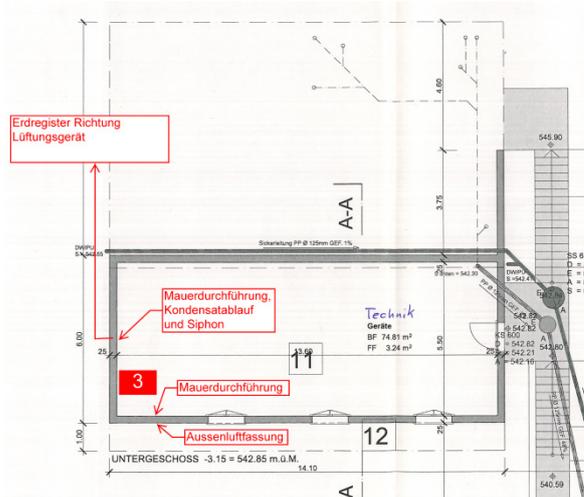
Gebäude	
Geographische Lage	CH-6102 Malters
Baujahr	2008
Energiestandard	Minergie-P
Nutzungsart	<input checked="" type="checkbox"/> EFH <input type="checkbox"/> DEFH <input type="checkbox"/> REFH <input type="checkbox"/> MFH <input type="checkbox"/> Verwaltung
Gebäudetyp	<input type="checkbox"/> Massivbau <input type="checkbox"/> Leichtbau <input checked="" type="checkbox"/> Mischbau
Geschosse	Anzahl: 3 Untergeschoss <input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
Wohnräume gegen Erdreich	<input type="checkbox"/> ja welche: <input checked="" type="checkbox"/> nein
Boden Untergeschoss	<input checked="" type="checkbox"/> Betonplatte <input type="checkbox"/> Naturkeller
Luftdichtheit n_{50}	0.30 h ⁻¹
Luft-Erdwärmetauscher	
Rohrmaterial	Kunststoff, schwarz
Länge	30 m
Durchmesser	200 mm
Verlegungstiefe	unbekannt
Innenoberfläche	<input checked="" type="checkbox"/> glatt <input type="checkbox"/> gewellt <input type="checkbox"/> unbekannt
Stösse	<input type="checkbox"/> ja Anzahl: <input type="checkbox"/> nein, das ganze Rohr ist ein einziges Stück <input checked="" type="checkbox"/> unbekannt
Lage der Mauerdurchführung	<input type="checkbox"/> Aussenwand <input checked="" type="checkbox"/> Bodenplatte
Kondensatablauf	<input checked="" type="checkbox"/> vorhanden Lage: Kellerraum <input type="checkbox"/> nicht vorhanden <input checked="" type="checkbox"/> mit Siphon <input type="checkbox"/> ohne Siphon
Aussenluftfassung	Höhe über Boden: 1.1 m Lage: Südfassade UG
Lüftungsanlage	
Lage	<input type="checkbox"/> Untergeschoss <input checked="" type="checkbox"/> Erdgeschoss
Betriebsart	<input type="checkbox"/> einstufig <input checked="" type="checkbox"/> mehrstufig <input type="checkbox"/> manuell
Aussenluftvolumenstrom	150 m ³ /h (effektiver Wert Minergie-P Antrag)
Messstellen	
1	Schlafzimmer 1.OG <input checked="" type="checkbox"/> AlphaGUARD <input type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
1a	Luft aus L-EWT EG <input type="checkbox"/> AlphaGUARD <input type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
2	Wohnzimmer EG <input checked="" type="checkbox"/> AlphaGUARD <input type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
3	Keller UG <input checked="" type="checkbox"/> AlphaGUARD <input type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter

Horw, 12. September 2012

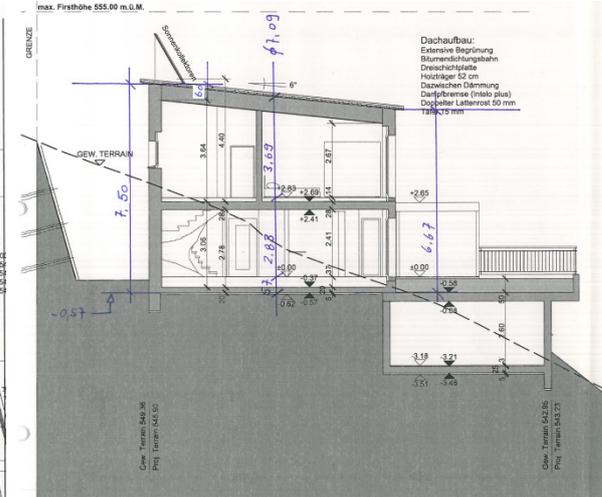
Seite 60/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

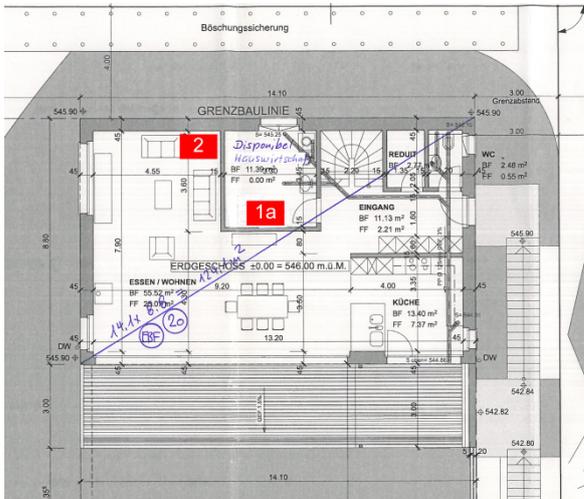
EFH Malters 2 - Grundrisse mit Messstellen



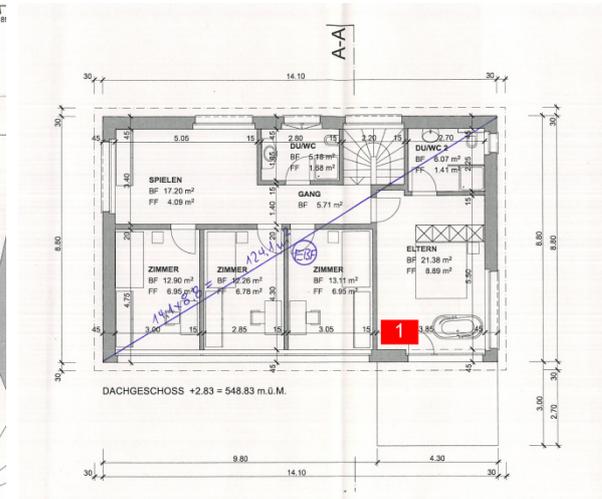
UG



Schnitt



EG



1.0G

Horw, 12. September 2012
Seite 61/86
Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

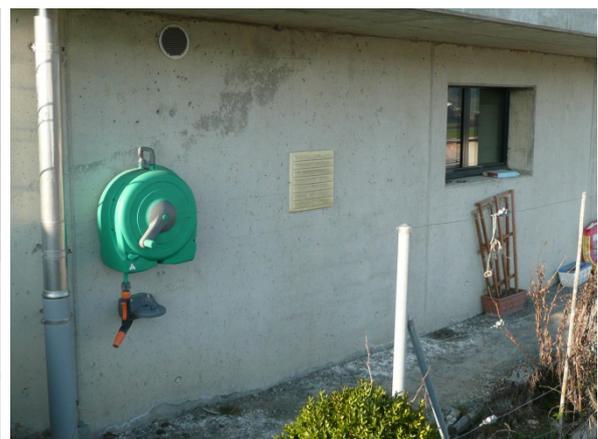
EFH Malters 2 - Bilder



Mauerdurchführung des L-EWT im Keller mit
Kondensatablauf und Siphon



Bodendurchführung des L-EWT unter dem Lüf-
tungsgerät im Technikraum



Aussenluftfassung (Mitte, rechteckiges Gitter)

Horw, 12. September 2012

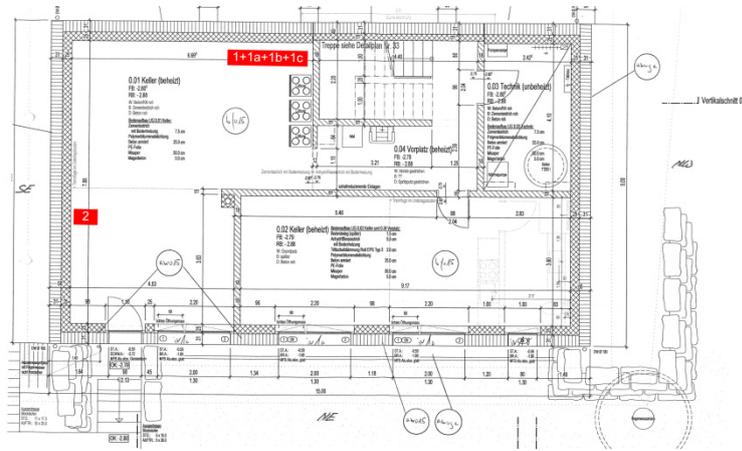
Seite 62/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

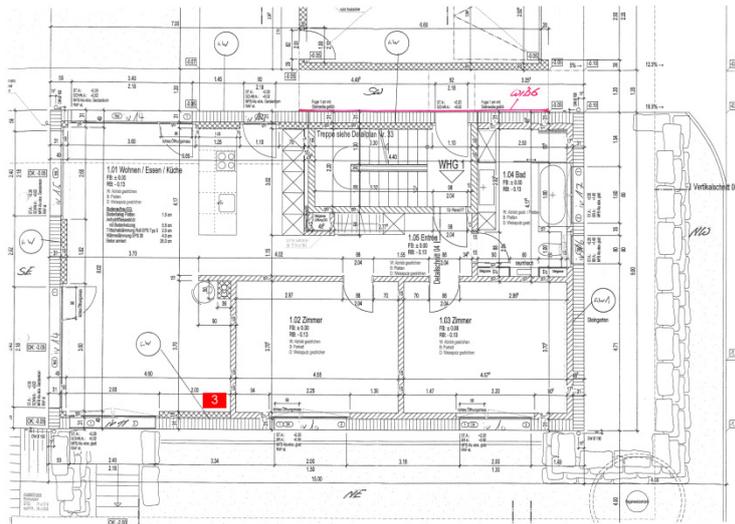
9.1.14. DEFH Neuenkirch

Gebäude			
Geographische Lage	CH-6206 Neuenkirch		
Baujahr	2011		
Energiestandard	Minergie-P		
Nutzungsart	<input type="checkbox"/> EFH <input checked="" type="checkbox"/> DEFH <input type="checkbox"/> REFH <input type="checkbox"/> MFH <input type="checkbox"/> Verwaltung		
Gebäudetyp	<input checked="" type="checkbox"/> Massivbau <input type="checkbox"/> Leichtbau <input type="checkbox"/> Mischbau		
Geschosse	Anzahl: 3 Untergeschoss <input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein		
Wohnräume gegen Erdreich	<input type="checkbox"/> ja welche: <input checked="" type="checkbox"/> nein		
Boden Untergeschoss	<input checked="" type="checkbox"/> Betonplatte <input type="checkbox"/> Naturkeller		
Luftdichtheit n_{50}	0.30 h ⁻¹		
Luft-Erdwärmetauscher			
Rohrmaterial	Kunststoff, schwarz		
Länge	60 m		
Durchmesser	160 mm		
Verlegungstiefe	ca. 2 m		
Innenoberfläche	<input checked="" type="checkbox"/> glatt <input type="checkbox"/> gewellt <input type="checkbox"/> unbekannt		
Stösse	<input checked="" type="checkbox"/> ja Anzahl: unbekannt <input type="checkbox"/> nein, das ganze Rohr ist ein einziges Stück <input type="checkbox"/> unbekannt		
Lage der Mauerdurchführung	<input checked="" type="checkbox"/> Aussenwand <input type="checkbox"/> Bodenplatte		
Kondensatablauf	<input checked="" type="checkbox"/> vorhanden Lage: Technikraum <input type="checkbox"/> nicht vorhanden <input type="checkbox"/> mit Siphon <input checked="" type="checkbox"/> ohne Siphon		
Aussenluftfassung	Höhe über Boden: 0.9 m Lage: Garten SO-Seite, Säule über Kiesbett		
Lüftungsanlage			
Lage	<input checked="" type="checkbox"/> Untergeschoss <input type="checkbox"/> Erdgeschoss		
Betriebsart	<input type="checkbox"/> einstufig <input checked="" type="checkbox"/> mehrstufig <input type="checkbox"/> manuell		
Aussenluftvolumenstrom	340 m ³ /h (effektiver Wert Minergie-P Antrag)		
Messstellen			
1	Technikraum	UG	<input type="checkbox"/> AlphaGUARD <input checked="" type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
1a	Luft aus L-EWT für UG	UG	<input type="checkbox"/> AlphaGUARD <input type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
1b	Luft aus L-EWT für EG	UG	<input type="checkbox"/> AlphaGUARD <input type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
1c	Luft aus L-EWT für OG	UG	<input type="checkbox"/> AlphaGUARD <input type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
2	Bastelraum	UG	<input type="checkbox"/> AlphaGUARD <input checked="" type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
3	Wohnzimmer	EG	<input type="checkbox"/> AlphaGUARD <input checked="" type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter

