

Radon

Praxis-Handbuch Bau



Hinweise zum Praxis-Handbuch Radon

Das Praxis-Handbuch Radon bietet eine Anleitung für bauliche, technische und organisatorisch-betriebliche Massnahmen zur Minderung der Radonbelastung. Neben theoretischen Aspekten werden Beispiele von präventiven Radonschutzmassnahmen und Radonsanierungen aus der Praxis vorgestellt und detailliert beschrieben. Als Adressaten gelten Baufachleute in der Beratung, in der Planung und in der Ausführung sowie Verwaltungen von Liegenschaften und Hauseigentümerschaften.

Das Praxis-Handbuch Radon gilt als vertiefende Ergänzung zur [Wegleitung Radon](#) und zu den [Empfehlungen zum Radonschutz in Neubauten](#). **Dabei ist zu beachten, dass bei widersprüchlichen Angaben immer die Wegleitung Radon und die Empfehlungen des BAG Vorrang haben.**

Das Praxis-Handbuch Radon liegt in gedruckter Form in drei Sprachen (Deutsch, Französisch, Italienisch) vor und kann unter dem folgendem Link bestellt werden: <https://www.faktor.ch/faktor-buecher/radon-praxis-handbuch-bau.html>



Radon

Praxis-Handbuch Bau

Schriftenreihe Technik ■ Faktor Verlag

Impressum

Radon – Praxishandbuch Bau
1. Auflage, Januar 2018
Herausgeber: Bundesamt für Gesundheit
BAG, Bern
Mitherausgeber: Schweizerischer Ingenieur-
und Architektenverein SIA und Schweizeri-
scher Verein von Gebäudetechnik-Ingenieuren
SWKI
ISBN: 978-3-905711-44-8

Begleitgruppe

Sektion Radiologische Risiken (BAG),
Franco Fregnan und Falk Dorsch (Radon-
fachstelle Deutschschweiz, FHNW)

Autoren

Othmar Humm, Morris Breunig, Jutta
Glanzmann, Leonid Leiva, Tünde Kirstein,
Christine Sidler

Fachlektorat

Franco Fregnan, Falk Dorsch und Antoine
Geiser, Radonfachstelle Deutschschweiz,
FHNW; Stefan Schafflützel, BauBioLogo
GmbH; Marco Ghielmetti, Ingenieur- und
Planungsbüro Marco Ghielmetti

Bezug

Faktor Verlag, 8005 Zürich,
info@faktor.ch, www.faktor.ch

Bildquellen

■ «Radonschutzmassnahmen – Planungs-
hilfe für Neu- und Bestandsbauten»,
Herausgeber: Sächsisches Staatsministerium
für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL),
Gestaltung: Michael Reiter, 2016
■ «Radon: Vorsorgemassnahmen bei Neu-
bauten», Herausgeber: Radonfachstellen
aus Österreich, Schweiz, Süddeutschland,
Südtirol, 2012

Projektquellen Beispiele

■ Radonfachstelle Deutschschweiz, Fach-
hochschule Nordwestschweiz, Institut
Energie am Bau, Franco Fregnan, Falk
Dorsch, Antoine Geiser
■ Centro competenza radon, SUPSI, Scuola
Universitaria della Svizzera Italiana, Marcus
Hoffmann und Luca Pampuri
■ Joëlle Goyette Pernot, Professeure à la
Haute école d'ingénierie et d'architecture de
Fribourg, institut Transform et déléguée
radon de l'OFSP pour la Suisse romande
■ Kantonales Laboratorium Basel-Stadt,
Dr. Markus Zehringer
■ Kanton Graubünden, Amt für Lebens-
mittelsicherheit und Tiergesundheit,
Roland Fiechter
■ Kanton Solothurn, Amt für Umwelt,
Fachstelle Gefahrstoffe, Werner Friedli
■ Bauart Architekten und Planer AG,
Yorick Ringeisen
■ Binker Materialschutz GmbH,
Dr. Gerhard Binker
■ Dr. Baumer SA
■ Fürst Laffranchi Bauingenieure GmbH,
Jürg Vögeli
■ Hynatec, Dr. Daniel Oldenziel
■ Miller & Maranta AG, Harald Schmidt
■ Stop-Radon, Dr. Robert Gaisch
■ Truffer Ingenieurberatung AG,
Philipp Truffer
■ Rolf Wild, Bauingenieur

Inhalt

Grundlagen	7
1.1 Was ist Radon?	7
1.2 Wirkung von Radon auf den Menschen	8
1.3 Gesetzliche Werte für die Radonkonzentration	9
1.4 Messung von Radon	10
1.5 Radon-Vorkommen in der Schweiz	11
1.6 Radon im Gebäude	12
1.7 Anlaufstellen	13
1.8 Radonschutz – die zehn häufigsten Mängel	14
Radonschutz als Teil des Planungsprozesses	17
2.1 Integraler Ansatz	17
2.2 Prävention im Neubau	18
2.3 Radonschutz bei bestehenden Gebäuden	20
Konzeptioneller Radonschutz	21
3.1 Überblick	21
3.2 Standortwahl	22
3.3 Planung der Raumnutzung	22
3.4 Planung der Gebäudehülle und Gebäudestruktur	22
Schaffung von Barrieren	25
4.1 Überblick	25
4.2 Flächige Barriere gegen Erdreich	27
4.3 Abdichtung von Durchführungen, Rissen, Fugen bei erdberührenden Bauteilen	33
4.4 Abdichtung von Türen, Klappen, Schachtdeckeln und ähnlichen Bauteilen	36
4.5 Raumseitige Flächenabdichtung	37
Radonschutz durch Lenkung von Luftströmungen	39
5.1 Übersicht der Massnahmen	39
5.2 Unterdruck vermeiden	42
5.3 Überdruck erzeugen	44
5.4 Luftwechsel erzwingen	45
5.5 Gebäude unterlüften	46
Beispiele	51
6.1 Übersicht	51
6.2 Bestehende Bauten	53
6.3 Neubauten	103
Anhang	113

Gesundheit als Planungskriterium

Radon ist in der Schweiz eine der Hauptquellen ionisierender Strahlung (Radioaktivität) für die allgemeine Bevölkerung. Dieses Gas ist gemäss epidemiologischer Studien nach dem Rauchen die häufigste Ursache für Lungenkrebs. Das Bundesamt für Gesundheit (BAG) schätzt, dass Radon so in der Schweiz jährlich zu 200 bis 300 Todesfällen führt.

Mit der Strahlenschutzverordnung von 1994 fand der Radonschutz erstmals Eingang in die nationale Gesetzgebung. Darin wurden Grenz- und Richtwerte der Radonkonzentration für Wohn- und Büroräume festgelegt. Im Rahmen der Revision der Strahlenschutzverordnung wird nun in der Schweiz aufgrund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse und internationaler Empfehlungen der Radonreferenzwert auf 300 Bq/m^3 gesenkt. Für radonexponierte Arbeitsplätze gilt neu ein Schwellenwert von 1000 Bq/m^3 . Den neuen Bestimmungen zufolge ist die gesamte Schweiz als Radonrisikogebiet zu betrachten.

Mit dem Radonaktionsplan 2012–2020 des Bundesrates liegt eine nationale Strategie für den Umgang mit der neuen Situation vor. Besonders grosse Herausforderungen ergeben sich für Baufachleute, Bauherrschaften und Gebäudeeigentümer. Der Radonschutz muss in Zukunft bei der Planung von Neubauten stärker berücksichtigt werden.

**Sektion Radiologische Risiken
Bundesamt für Gesundheit**

Grosse Vielfalt an technischen Lösungen

Der Löwenanteil unseres Gebäudeparks weist keine Neubauqualität auf. Entsprechend gross ist das Risiko für eine gefährliche Belastung der Raumluft mit Radon. Dies gilt vor allem an Standorten mit stark radonhaltiger Bodenluft – in der Schweiz ist dies vielenorts der Fall. Die grossflächige Abdichtung der Böden und erdberührenden Wänden ist in vielen Bauten gar nicht möglich, weder innen noch aussen. Als Ergänzung zu allfälligen baulichen Schutzmassnahmen bieten sich aber gebäudetechnische Einrichtungen zur Lüfterneuerung oder zur Abluftführung respektive zur Absaugung von belasteter Luft an.

Konvektive Schutzmassnahmen in radonbelasteten Bauten sind in der Regel nicht nur kostengünstiger als aufwändige Flächensanierungen, sondern sie haben aufgrund der Leistungsvariation auch betriebliche Vorteile. Der Betrieb der Geräte passt sich bei diesen Lösungen an die Radonbelastung an, fallweise auf der Basis von Messwerten. Zudem lassen sich Einrichtungen der Gebäudetechnik einfach und modular nachrüsten und ergänzen. Diese Option bekommt aufgrund des hohen Bedarfs an Erneuerungen – Stichwort «Sanierungsstau» – zusätzliches Potenzial. Wir sind bereit!

**Elmar Fischer
Präsident Schweizerischer Verein von
Gebäudetechnik-Ingenieuren SWKI**

Integrales Bauen ist kosteneffizient

Konsequenter Radonschutz bedingt integrales Bauen. Denn rein supplementäre Massnahmen sind allenfalls bei dringenden Sanierungen von älteren Bauten zu rechtfertigen. Im Neubau und bei Gesamterneuerungen dagegen ist der Schutz vor radioaktiver Belastung der Raumluft integraler Teil von allgemein üblichen Baumassnahmen. Für diesen Ansatz ist die Norm SIA 180 «Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden» ein praxiserprobtes Beispiel: Die bauphysikalische Qualität einer normgerechten Gebäudehülle sichert ein behagliches und gesundes Raumklima und schützt die Konstruktion vor Bauschäden. Infiltrationen von radonhaltiger Luft lassen sich aufgrund der Luftdichtheit nach Norm SIA 180 verhindern oder bis auf eine unkritische Belastung vermindern. Der Radonschutz ist technisch machbar. Der Fokus der Planer – Architekten wie Gebäudetechniker – sollte deshalb verstärkt auf der Kosten- und Materialeffizienz liegen. Elegant lassen sich derartige Vorgaben in Paketen erfüllen. Typisch dafür sind bauliche und haustechnische Massnahmen, die Energie einsparen und den Radonschutz verbessern. Die Lösungen sind auf dem Tisch, jetzt müssen wir sie nur noch umsetzen.

Stefan Cadosch
Präsident Schweizerischer Ingenieur-
und Architektenverein SIA

Hunziker Areal in Zürich
(Niklaus Spoerri für pool
Architekten)



Kapitel 1

Grundlagen

1.1 Was ist Radon?

Radon ist ein natürliches, radioaktives Edelgas, das vor allem über das Erdreich in die Raumluft von Gebäuden gelangt. Das Radongas ist auch in hohen Konzentrationen unsichtbar, geruch- und geschmacklos. Es entsteht beim Zerfall von Radium, das wiederum aus dem Zerfall von Uran hervorgeht. Da Uran in Gesteinen und im Boden vorkommen kann und sehr langsam – über Milliarden von Jahren – zerfällt, ist der uranhaltige Untergrund eine permanente, praktisch unerschöpfliche Quelle von Radon. Weil Radon zu den Edelgasen gehört, lässt es sich kaum binden. Das Gas steigt je nach Beschaffenheit des Bodens und anderen Faktoren – wie etwa den herrschenden meteorologischen Bedingungen – mehr oder weniger leicht an die Erdoberfläche auf. Mit der Bodenluft dringt es dann primär über undichte Stellen der Gebäudehülle ins Haus ein. In geschlossenen Räumen kann die Radonkonzentration so stark steigen, dass die Strahlenbelastung gesundheitsgefährdend wird.

Radon wirkt (vor allem) indirekt auf den Menschen. Das Gas selbst wird, einmal eingeatmet, in praktisch gleichen Mengen wieder ausgeatmet. Aber die festen, radioaktiven Folgeprodukte, die beim Zerfall von Radon entstehen (Polonium, Bismut, Blei), können sich in den Atemwegen, den Bronchien und der Lunge einnisten. Dort emittieren sie ionisierende (Alpha-)Strahlung, die das unmittelbar umliegende Gewebe schädigen kann. Die möglichen Schäden treten (in Form von Lungenkrebs) in der Regel Jahre oder gar Jahrzehnte später auf.

Die absorbierte Strahlendosis hängt sehr stark vom sogenannten Gleichgewichtsfaktor ab. Dieser ist ein Mass für die in der Atemluft vorhandenen Folgeprodukte. Ist der Gleichgewichtsfaktor klein, hat sich ein Grossteil der Folgeprodukte an Decken und Wänden abgelagert (Plate-out) und kann nicht eingeatmet werden. Ist er gross, haben sich die meisten Folgeprodukte an Luftteilchen (Aerosolen, Staubpartikeln etc.) angelagert und können so durch die Atmung in die Lunge gelangen. Je besser die Raumluft, z. B. aufgrund einer Lüfterneuerung, von Schwebeteilchen gesäubert wird, desto tiefer sind der Gleichgewichtsfaktor und damit die Lungendosis.