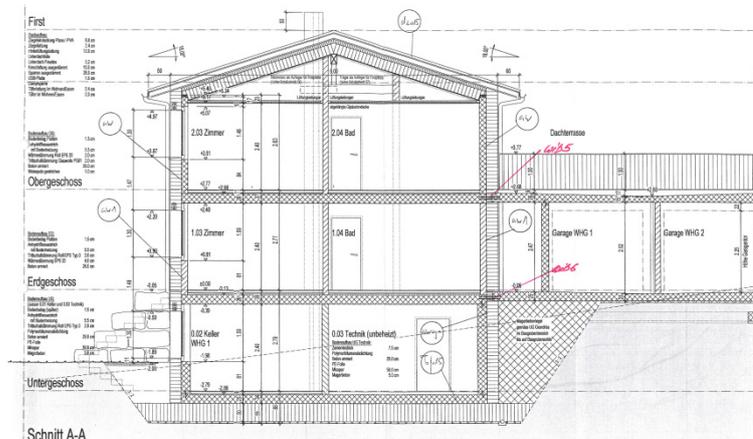
DEFH Neuenkirch - Grundrisse mit Messstellen



UG



EG



Schnitt A-A

Schnitt

Horw, 12. September 2012
Seite 64/86
Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

DEFH Neuenkirch - Bilder



Technikraum mit den 3 Lüftungsgeräten (UG, EG, OG) und die 3 Mauerdurchführungen der Luft-Erdwärmetauscher mit Kondensatablauf (links)



Aussenluftfassung

Horw, 12. September 2012

Seite 65/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

9.1.15. Verwaltungsgebäude Sempach

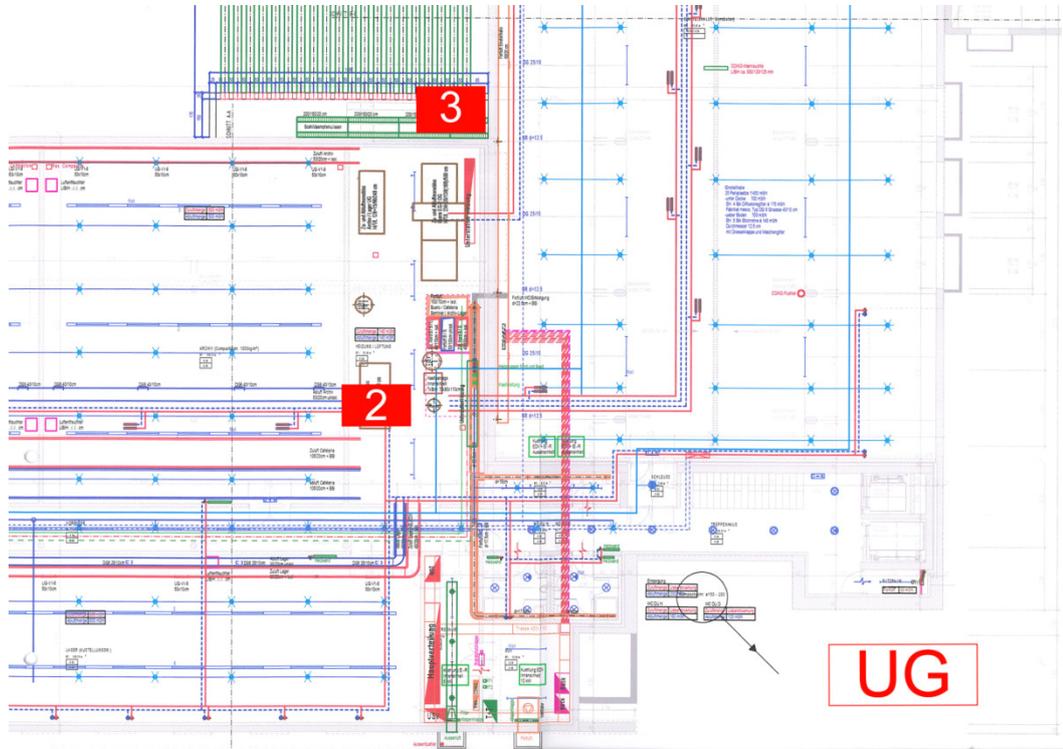
Gebäude			
Geographische Lage	CH-6204 Sempach		
Baujahr	2010		
Energiestandard	Minergie-P-ECO		
Nutzungsart	<input type="checkbox"/> EFH <input type="checkbox"/> DEFH <input type="checkbox"/> REFH <input type="checkbox"/> MFH <input checked="" type="checkbox"/> Verwaltung		
Gebäudetyp	<input type="checkbox"/> Massivbau <input type="checkbox"/> Leichtbau <input checked="" type="checkbox"/> Mischbau		
Geschosse	Anzahl: 4 Untergeschoss <input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein		
Wohnräume gegen Erdreich	<input type="checkbox"/> ja welche: <input checked="" type="checkbox"/> nein		
Boden Untergeschoss	<input checked="" type="checkbox"/> Betonplatte <input type="checkbox"/> Naturkeller		
Luftdichtheit n ₅₀	0.30 h ⁻¹		
Luft-Erdwärmetauscher			
Rohrmaterial	Kunststoff schwarz, Innen grau beschichtet		
Länge	34 Rohre à 30 m		
Durchmesser	180 mm		
Verlegungstiefe	ca. 2 m		
Innenoberfläche	<input checked="" type="checkbox"/> glatt <input type="checkbox"/> gewellt <input type="checkbox"/> unbekannt		
Stösse	<input type="checkbox"/> ja Anzahl: <input type="checkbox"/> nein, das ganze Rohr ist ein einziges Stück <input checked="" type="checkbox"/> unbekannt		
Lage der Mauerdurchführung	<input checked="" type="checkbox"/> Aussenwand <input type="checkbox"/> Bodenplatte		
Kondensatablauf	<input checked="" type="checkbox"/> vorhanden Lage: Zwischen Schalldämpfer und L-EWT <input type="checkbox"/> nicht vorhanden <input type="checkbox"/> mit Siphon <input type="checkbox"/> ohne Siphon		
Aussenluftfassung	Höhe über Boden: 1.5 m Lage: Garten O-Seite, 3 Säulen		
Lüftungsanlage			
Lage	<input checked="" type="checkbox"/> Untergeschoss <input type="checkbox"/> Erdgeschoss		
Betriebsart	<input type="checkbox"/> einstufig <input checked="" type="checkbox"/> mehrstufig <input type="checkbox"/> manuell		
Aussenluftvolumenstrom	15000 m ³ /h (effektiver Wert Minergie-P Antrag)		
Messstellen			
1	Sitzungszimmer	EG	<input type="checkbox"/> AlphaGUARD <input checked="" type="checkbox"/> RadonMapper <input type="checkbox"/> Dosimeter
2	Lüftungsgerät, Zuluf	UG	<input type="checkbox"/> AlphaGUARD <input checked="" type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter
3	Luft aus L-EWT	UG	<input type="checkbox"/> AlphaGUARD <input checked="" type="checkbox"/> RadonMapper <input checked="" type="checkbox"/> Dosimeter

Horw, 12. September 2012

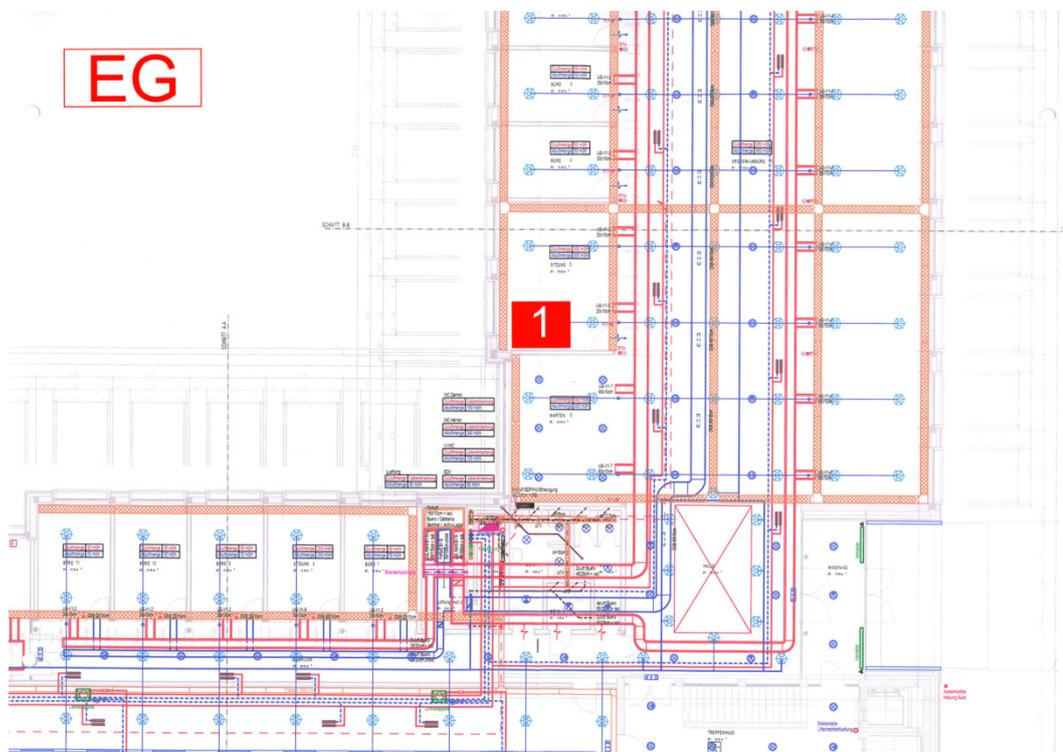
Seite 66/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

Verwaltungsgebäude Sempach - Grundrisse mit Messstellen



UG



EG

Horw, 12. September 2012

Seite 67/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

Verwaltungsgebäude Sempach - Bilder



Technikraum



L-EWT (rechts) und Schalldämpfer (links)

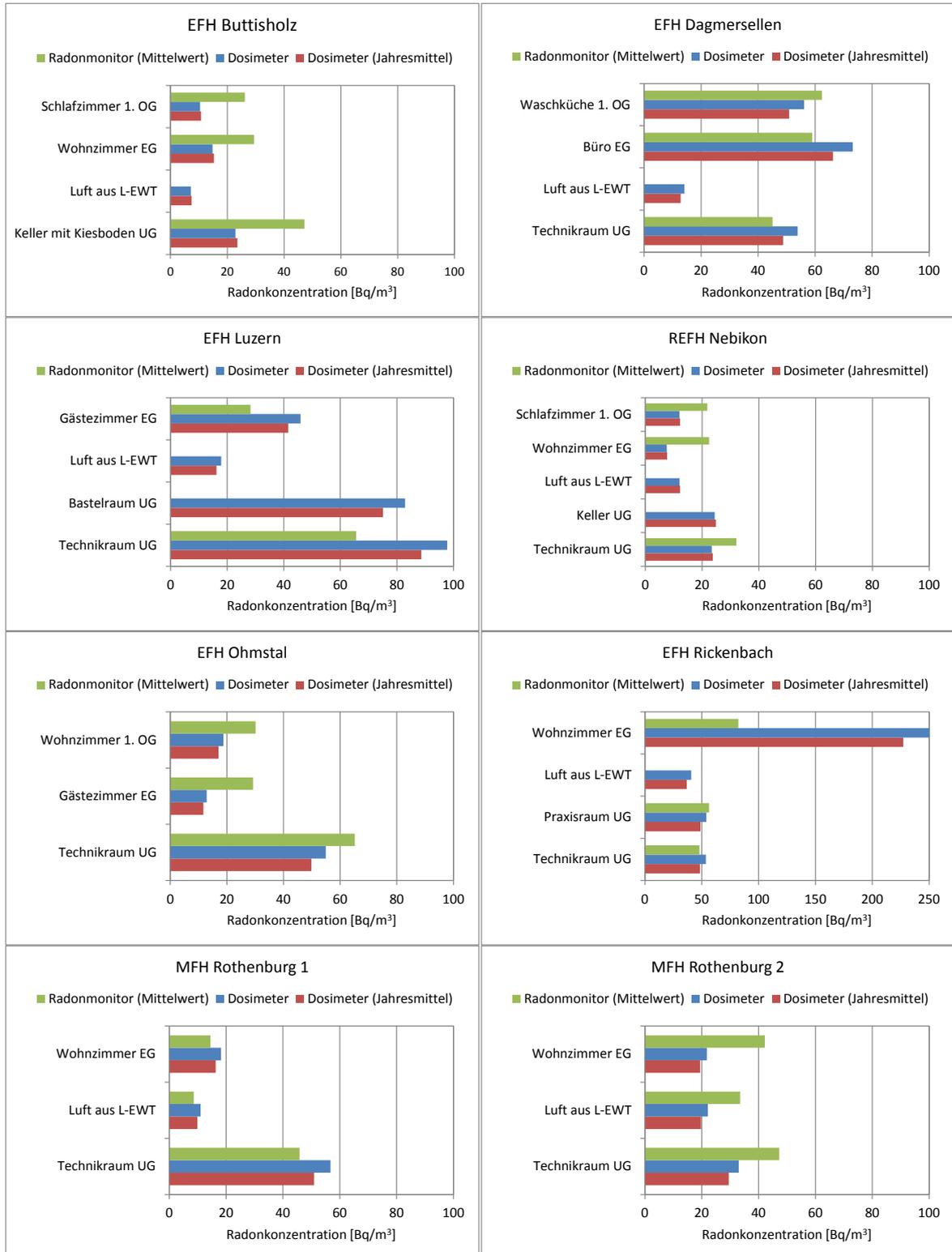


Aussenluftfassungen



Mauerdurchführungen der L-EWT mit Kondenswasser (unten links)