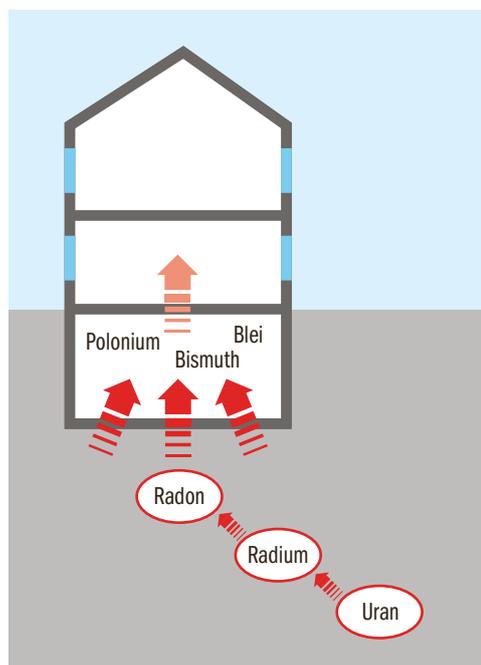


Abbildung 1.1: Radon entsteht beim Zerfall von Uran. Die Zerfallsprodukte Polonium, Bismuth und Blei sind radioaktiv und können über die Atemluft in die Lunge gelangen und sie schädigen (Quelle: BAG).

1.2 Wirkung von Radon auf den Menschen

In Gebäuden sollte immer eine möglichst tiefe Radonkonzentration angestrebt werden, denn ein Risiko, durch Radonbelastung an Lungenkrebs zu erkranken, besteht auch bei geringen Radonkonzentrationen.

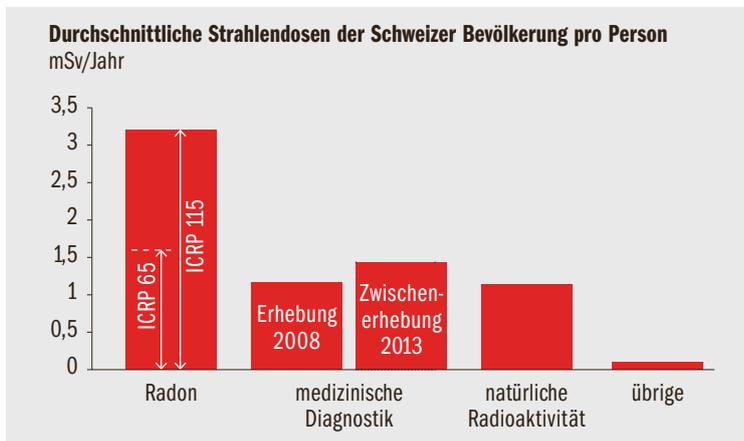
Abbildung 1.2: Durchschnittliche Strahlendosen der Schweizer Bevölkerung: Die Belastung durch Radon muss nach der neuen Beurteilung durch die Internationale Strahlenschutzkommission ICRP (ICRP 115, 2010) deutlich höher eingeschätzt werden als zuvor (ICRP 65). Der Wert für die medizinische Diagnostik ist in der Zwischenerhebung 2013 etwas angestiegen (Quelle: Jahresbericht Strahlenschutz BAG, 2016).

Radon und seine Folgeprodukte liefern den Hauptbeitrag zur Dosisbelastung von ionisierender Strahlung (Radioaktivität) für die Bevölkerung in der Schweiz (Abbildung 1.2). Epidemiologische Studien in Europa, Nordamerika und China haben gezeigt, dass Radon nach dem Rauchen eine bedeutende Ursache von Lungenkrebs ist. Gemäss der Weltgesundheitsorganisation WHO verursacht Radon je nach Land 3 % bis 14 % aller Lungenkrebsfälle. Das Bundesamt für Gesundheit BAG geht davon aus, dass von den jährlichen rund 3000 Todesfällen durch Lungenkrebs in der Schweiz 200 bis 300 auf Radon zurückzuführen sind. Das Lungenkrebsrisiko ist umso grösser, je höher die Radonkonzentration in der Atemluft ist und je länger man diese Luft einatmet. Dabei nimmt das Risiko linear mit der Radonexposition (Konzentration mal Dauer) zu. Epidemiologische Studien haben gezeigt, dass das relative Lungenkrebsrisiko um 16 % pro 100 Bq/m³ steigt. Bei einer Radonkonzentration von 300 Bq/m³, die dem aktuellen Referenzwert entspricht, ergibt sich somit eine Steigerung des relativen Lungenkrebsrisikos um 48 %. Dies entspricht einer Erhöhung der Zahl der Todesfälle bei Nichtrauchern von rund 4 pro 1000 auf rund 6 pro 1000. Bei Rauchern (1 Packung pro Tag) steigen die Todesfälle von etwa 100 pro 1000 auf etwa 150 pro 1000.

Ein Schwellenwert der Konzentration, unter dem Radon unschädlich wäre, ist nicht bekannt. Demzufolge sollte in Gebäuden immer eine möglichst tiefe Radonkonzentration angestrebt werden, denn ein Risiko, durch Radonbelastung an Lungenkrebs zu erkranken, besteht auch bei geringen Radonkonzentrationen.

Damit ist Radon im Wohnbereich einer der gefährlichsten krebserzeugenden Stoffe. Eine unmittelbare Wirkung, wie zum Beispiel Übelkeit, Atembeschwerden oder Schweissausbrüche hat das Gas auch bei hoher Konzentration jedoch nicht. Auch ein möglicher Zusammenhang zwischen Radonbelastung und anderen Erkrankungen (wie etwa Kinderleukämie) konnte bisher nicht nachgewiesen werden. Radon bewirkt auch keine Erbkrankheiten.

In der Aussenluft stellt Radon eine äusserst geringe Gefahr dar, weil die Konzentrationen sehr tief sind. Auch Baumaterialien haben sich bei Untersuchungen in der Schweiz bisher nicht als relevante Radonquelle erwiesen. Es gibt jedoch einzelne Fälle, in denen Baustoffe oder Einrichtungsgegenstände Radon freisetzen, z. B. Granitarbeitsflächen, Bodenbeläge und Wandabdeckungen aus Naturstein, Schlackefüllungen in Geschosdecken oder Mineraliensammlungen. Zwar kann Radongas auch in Wasser gelöst vorkommen und mit der Wasserversorgung ins Haus gelangen, doch der Wasserverbrauch für Kochen, Waschen und Baden führt typischerweise zu keiner wesentlichen Erhöhung der Radongaskonzentration in der Raumluft. Die Aufnahme (Ingestion) von Radon durch Trinkwasser oder im Keller gelagerte Lebensmittel ist gesundheitlich nicht relevant.