9.3. Diagramme der Messwerte

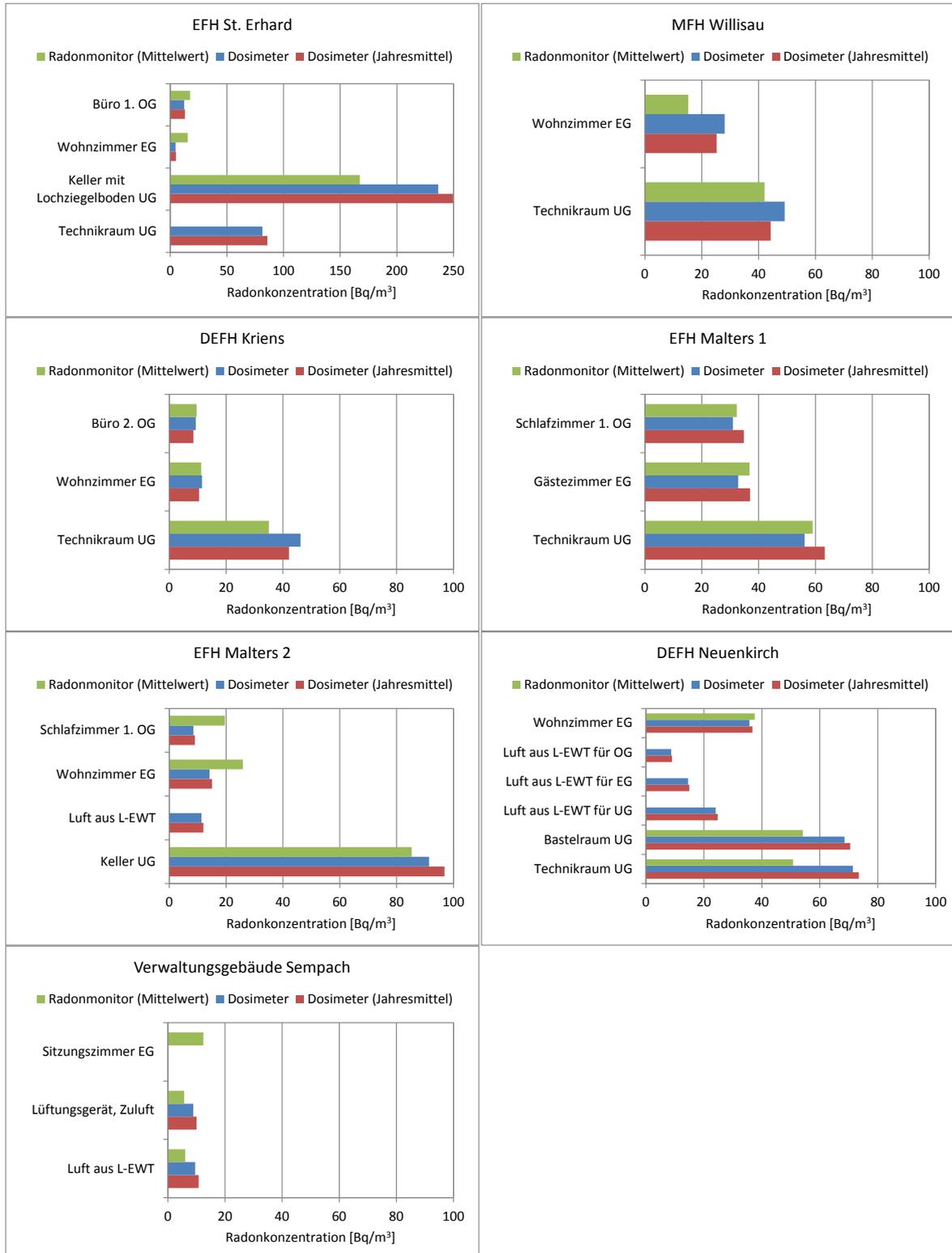


L-EWT = Luft-Erdwärmetauscher

Horw, 12. September 2012

Seite 70/86

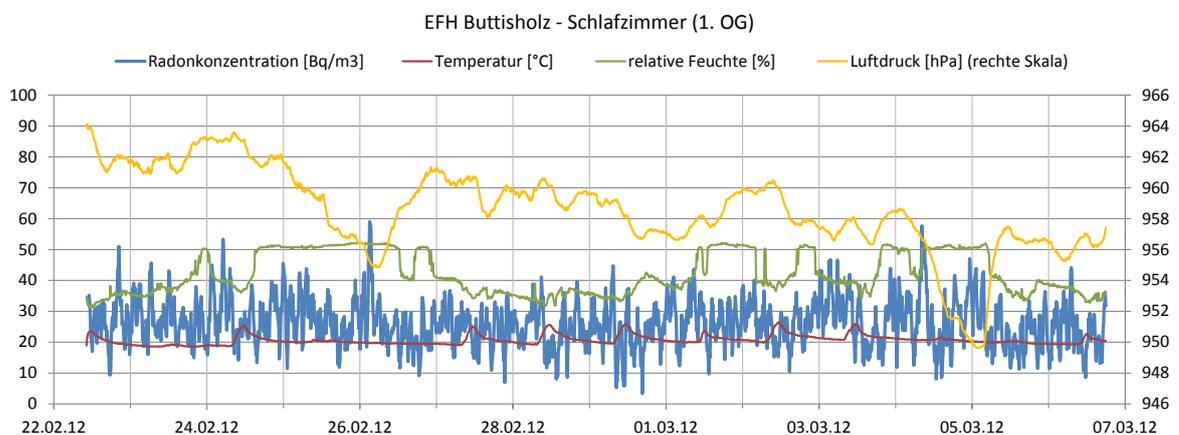
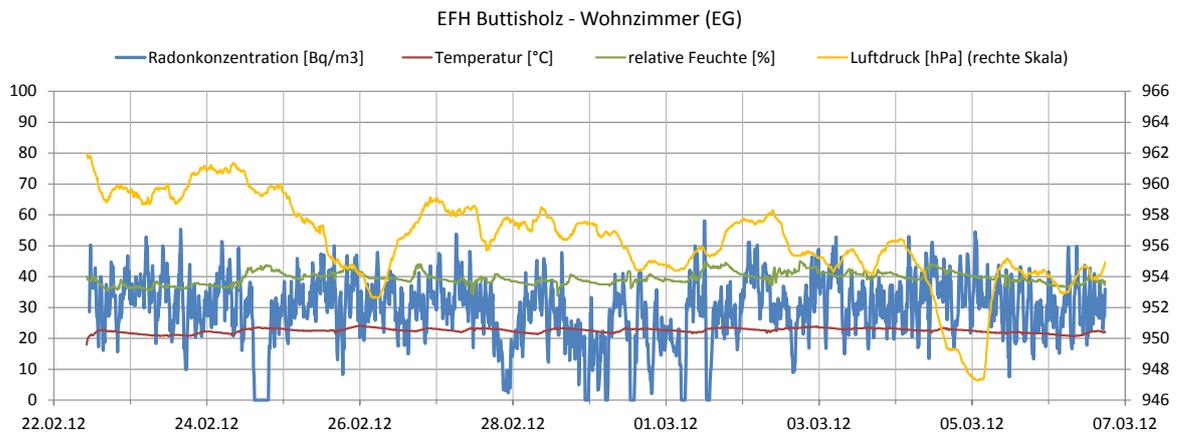
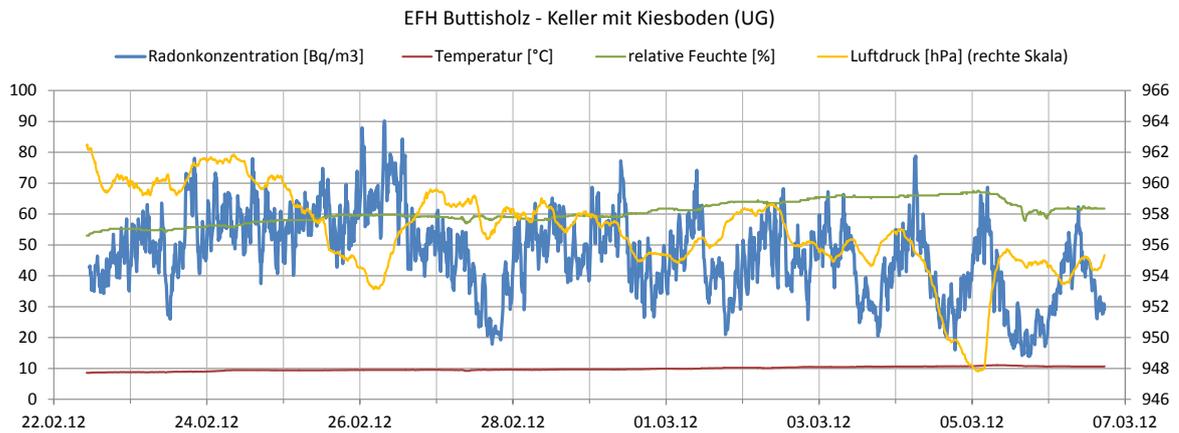
Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern



9.4. Zeitreihen

Die vertikalen Gitterlinien liegen bei allen Diagrammen jeweils um die Zeit 00:00.

9.4.1. EFH Buttisholz

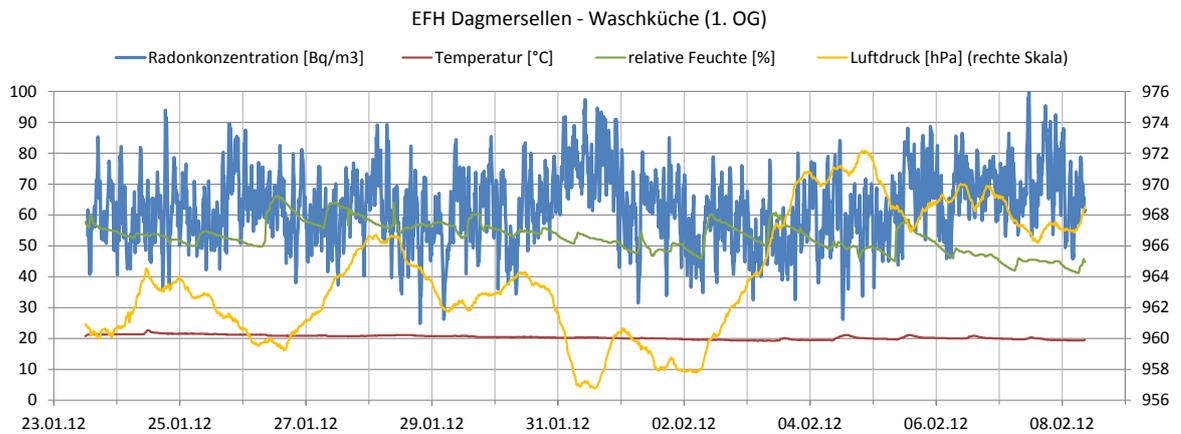
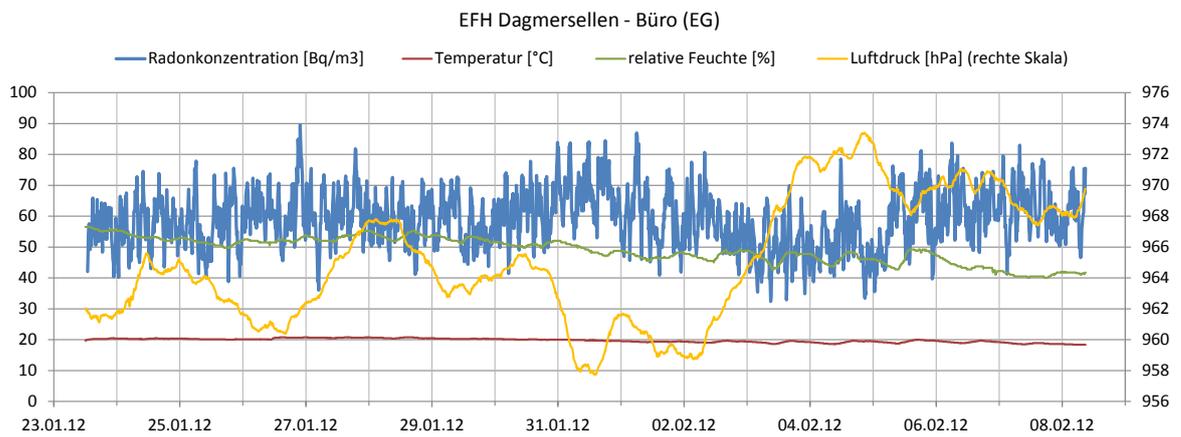
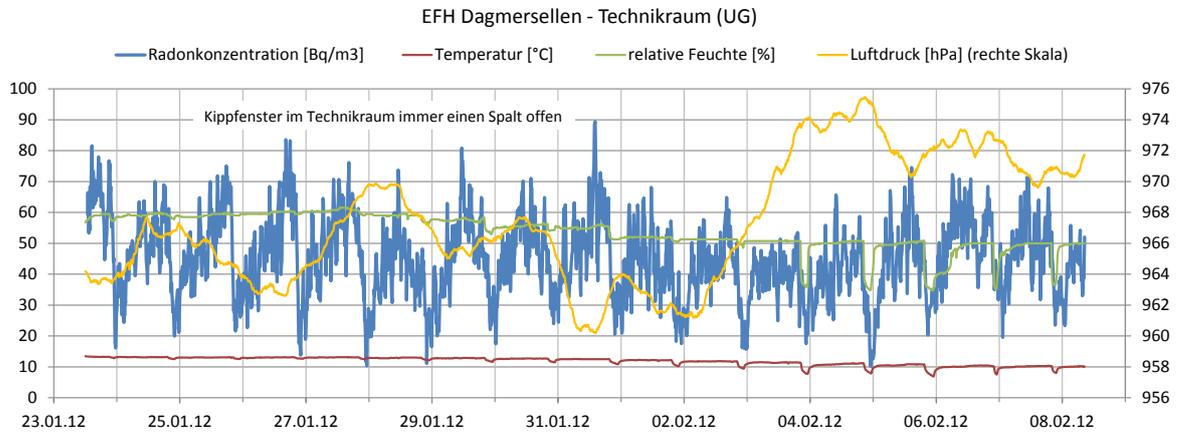