1.3 Gesetzliche Werte für die Radonkonzentration

Seit 1994 sind in der eidgenössischen Strahlenschutzverordnung Kennwerte für die Radongaskonzentration festgelegt. Aufgrund von epidemiologischen Studien aus mehreren Ländern und den neusten wissenschaftlichen Erkenntnissen empfiehlt die Weltgesundheitsorganisation WHO einen Referenzwert für Radon von 100 bis 300 Bq/m³. Daher wurde in der neuen Strahlenschutzverordnung, in Kraft seit dem 1. Januar 2018, der Grenzwert für die über ein Jahr gemittelte Radongaskonzentration von 1000 Bq/m³ aus der alten Verordnung durch einen Referenzwert von 300 Bq/m³ ersetzt. Er gilt für Räume, in den sich Personen regelmässig während mehrerer Stunden pro Tag aufhalten. **Damit muss beim Bauen die Radonbelastung künftig in der ganzen Schweiz stärker beachtet werden.** Von den über 150 000 gemessenen Gebäuden in der Schweiz liegen rund 12 % über dem neuen Referenzwert von 300 Bq/m³. Für den gesamten Gebäudepark der Schweiz muss daher mit 50 000 bis 100 000 sanierungsbedürftigen Gebäuden gerechnet werden. Gemäss der revidierten Strahlenschutzverordnung müssen die Kantone oder die Gemeinden bereits während des Baubewilligungsprozesses von Neu- und Umbauten die Eigentümer oder die Bauherrschaft auf die Anforderungen der Strahlenschutzverordnung hinsichtlich nötiger Radonschutzmassnahmen aufmerksam machen. Wenn der Referenzwert überschritten wird, trifft der Gebäudeeigentümer die notwendigen Sanierungsmassnahmen auf eigene Kosten. Vom BAG und den Kantonen erhält er Empfehlungen zur Dringlichkeit einer Radonsanierung. Bleibt der Gebäudeeigentümer untätig, so kann der Kanton die Radonsanierung anordnen. Bei Schulen und Kindergärten ordnet der Kanton bei Werten über 300 Bq/m³ eine Radonsanierung innert drei Jahren an. Im Rahmen der Revision der Strahlenschutzverordnung wurde der Grenzwert von 3000 Bq/m³ für Arbeitsplätze durch einen

Schwellenwert von 1000 Bq/m³ ersetzt. Wird dieser Schwellenwert überschritten, ist der Betrieb verpflichtet, die jährlich durch Radon verursachte effektive Dosis der exponierten Personen zu ermitteln. Sie wird aus der Radonkonzentration in der Luft und der Aufenthaltszeit am betreffenden Arbeitsplatz abgeleitet und in Millisievert (mSv) pro Jahr angegeben. Liegt die effektive Dosis einer Person am Arbeitsplatz über 10 mSv pro Jahr muss der Betrieb Massnahmen ergreifen. Kann die effektive Dosis nicht unter 10 mSv pro Jahr gesenkt werden, so gilt die Person als beruflich strahlenexponiert, was bewilligungspflichtig ist.

Minergie-Eco

Die Anforderungen beim Baustandard Minergie-Eco sind noch stringenter: Hier gilt, die Vorgabe 100 Bq/m³ für Neubauten und 300 Bq/m³ für sanierte Gebäude nicht zu übersteigen. Bei Modernisierungen muss die Einhaltung der Werte mit Messungen belegt werden, bei Neubauten sind Messungen fakultativ. Die allenfalls zu ergreifenden Massnahmen sind jedoch mit der kantonalen Radonfachperson abzustimmen.

Radonreferenzwert

Der Radonreferenzwert von 300 Bq/m³ bezieht sich auf Räume, in denen sich Personen regelmässig während mehrerer Stunden pro Tag aufhalten.

Schwellenwert

Als radonexponiert gelten Arbeitsplätze, an denen der Schwellenwert von 1000 Bq/m³ sicher oder vermutungsweise überschritten ist, z. B. in unterirdischen Bauten, Bergwerken, Höhlen oder Wasserversorgungsanlagen.

Tabelle 1.1: Vergleich der gesetzlichen Werte.

Verordnung 2018		
Raumtyp	Referenzwert	Schwellenwert
Räume, in denen sich Personen regelmässig während mehrerer Stunden pro Tag aufhalten	300 Bq/m ³	–
Radonexponierte Arbeitsplätze	–	1000 Bq/m ³
Verordnung 1994		
Raumtyp	Richtwert	Grenzwert
Wohn- und Aufenthaltsräume	400 Bq/m ³	1000 Bq/m ³
Kindergarten, Schule	400 Bq/m ³	1000 Bq/m ³
Arbeitsplatz	400 Bq/m ³	3000 Bq/m ³

1.4 Messung von Radon

Die Radonkonzentration in der Luft wird in Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m^3) gemessen. Wie stark die Raumluft belastet ist, kann auf einfache und kostengünstige Weise mit einem Dosimeter festgestellt werden. Radon-Dosimeter können bei anerkannten Messstellen bezogen werden. Zur Auswertung der Resultate sind die Dosimeter nach einer Expositionsdauer von mindestens 90 Tagen während der Heizperiode an die Messstelle zurückzuschicken. Die Dosimeter-Messungen kosten zwischen 70 und 100 Franken.

Die etwas kostspieligere Variante sind Messungen mit elektronischen Dosimetern. Sie kosten zwischen 300 und 400 Franken und zeigen die Radonbelastung in Echtzeit an. Dadurch wird eine kontinuierliche Überwachung der Radonbelastung möglich. Zeitauflösende Messgeräte werden oft zur Kontrolle und Optimierung von Sanierungsmaßnahmen eingesetzt.

Die Radonkonzentration kann in einem Raum über die Zeit stark schwanken. Als verlässliche Entscheidungshilfen sind deshalb nur Mittelwerte über eine längere Messdauer verwendbar, mindestens während 90 Tagen. Dies gilt für passive wie auch für elektronische Messgeräte. Je länger die Messung dauert, desto aussagekräftiger ist das Resultat.

Abbildung 1.3: Radon-Dosimeter sind kleiner als ein Joghurtbecher (Quelle: BAG).



Alle in der Schweiz von anerkannten Stellen vorgenommenen Messungen werden nach festgelegten Messprotokollen durchgeführt und in die Radondatenbank des Bundes eingegeben.