Horw, 12. September 2012

Seite 72/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

9.4.2. EFH Dagmersellen

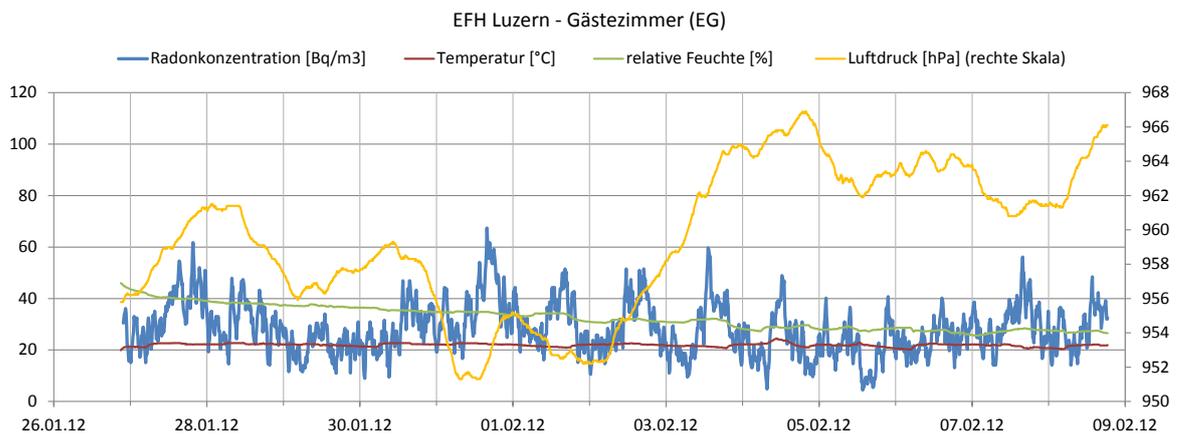
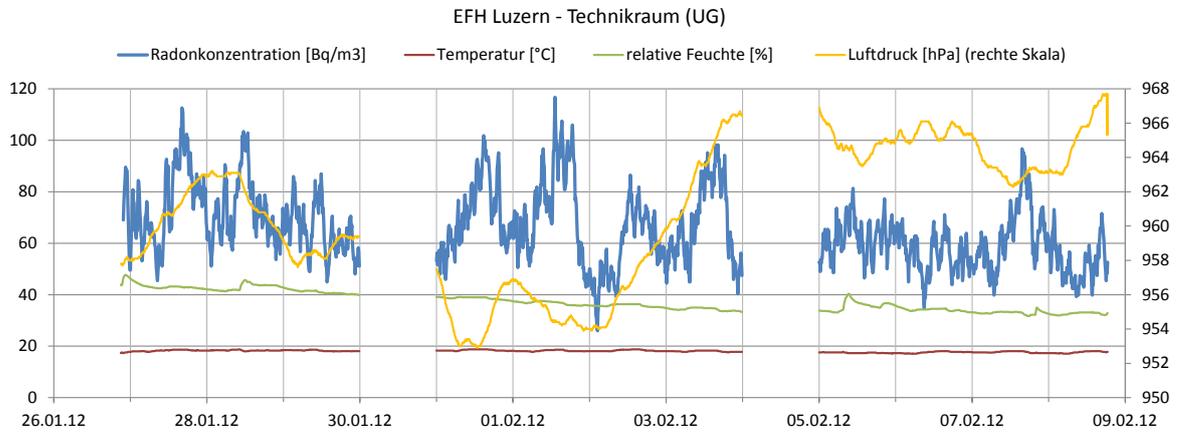


Horw, 12. September 2012

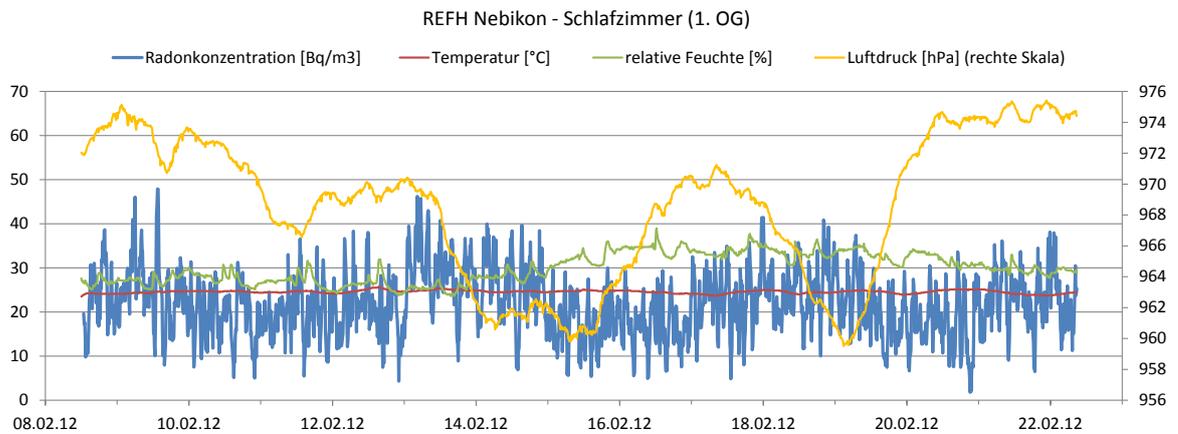
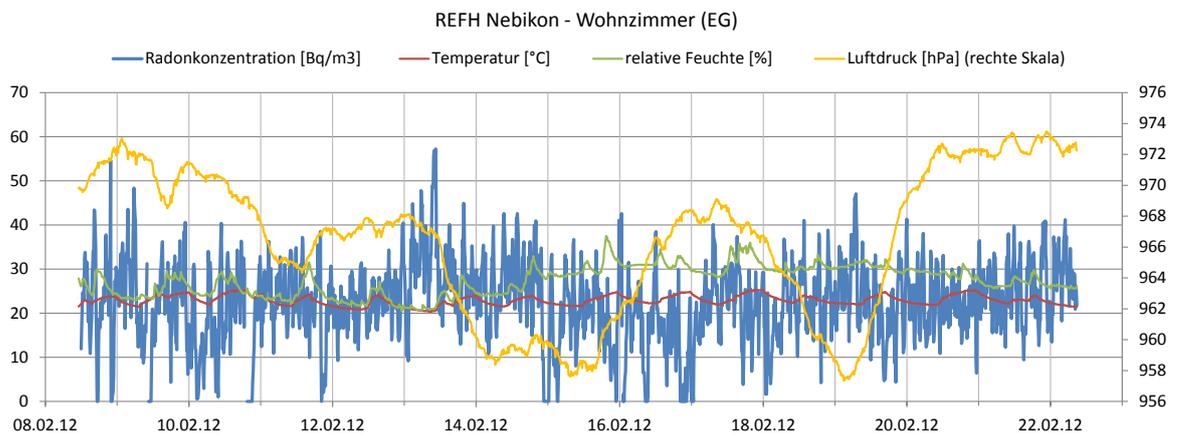
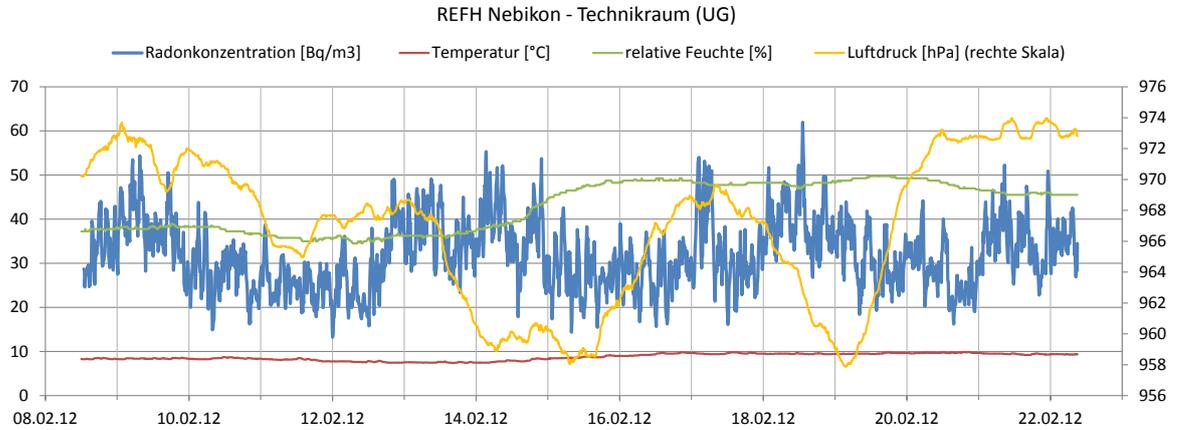
Seite 73/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

9.4.3. EFH Luzern



9.4.4. REFH Nebikon

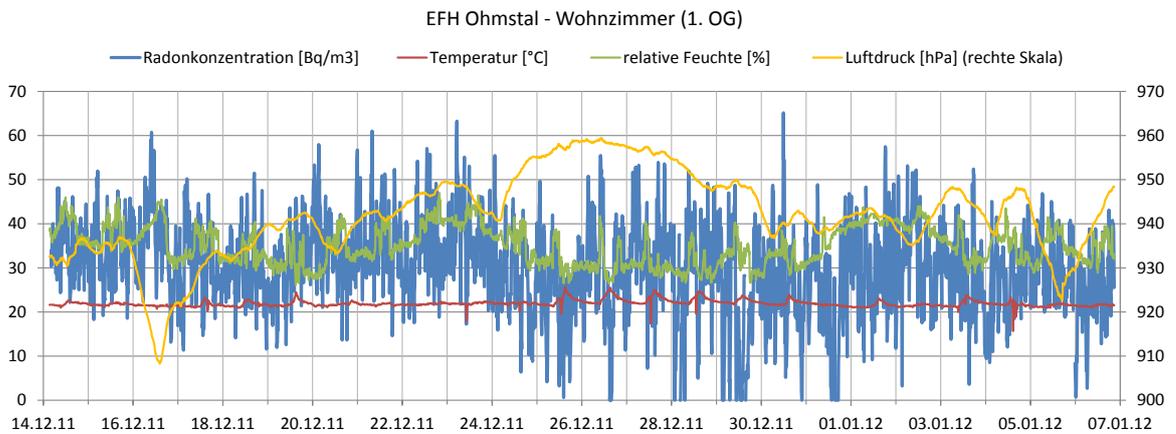
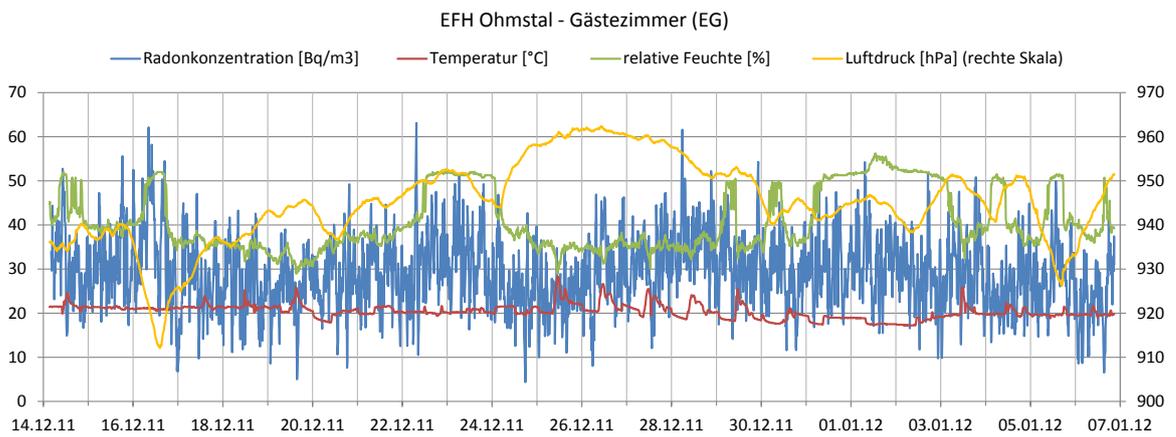
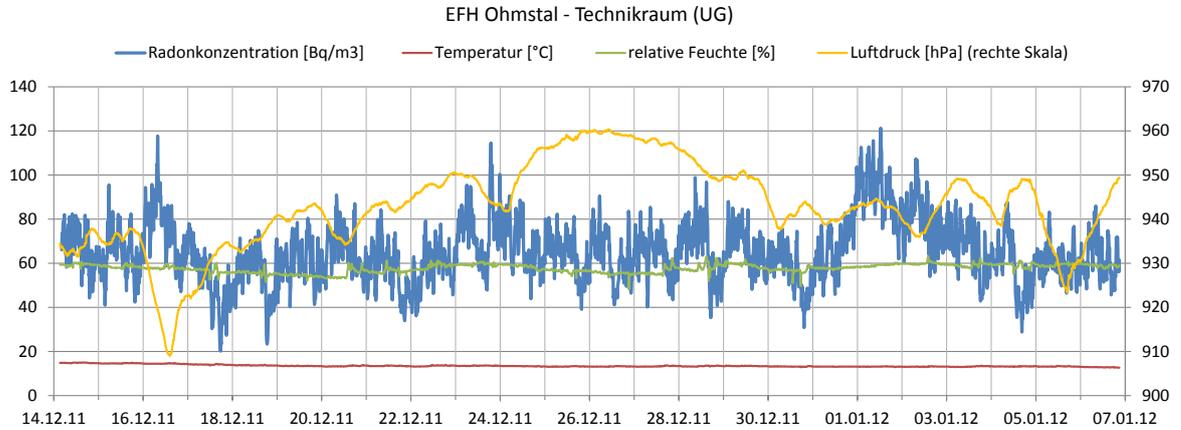


Horw, 12. September 2012

Seite 75/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

9.4.5. EFH Ohmstal

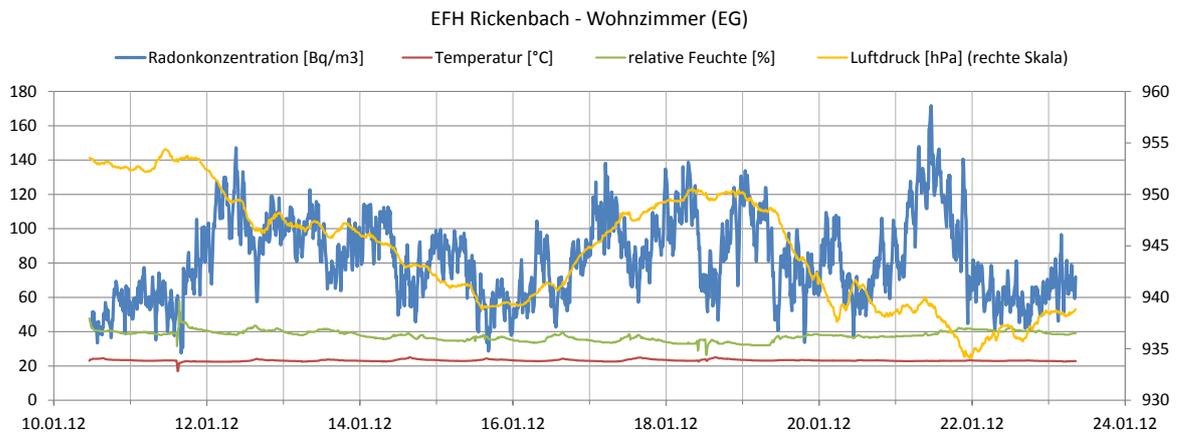
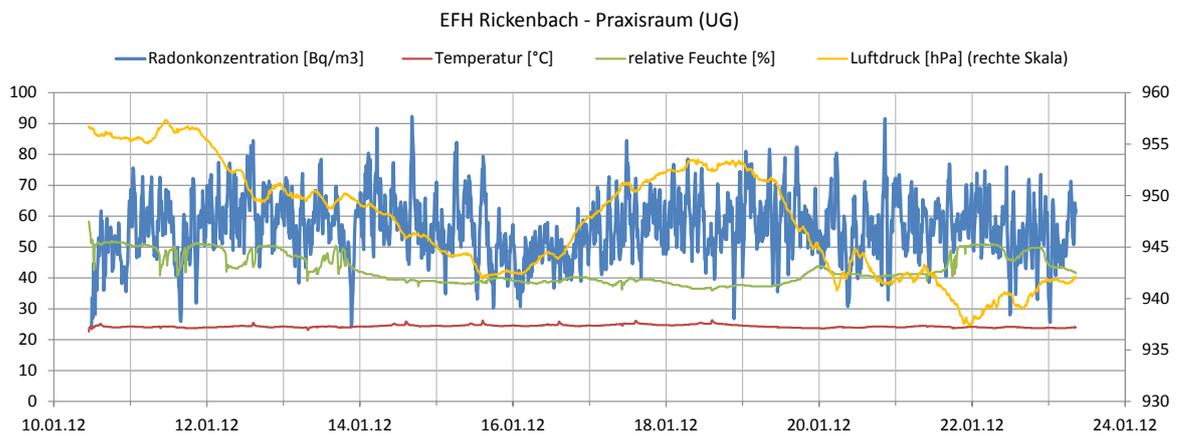
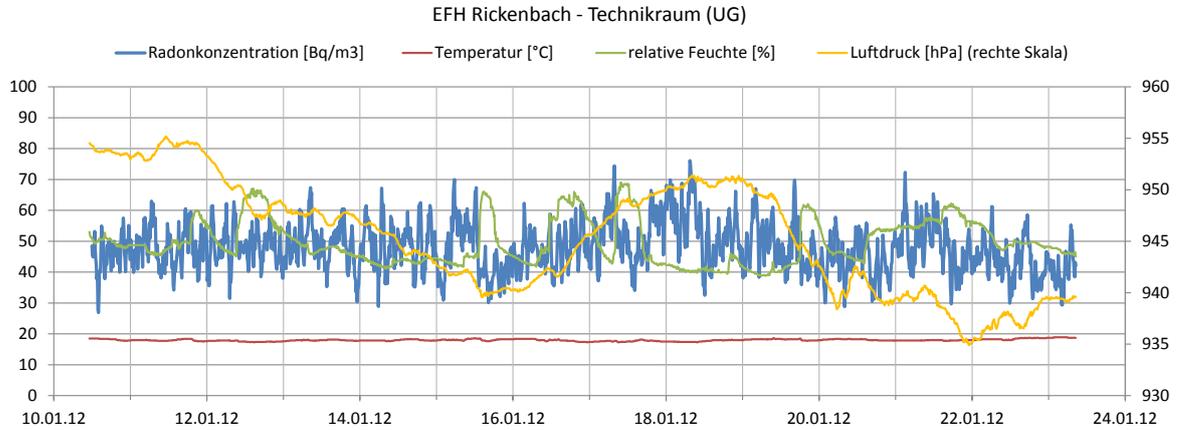


Horw, 12. September 2012

Seite 76/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

9.4.6. EFH Rickenbach

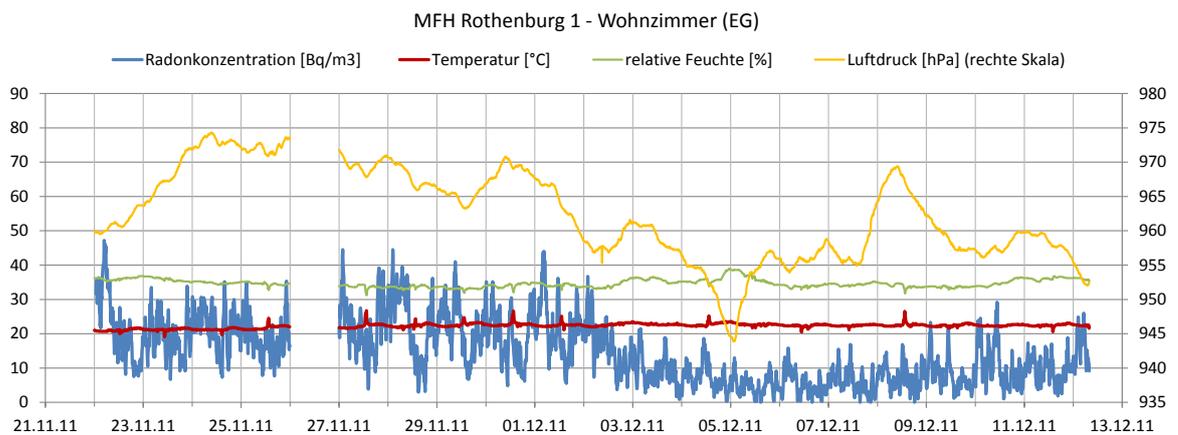
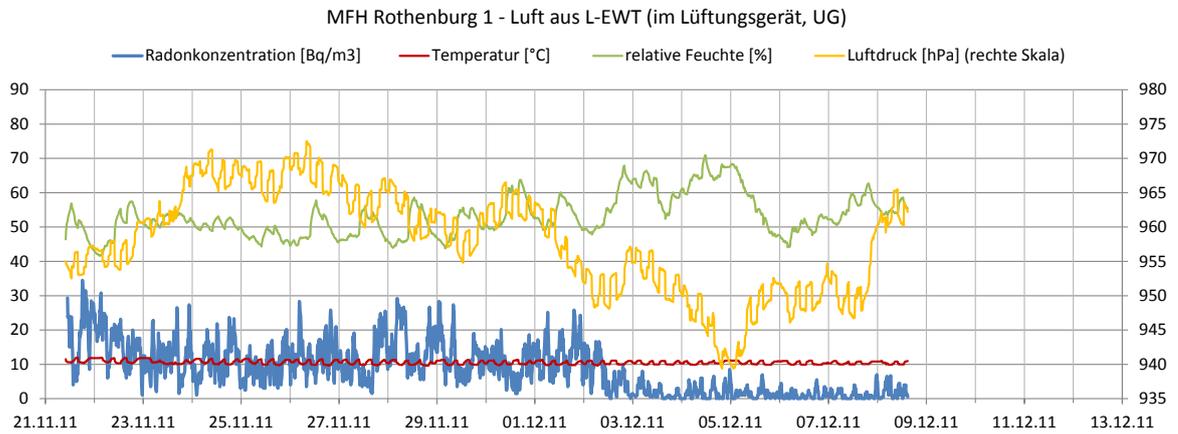
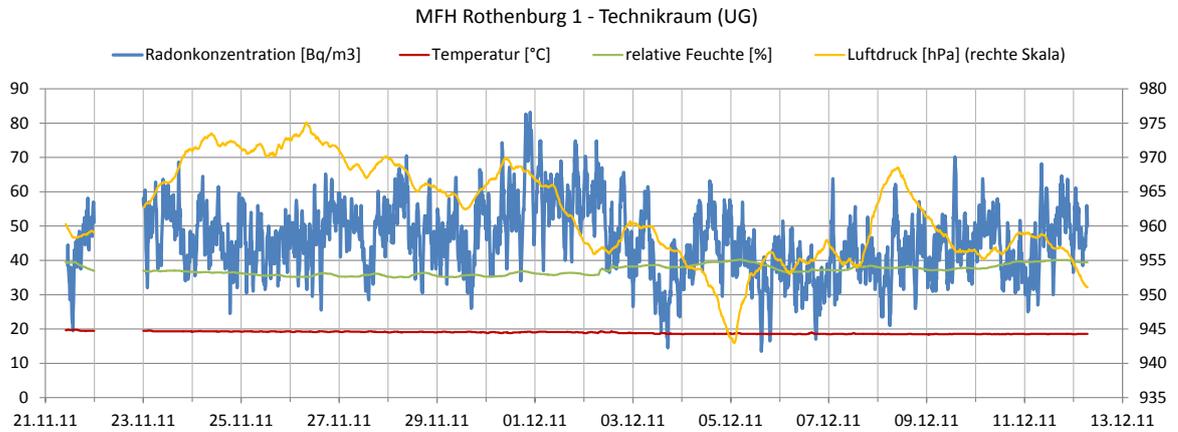