Eine anerkannte Messung muss mindestens 90 Tage während der Heizperiode dauern. In Einfamilienhäusern sollte bevorzugt in Wohnräumen mit Erdkontakt gemessen werden. Bei Mehrfamilienhäusern ist die Messung in den untersten Wohnungen durchzuführen. Pro Wohneinheit (bzw. Einfamilienhaus) sind möglichst zwei getrennte Wohnräume mit langer Aufenthaltszeit (Wohnzimmer, Schlafzimmer) zu messen. Orte mit starkem Luftzug oder grosser Feuchtigkeit (Küche, Badezimmer) eignen sich nicht als Messort. Empfohlen wird eine zusätzliche Messung im Untergeschoss bzw. in einem Raum mit hohem Radonpotenzial (z. B. ein Keller mit Naturboden). Die Stelle, an der gemessen wird, soll folgende Bedingungen erfüllen:

- Etwa auf Atemlufthöhe (z. B. auf einem Möbelstück) und der Raumluft ausgesetzt (nicht in einem Schrank oder einer Schublade).
- 1 Meter Mindestabstand zu Fenstern, Haus- und Gartentüren.
- Keine direkte Sonnenstrahlung; nicht in der Nähe von Wärmequellen (z. B. Heizkörper, Kamin, Fernsehgerät).
- Die Messung sollte während der üblichen Benutzung der Räume durchgeführt werden. Die Anzahl aufeinanderfolgender Tage, an denen der Messort nicht bewohnt ist, sollte 20 % der gesamten Messdauer nicht übersteigen.
- Die Messbedingungen dürfen während der Messung nicht verändert werden, und die Messinstrumente dürfen nicht verschoben werden.

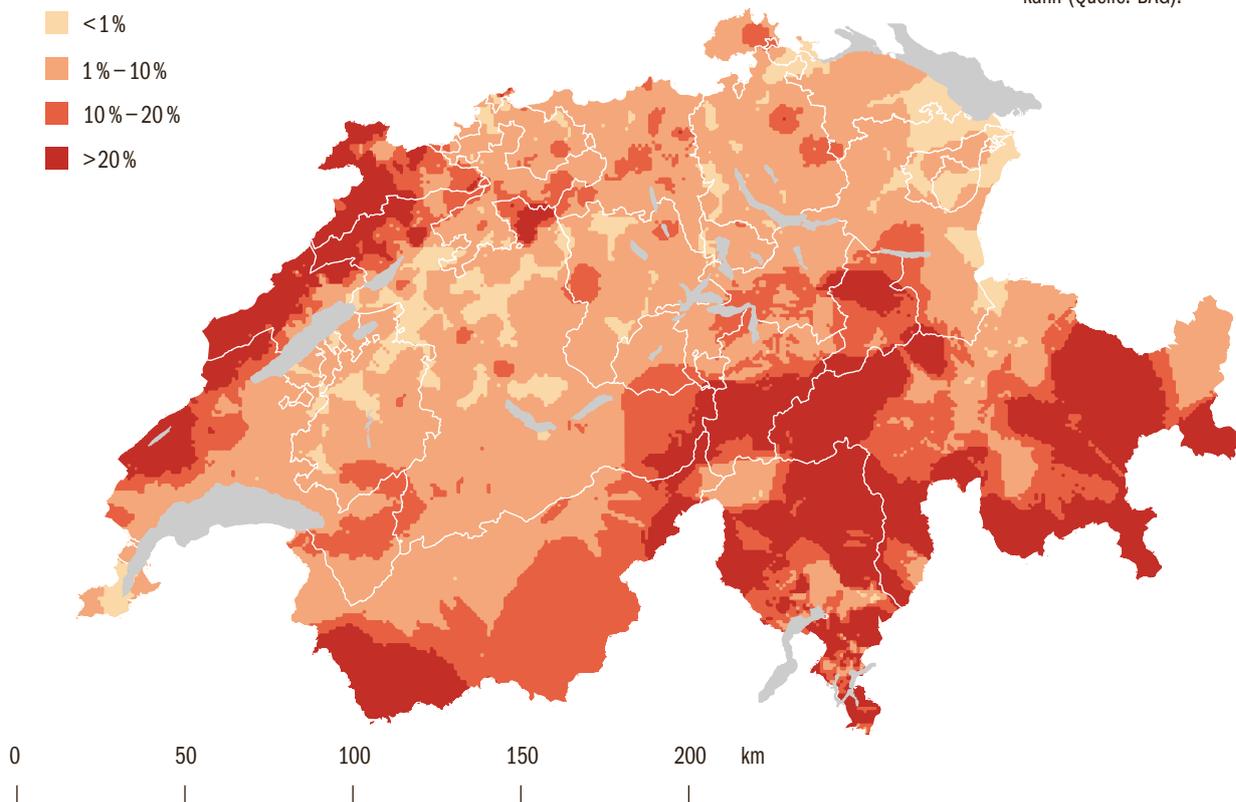
1.5 Radon-Vorkommen in der Schweiz

Die mittlere Radongaskonzentration in bewohnten Gebäuden liegt in der Schweiz bei etwa 75 Bq/m^3 . Vereinzelt wurden Spitzenwerte von über $10\,000 \text{ Bq/m}^3$ gemessen. Solch hohe Radonkonzentrationen kommen hauptsächlich in den Alpen und im Jura vor, aber auch im Mittelland stehen einzelne hoch belastete Gebäude, denn **die Radonkonzentration kann lokal stark variieren und unvermittelt auf einzelnen Bauplätzen sehr erhöht sein**. Die Radonkarte des Bundes (map.geo.admin.ch) gibt einen ersten Anhaltspunkt, ob mit Radonkonzentrationen über 300 Bq/m^3 in der Raumluft von Gebäuden gerechnet werden muss. Sofern ein Standort in dieser Karte eine Wahrscheinlichkeit von über 10% aufweist, kann dies als Hinweis für ein erhöhtes Radonpotenzial gelten.

Aufgrund der neuen Risikoeinschätzung entfällt auf Radon heute der Grossteil der durchschnittlichen Strahlenbelastung der Bevölkerung in der Schweiz. Mit dem neuen Referenzwert wird die bisherige Unterteilung in Radon- und Nichtradongebiete hin-fällig, da in allen Gemeinden der Schweiz eine Überschreitung des Referenzwertes von 300 Bq/m^3 in einzelnen Gebäuden vorkommen kann. Neu ist also die gesamte Schweiz von der Problematik betroffen. Aus diesem Grund ist bei Hausbesitzern, Bauherrschaften, Architekten und Planern eine erhöhte Sensibilität für das Thema angezeigt.