Horw, 12. September 2012

Seite 77/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

9.4.7. MFH Rothenburg 1

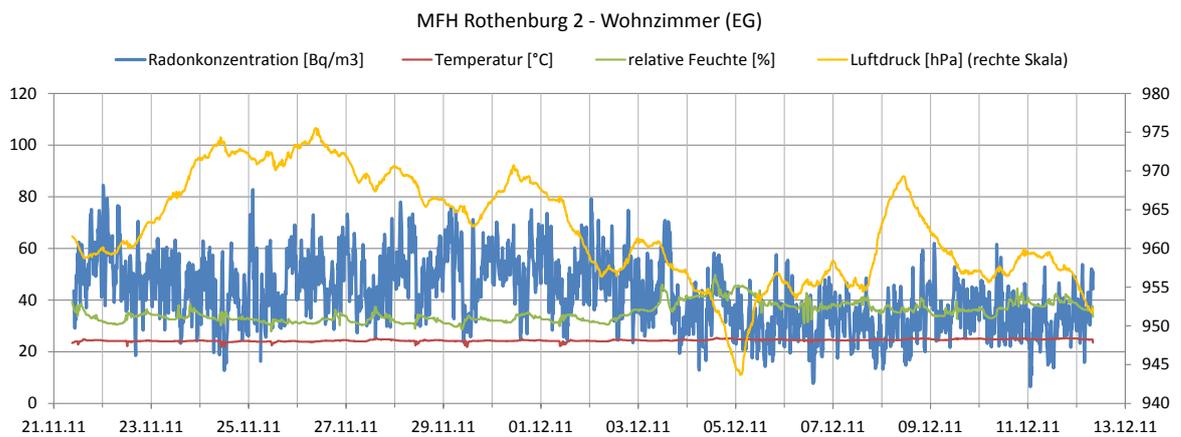
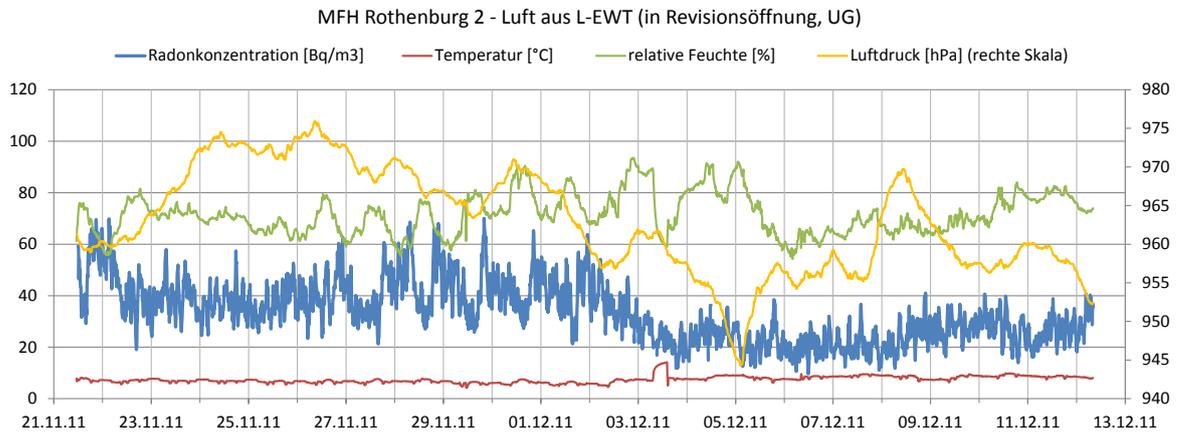
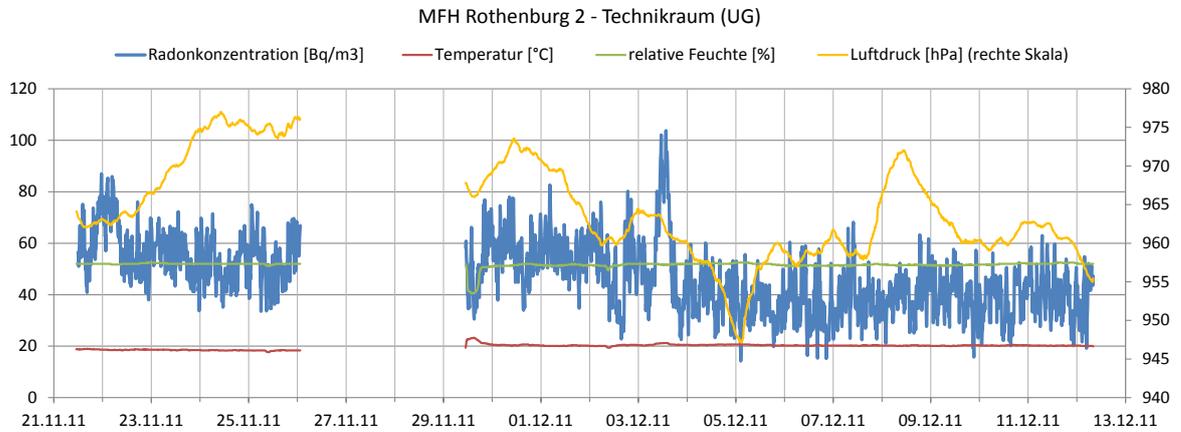


Horw, 12. September 2012

Seite 78/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

9.4.8. MFH Rothenburg 2

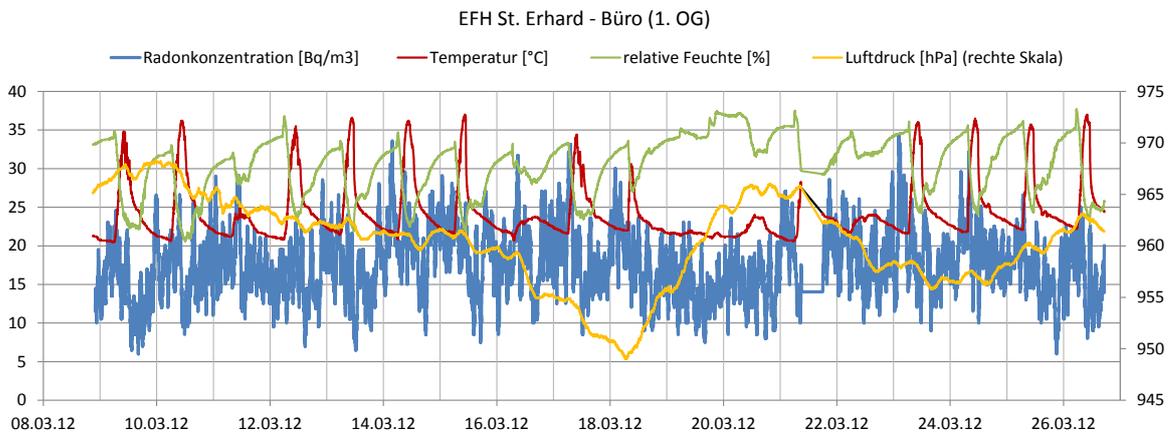
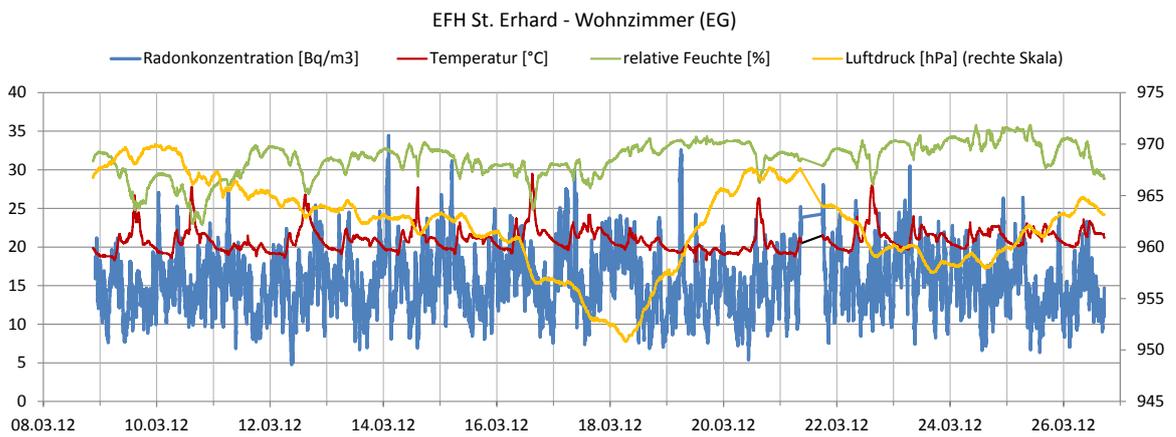
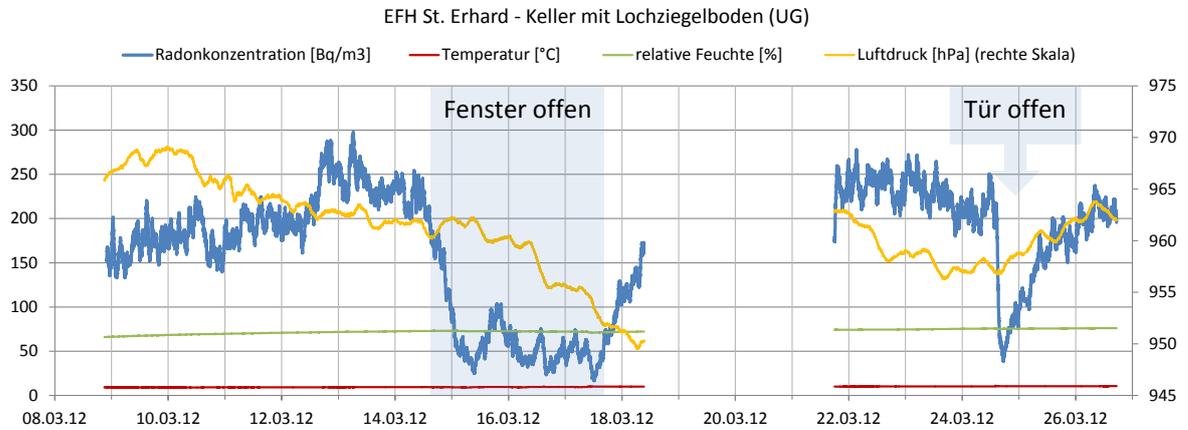


Horw, 12. September 2012

Seite 79/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

9.4.9. EFH St. Erhard



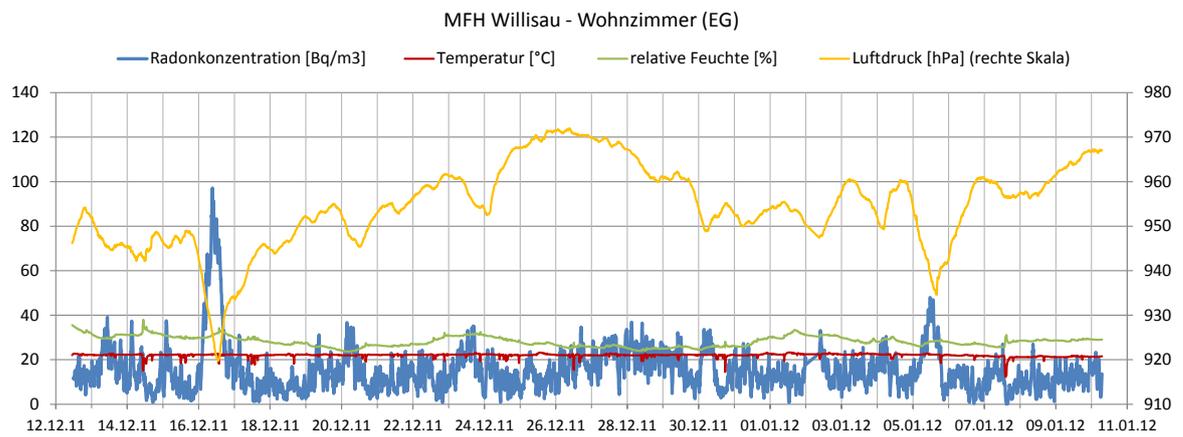
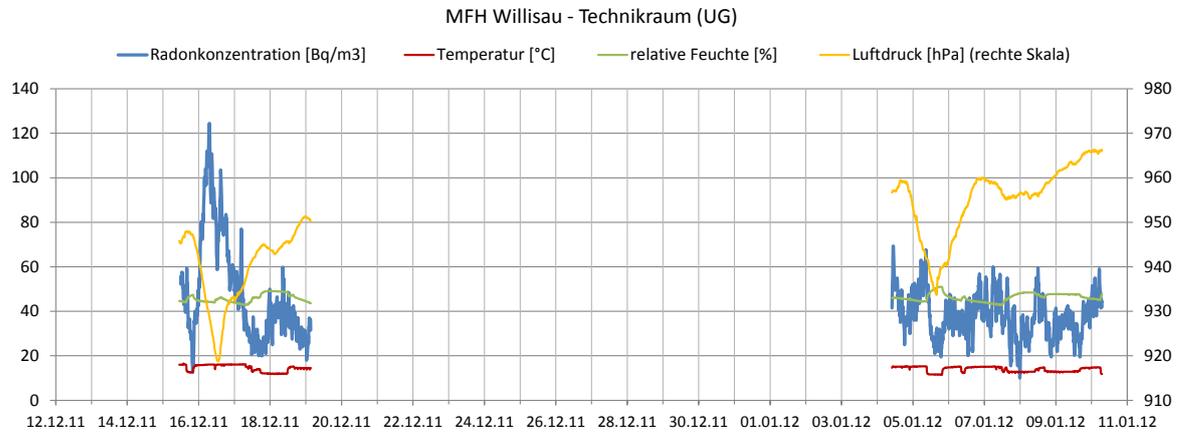
Die Temperaturspitzen um Mittag in der Wohnzimmer (EG) und im Büro (1. OG) sind durch die Sonneneinstrahlung verursacht (Radonmessgerät nahe am SO- und SW-Fenster, siehe Messstellen 2 und 3 im Anhang 9.1.9)

Horw, 12. September 2012

Seite 80/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

9.4.10. MFH Willisau

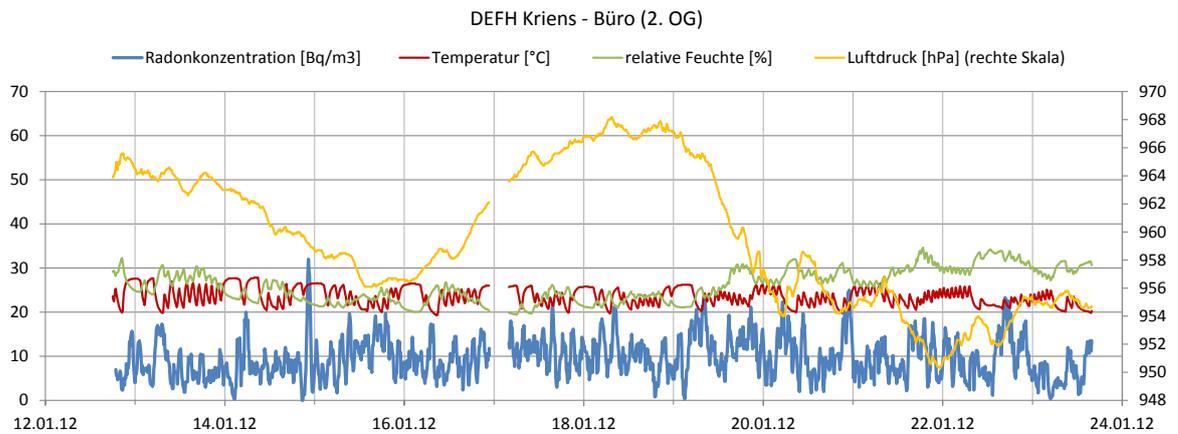
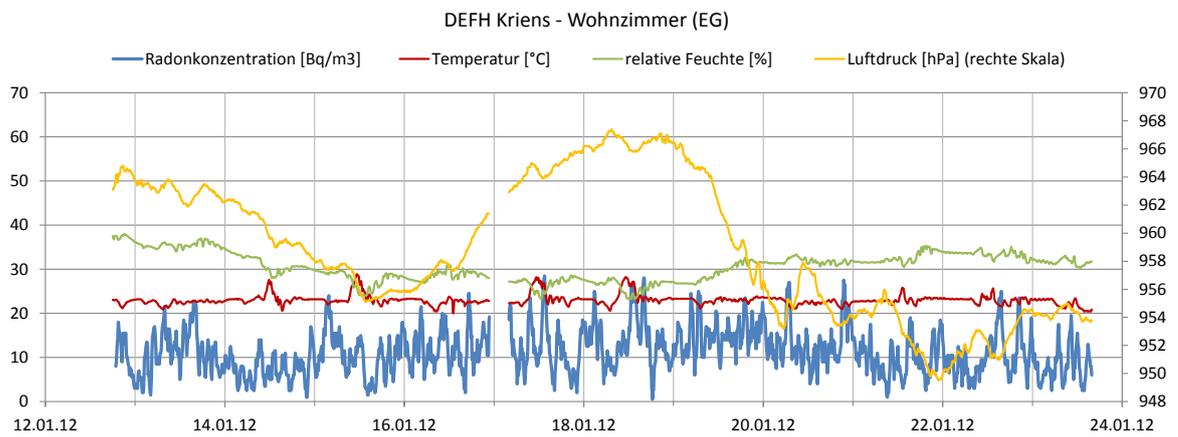
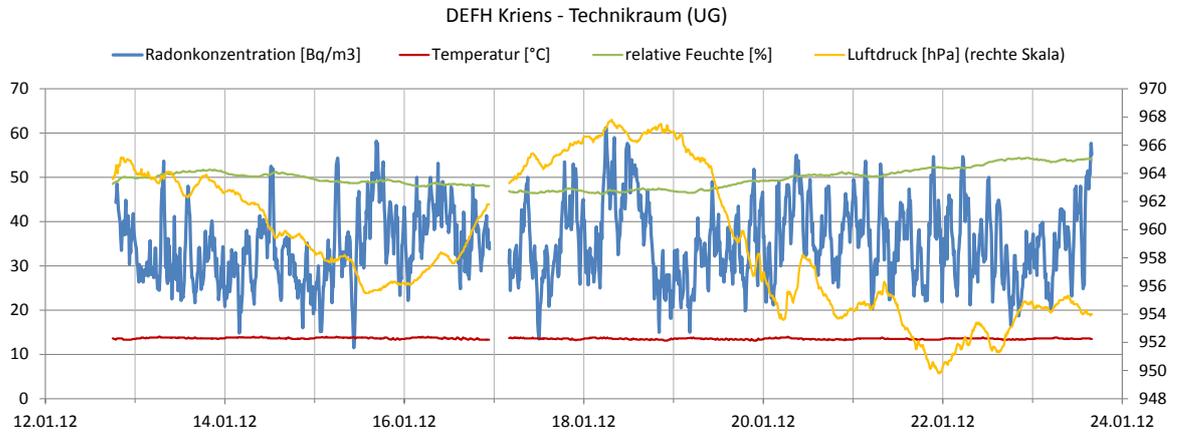


Horw, 12. September 2012

Seite 81/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

9.4.11. DEFH Kriens

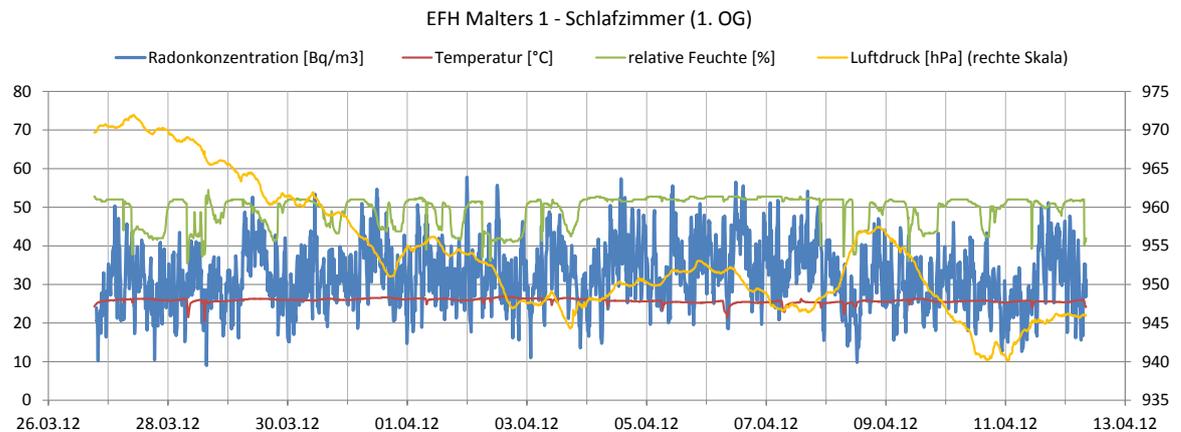
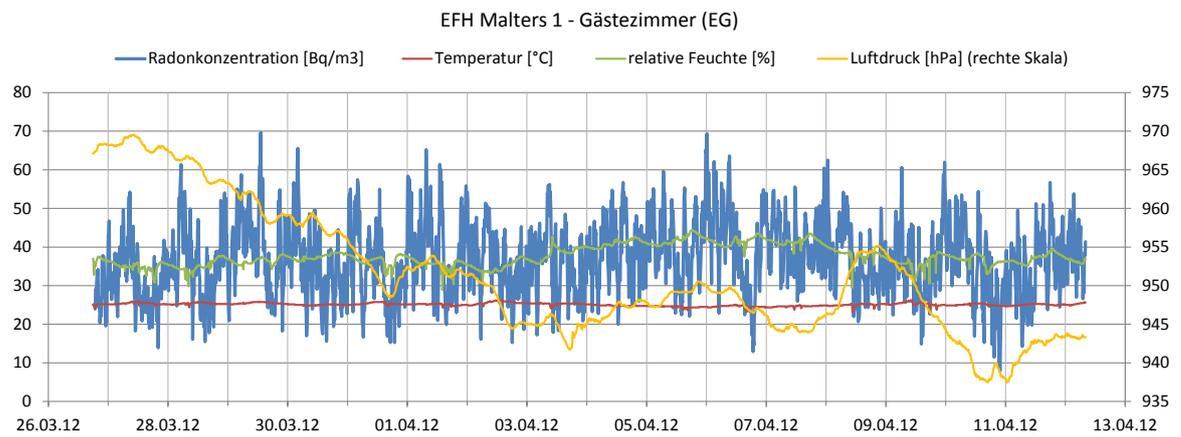
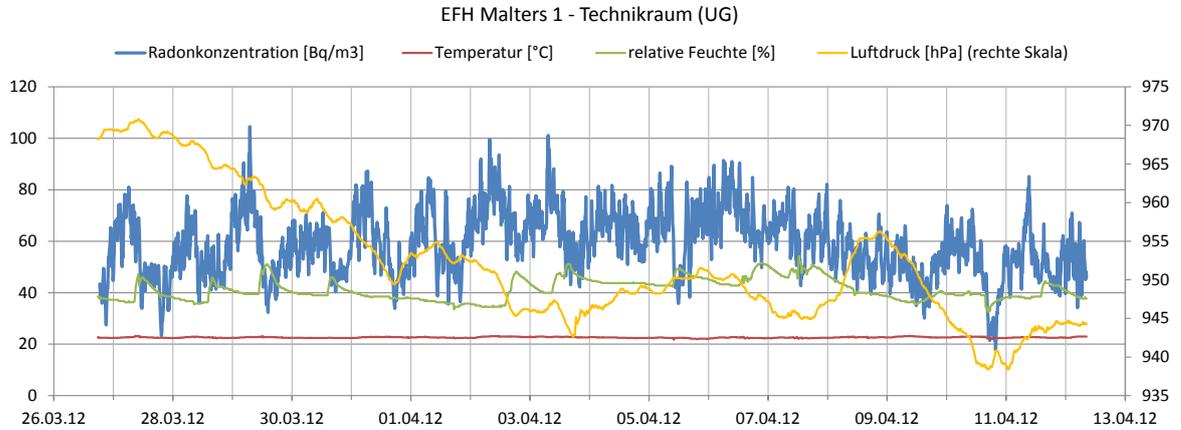


Horw, 12. September 2012

Seite 82/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

9.4.12. EFH Malters 1

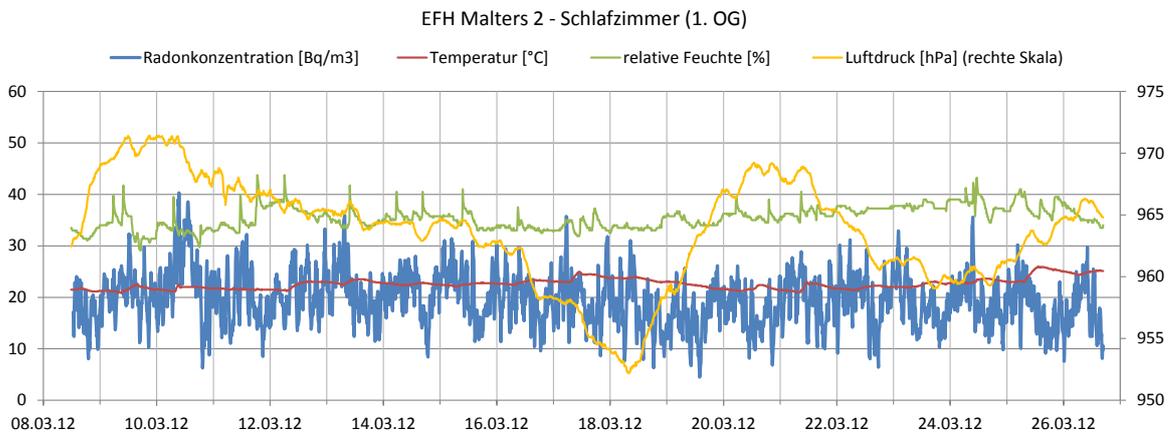
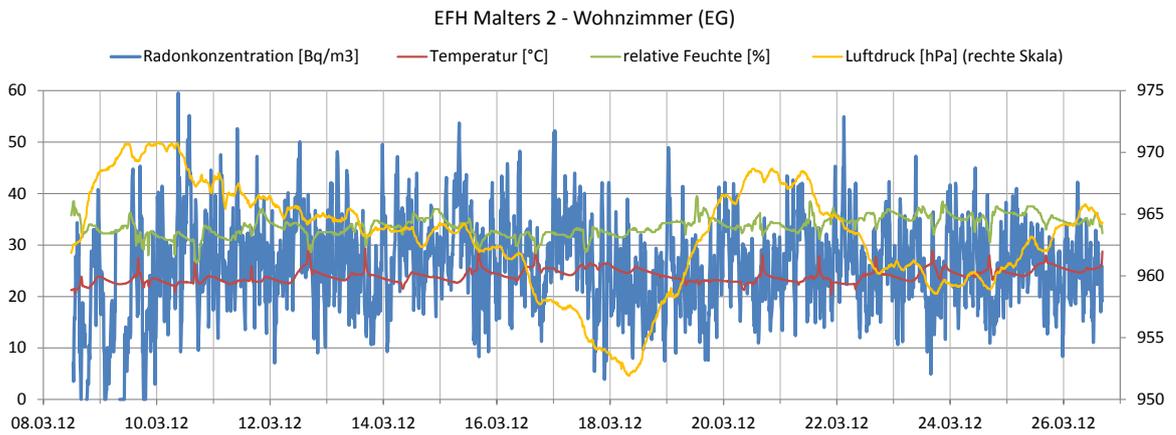
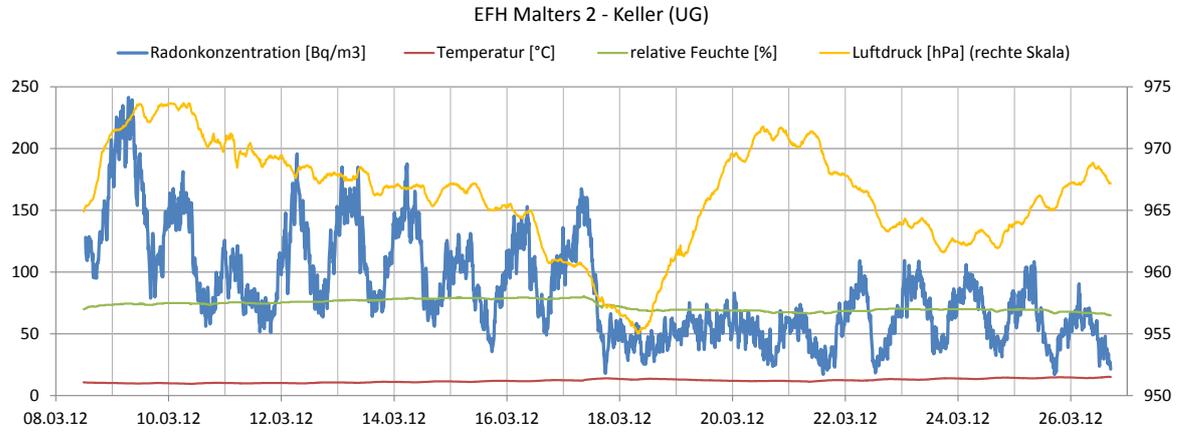