Neu ist die gesamte Schweiz von der Radonproblematik betroffen. Aus diesem Grund ist bei Hausbesitzern, Bauherrschaften, Architekten und Planern eine erhöhte Sensibilität für das Thema angezeigt.

Abbildung 1.4: Die Radonkarte beschreibt die Wahrscheinlichkeit, mit der an einem Standort eine Radonkonzentration über 300 Bq/m^3 in der Raumluft von Gebäuden auftreten kann (Quelle: BAG).



1.6 Radon im Gebäude

Die Hauptquelle für Radon in Häusern ist der Bauuntergrund. Das Gas wandert aus dem Untergrundgestein durch den Boden nach oben. Je durchlässiger der Untergrund, desto leichter kann Radon bis zur Erdoberfläche und in Häuser aufsteigen. Eine hohe Durchlässigkeit ist bei porigem, zerklüftetem oder kiesigem Untergrund zu finden, während Tonschichten kaum durchdrungen werden. Lokale Unterschiede beim Radonpotenzial sind deshalb sehr ausgeprägt. So kann ein Haus, das auf einer dicken, radonundurchlässigen Lehmschicht steht, weitgehend vor Radon geschützt sein – selbst wenn die Radonkonzentration im Untergrund relativ hoch ist. Hingegen können bereits geringere Konzentrationen im Untergrund in Kombination mit einer gasdurchlässigen Bodenschicht zu kritischen Verhältnissen bezüglich Radonbelastung der Innenraumluft führen.

Radon kann auf zwei Wegen ins Gebäude eindringen: Zum einen kann es durch **undichte Stellen und Öffnungen in der Gebäudehülle** hindurch treten. Zum anderen kann es durch die erdberührenden Bauteile hindurch diffundieren. Diese **Diffusion** durch Bauteile ist aber von geringer Bedeutung, da keine grossen Mengen an Radon auf dieser Weise ins Gebäude gelangen. Undichte Stellen in der Gebäudehülle bleiben also in aller Regel das dominierende Eintrittstor für Radon. Mögliche Leckagen sind Kellerböden aus Erde oder Kies (Naturböden), nachträglich eingebrachte Betonböden auf Streifenfundamenten (sehr häufig in Einfamilienhäusern der 1960er- und 1970er-Jahre), feinste Risse oder Fugen in Böden und Wänden sowie Durchführungen von Kabeln und Rohren. Zu beachten sind auch die Druckunterschiede, die dem Radon durch Konvek-

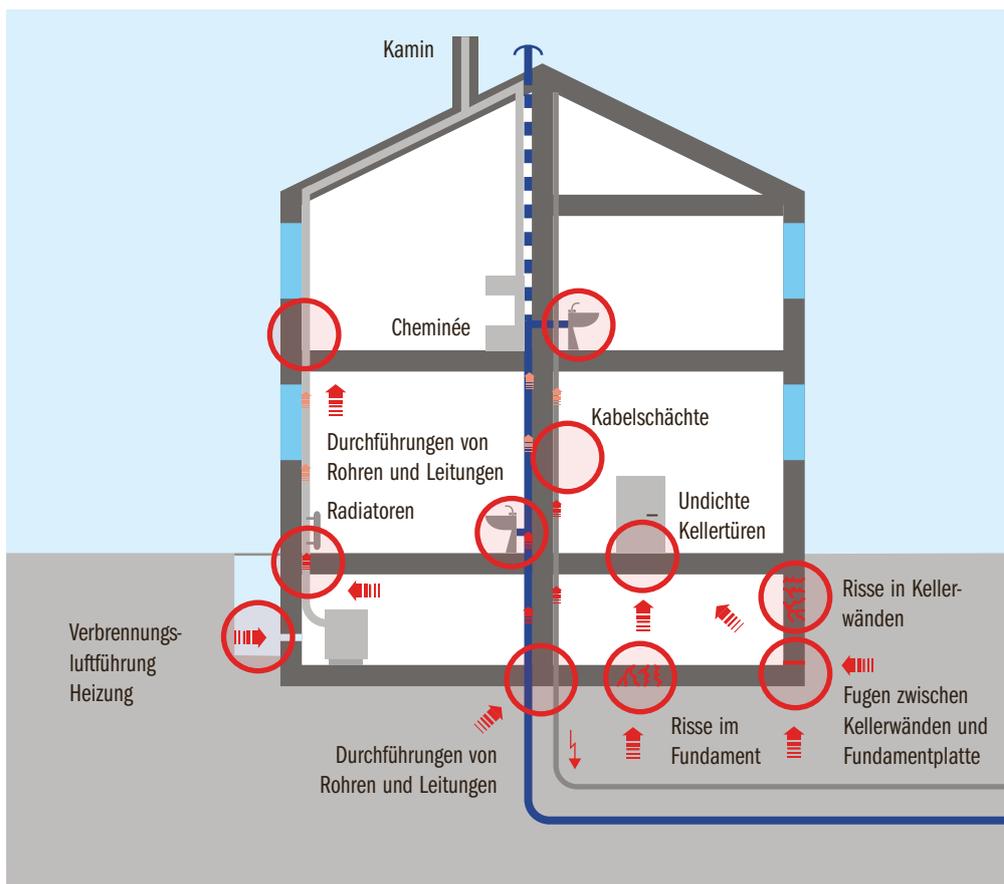


Abbildung 1.5: So gelangt Radon ins Gebäude.

tionseffekte das Eindringen ins Haus erleichtern. Besonders hervorzuheben ist der sogenannte «Kamineffekt», der zustande kommt, wenn warme Luft im Haus aufsteigt – der eigentliche «Motor» der Radoninfiltration. Das Aufsteigen von warmer Luft bewirkt im Keller und in den untersten Stockwerken einen leichten Unterdruck, der die radonhaltige Bodenluft förmlich «ansaugt». Diese Sogwirkung ist während der Heizperiode grösser als während dem Rest des Jahres und kann durch Cheminées oder Ventilatoren zusätzlich verstärkt werden. Aber auch eine Lüftungsanlage kann das Eindringen von Radon begünstigen, etwa durch einen ungenügenden Abgleich der Zu- und Abluftmengen (Unterdruck), undichte Erdregister oder eine ungünstige Platzierung der Aussenluftfassung in Bodennähe.

Das Gas gelangt mit der Bodenluft zunächst in den Keller und in die unteren Bereiche des Hauses. Von dort kann es sich weiter nach oben ausbreiten. Die Konzentration nimmt allerdings von Geschoss zu Geschoss ab. Meist ist ab dem zweiten Stockwerk nicht mehr mit hohen Werten zu rechnen. Bezüglich Radonbelastung ist jedes Haus ein Einzelfall. Die Untersuchungen in der Schweiz haben gezeigt, dass selbst eng beieinander stehende Häuser gleicher Bauart völlig verschiedene Radonwerte aufweisen können. **Deshalb ist eine genaue Voraussage der Radongaskonzentration in einem bestehenden Gebäude oder in einem geplanten Neubau aufgrund von Bauweise und Baugrunduntersuchungen nicht möglich.** Auch ein allgemein gültiges Konzept für die Ortung von bestehenden Häusern mit hoher Radongaskonzentration ist nicht verfügbar. Nur eine Messung kann sichere Angaben liefern. Sowohl bei Neubauten wie auch bei bestehenden Gebäuden lässt sich die Radonbelastung meist durch einfache bauliche Massnahmen reduzieren. Aus detaillierten Dokumentationen zahlreicher Sanierungen in der Schweiz und im Ausland sind geeignete Vorgehensweisen bekannt (Kapitel 6).

1.7 Anlaufstellen

In der Schweiz verfügt jede Sprachregion über eine regionale Radonfachstelle. Diese wird jeweils in einer Fachhochschule beherbergt und von einem Radondelegierten geführt. Die drei regionalen Radonfachstellen gewährleisten die fachliche Unterstützung der Radonfachpersonen und organisieren deren Aus- und Weiterbildung (Adressen im Anhang, Seite 113). Ausserdem bieten sie Unterstützung und Beratung bei Sanierungen und präventiven Massnahmen.

Die Radonverantwortlichen der Kantone können bei der Umsetzung von Radon-schutzmassnahmen in Räumen, in denen sich Personen regelmässig während mehrerer Stunden pro Tag aufhalten, beraten und unterstützen. Ausserdem geben sie Auskunft über die regionale Situation. Eine Zusammenstellung dieser Ansprechpersonen sowie Listen aller Radonfachpersonen und vom BAG anerkannten Messstellen sind auf www.ch-radon.ch zu finden.

1.8 Radonschutz – die zehn häufigsten Mängel

1. Boden und Wände im Untergeschoss sind undicht: Durchführungen von Kabeln und Rohren im Erdreich, Risse durch Absenkungen, Bauteilverschiebungen

Geeignete Massnahmen: Abdichten von Leckstellen; Installation von radondichten Durchführungen; Belüftung oder Entlüftung des Untergeschosses mittels Ventilator. Seite 27



Vornehmlich bei Sanierungen

2. Trennende Bauteile zwischen Unter- und Erdgeschoss sind undicht: Türe zur Kellertreppe, Risse und Fugen, Durchführungen von Kabeln und Rohren

Geeignete Massnahmen: Abdichten von Leckstellen (Türe zum Keller); Installation von radondichten Durchführungen; Belüftung des Untergeschosses mittels Ventilator. Seite 33



Vornehmlich bei Sanierungen

3. Keine Radonsperre oder wasserdichte Folie zwischen Schotterbett respektive Sauberkeitsschicht und Bodenplatte oder zwischen Bodenplatte und Kellerbodenaufbau

Geeignete Massnahmen: Mangel kaum zu beheben; nachträglicher Einbau einer radondichten Folie im Kellergeschoss (Boden und Wände); Belüftung des Untergeschosses mittels Ventilator; falls möglich: Unterdruck unter der Bodenplatte erzeugen. Seite 37



Vornehmlich im Neubau

4. «Naturkeller» mit Fussboden aus Erdreich

Geeignete Massnahmen: Einbau einer gasdichten Tür oder eines dichten Fussbodenaufbaus im «Naturkeller», fallweise in Verbindung mit einer radondichten Folie erdreichseitig; auf dichte Anschlüsse zu Kellerwänden achten. Diese Massnahme wenn möglich mit einer Radondrainage unter dem neuen Boden (und wenn vorhanden der Folie) kombinieren; falls möglich: Unterdruck unter der Bodenplatte erzeugen. Seite 27



Vornehmlich bei Sanierungen

5. Unter dem Gebäude verlegte Erdsonden oder Erdregister

Geeignete Massnahmen: Erdsonden und Erdregister nicht unter dem Gebäude installieren. Sofern Sonden oder Register bereits vorhanden sind: Mündungen von Erdsonden nach aussen und vom Aussenraum in den Haustechnikraum führen; abdichten von Luft-eintrittsstellen; Belüftung respektive Entlüftung des Untergeschosses mittels Ventilator. Seite 33



Vornehmlich im Neubau

6. Abluftanlage in Küche und Bad/WC respektive Wohnraumfeuerung erzeugt einen Unterdruck, der radonhaltige Luft aus dem Untergeschoss ansaugt

Geeignete Massnahmen: Nachströmöffnungen installieren; Installation einer Lüftungsanlage mit Zu- und Abluftführung respektive einer Zuluftanlage; raumluftunabhängige Verbrennungsluftführung zur Wohnraumheizung installieren. Seite 42



Bei Sanierungen und im Neubau

7. Abluftstrom deutlich grösser als Zuluftstrom, führt zu Unterdruck in Aufenthaltsräumen und begünstigt Ansaugen von radonhaltiger Luft aus dem Untergrund

Geeignete Massnahmen: Ausgeglichene Luftbilanz durch Einstellung der Luftvolumenströme am Lüftungsgerät; Zuluftstrom soll 5 % grösser als Abluftstrom sein; Nachkontrolle durch Messungen sinnvoll. Seite 42



Vornehmlich im Neubau

8. Unsachgemäss platzierte Aussenluftfassungen von Lüftungsanlagen (z. B. Ansaugung von belasteter Aussenluft via Lichtschacht an einem Kellerfenster)

Geeignete Massnahmen: Versetzung der Aussenluftfassung durch Verlängerung der Aussenluftführung; Fassung gemäss Merkblatt SIA 2023 respektive Norm SIA 382/5 (2018) mindestens 1,5 m über Erdboden (EFH: 0,7 m). Seite 45



Vornehmlich im Neubau

9. Unverschlossene Steigzonen, alte Kamine oder Leerrohre begünstigen den Auftrieb von Kellerluft

Geeignete Massnahmen: Orten und Dichten von Luftlecks an Ein- und Austrittstellen von Luft in luftführenden Hohlräumen und Schächten; Konvektionsschutz mit erster Priorität. Seite 33 und Seite 36