Horw, 12. September 2012

Seite 83/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

9.4.13. EFH Malters 2

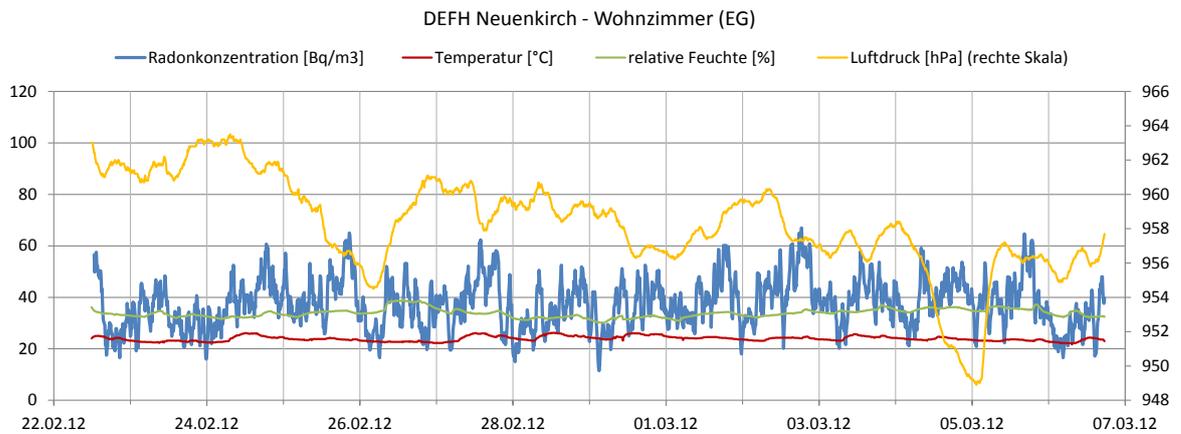
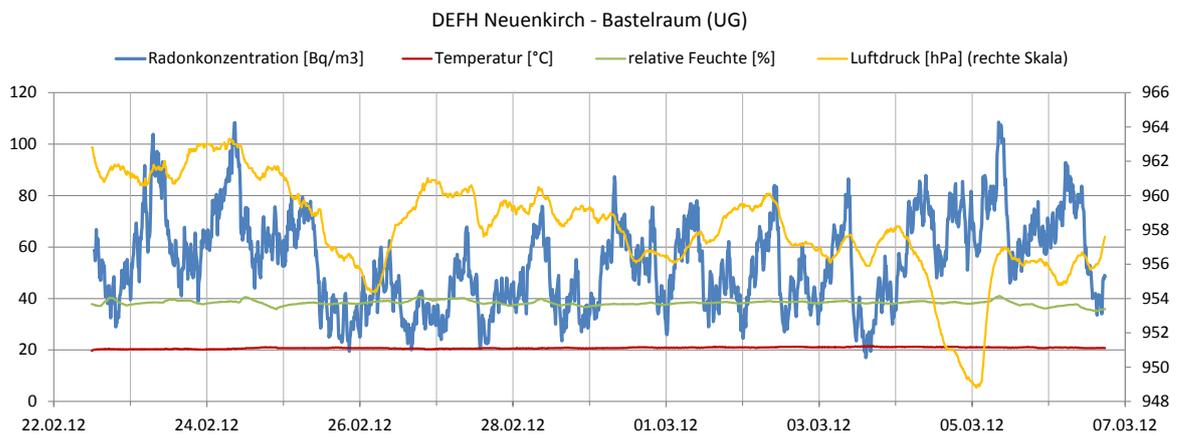
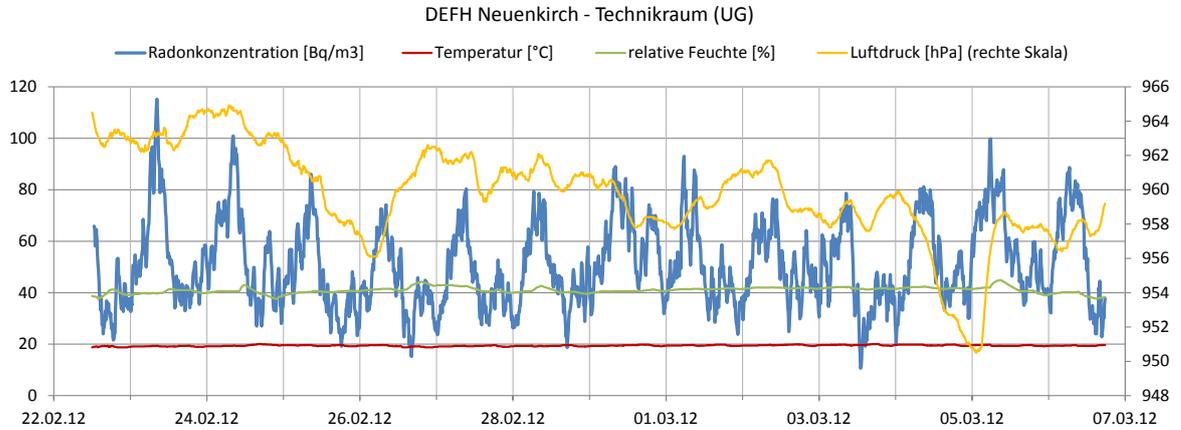


Horw, 12. September 2012

Seite 84/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

9.4.14. DEFH Neuenkirch

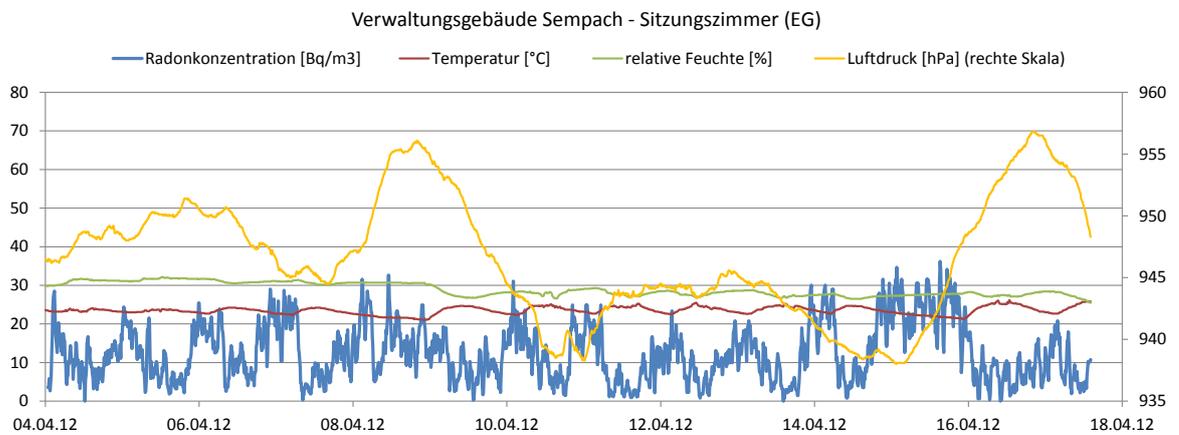
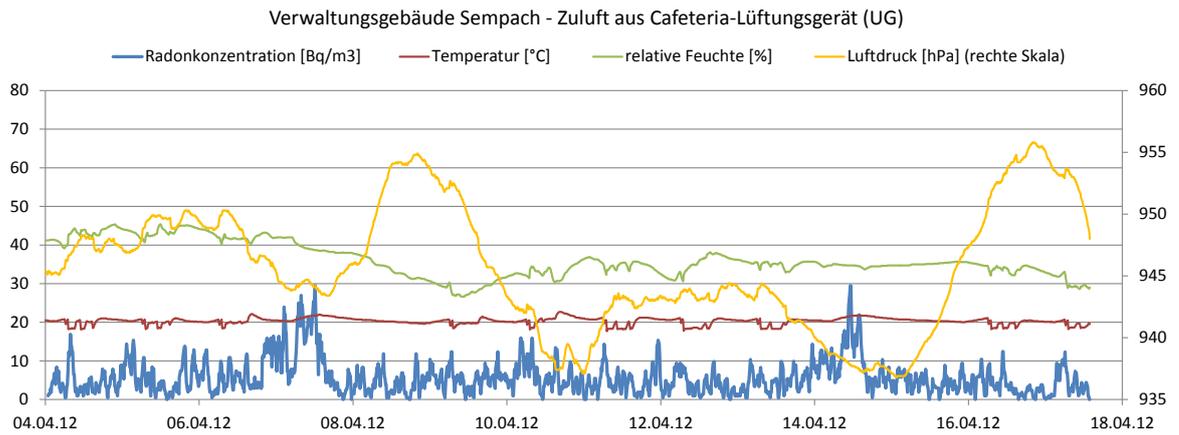
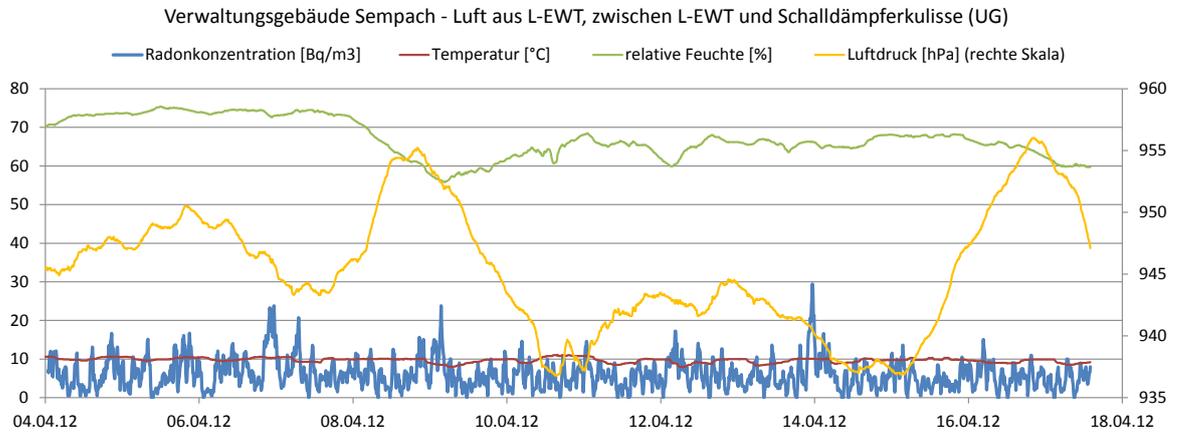


Horw, 12. September 2012

Seite 85/86

Bericht – Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern

9.4.15. Verwaltungsgebäude Sempach



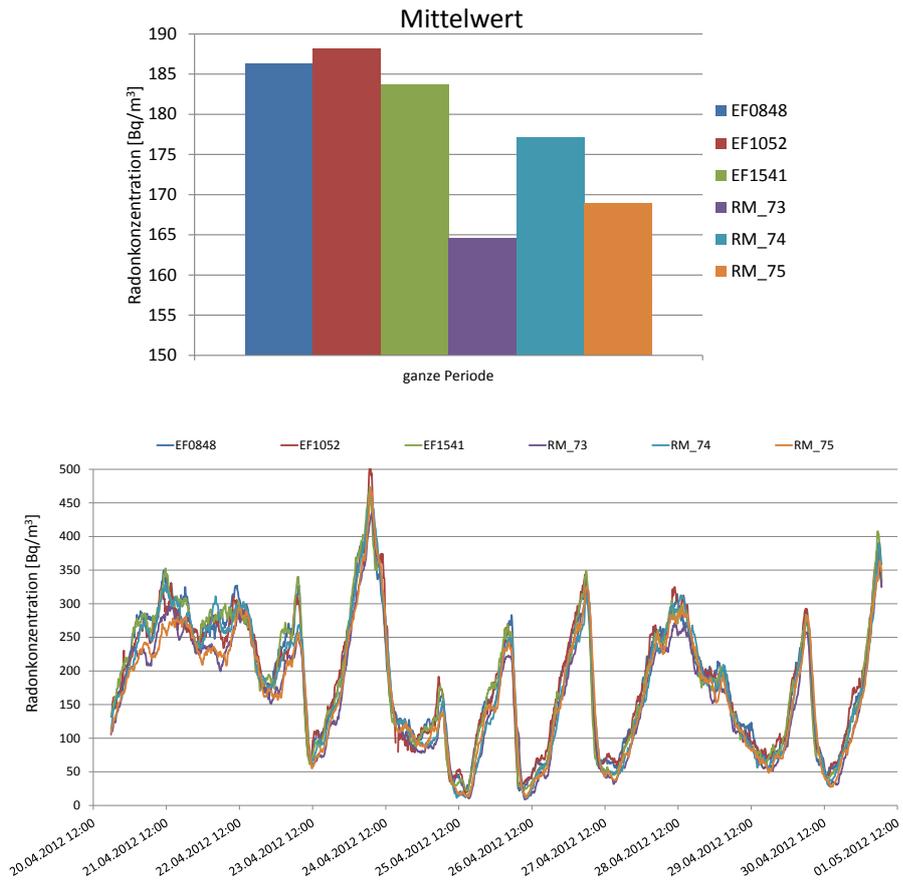
9.5. Vergleichsmessungen

EFXXXX = AlphaGUARD Radonmonitor

RM_XX = RadonMapper Radonmonitor

9.5.1. Keller - Dienststelle Umwelt und Energie des Kantons Luzern

Messperiode: 20.04.2012 bis 01.05.2012



9.5.2. Klimakammer – Prüfstelle Gebäudetechnik, ZIG, Hochschule Luzern – T&A

Messperiode: 01.05.2012 bis 04.05.2012