Vornehmlich bei Sanierungen

10. Konvektion radonhaltiger Luft durch Hohlräume und langgestreckte, verbindende Hohlräume in Zwischenwänden

Geeignete Massnahmen: Abdichtung von Ein- und Austrittstellen von luftführenden Hohlräumen mittels Konvektionsschutzfolie, fallweise in Verbindung mit radondichter Folie. Seite 36



Vornehmlich bei Sanierungen

Kapitel 2

Radonschutz als Teil des Planungsprozesses

2.1 Integraler Ansatz

Der Radonschutz wird in der Norm SIA 180 «Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden» als Teilaspekt der Raumluftqualität berücksichtigt. Die Norm hält fest, dass Räume, in denen sich regelmässig Personen während mehrerer Stunden aufhalten, genügend dicht gegen Wasser, Wasserdampf und Radon zu gestalten sind. **Präventive Massnahmen für den Radonschutz in Neubauten sind in der Regel kostengünstiger als Vorkehrungen an bestehenden Gebäuden.** Entsprechend wichtig ist der

integrale Ansatz: Die Planung und Projektierung – auch die Ausführungsplanung – eines Neubaus sollte von Beginn weg unter den Aspekten des Radonschutzes erfolgen, so wie der Wärmeschutz, der Brandschutz und der Schallschutz integrale Teile des Planungs- und Bauprozesses sind. Nachträgliche Massnahmen an einem fertigen Bauteil sind zu vermeiden. Weil integrale Massnahmen konsequenter umgesetzt werden können, sind sie in der Regel sehr viel wirksamer und zumeist auch kostengünstiger.

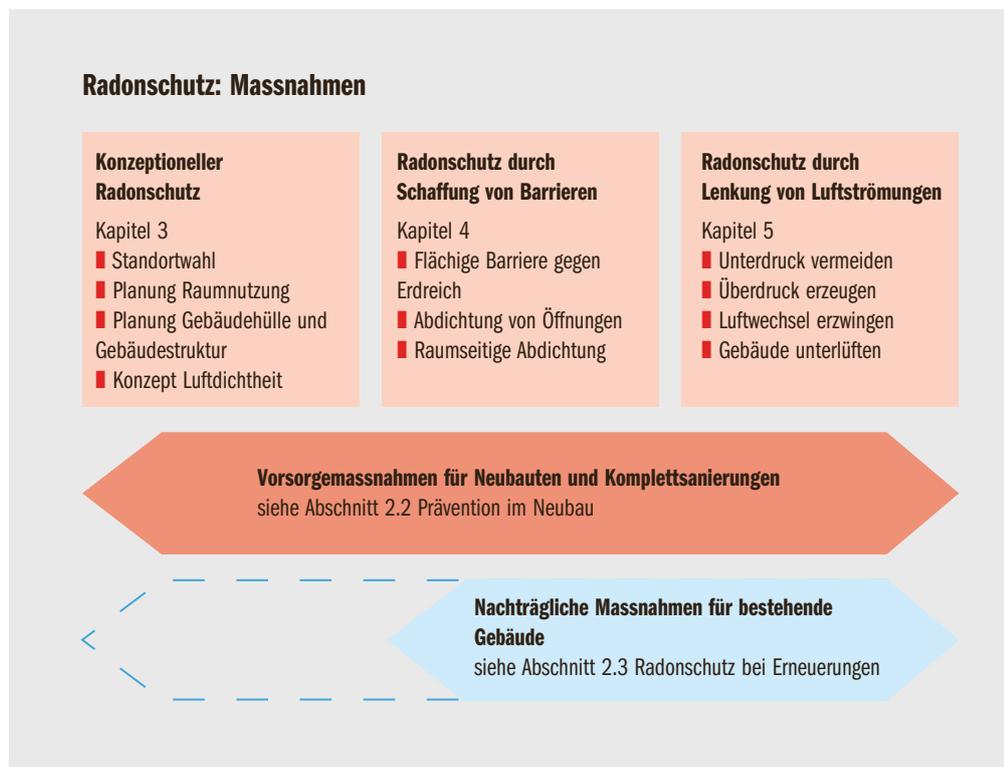


Abbildung 2.1: Massnahmen zum Radonschutz.

2.2 Prävention im Neubau

Zur Vermeidung von erhöhten Radonkonzentrationen im Gebäude sollten die Massnahmen auf die potenzielle Belastung abgestimmt sein. Mit einer einfachen Abschätzung lassen sich geeignete Massnahmenpakete evaluieren (Tabelle 2.1). Im Zentrum steht die potenzielle Belastung durch eine «Anbindung» des Gebäudes ans Erdreich. Denn die Beschaffenheit des Untergrundes, also des Erdreiches unter dem Gebäude, ist der wichtigste Einflussfaktor. Erste Priorität hat die Schaffung von Barrieren (Kapitel 4). Je dichter die Gebäudehülle gegen das Erdreich geplant und ausgeführt ist, desto geringer ist das Radonrisiko. In der Norm SIA 180 «Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden» sind Grenz- und Zielwerte der Luftdurchlässigkeit der Hüllfläche im Abschnitt 3.5 enthalten. Kriterium ist der auf die Hüllfläche des Raumes oder der Raumfolge bezogene stündliche Leckvolumenstrom bei einer Druckdifferenz zwischen innen und aussen von 50 Pa (Tabelle 2.2). Dieser Nachweis ist für Räume im Untergeschoss aber häufig nicht möglich. Es lassen sich jedoch Undichtigkeiten im Bereich Kelleraufgang oder Geschossdecken nachweisen.

Basismassnahmen – Gebäudehülle und ausgeglichene Luftbilanz

Diese Massnahmen zielen auf eine konsequente Umsetzung der Anforderungen nach Norm SIA 180 bezüglich der Luftdichtheit der Gebäudehülle und auf die Reduktion des Unterdrucks. Die Wahl der Massnah-

men ist abhängig von der Bausubstanz und dem Radonrisiko. Oft führt eine Kombination von Massnahmen zum Ziel:

- Besonderes Augenmerk auf Bauteile der Gebäudehülle im Erdreich
- Durchgehende Bodenplatte aus Beton der Sorte A nach SN EN 206 (Expositionsklasse XC2)
- Wasserdichte Durchführungen von Leitungen durch erdberührende Bauteile: Rohrdurchführungen, Abwasser, Erdsonden etc.
- Erdsonden sollen seitlich versetzt in einiger Entfernung zum Gebäude und nicht unter der Bodenplatte verlaufen
- Abdichtung von Fundamentsdurchdringungen (z. B. Kanal-Putzschächte)
- Luftdichte Ausführung von Rohren, auch von Luft-Erdwärme-Tauschern
- In Gebäuden mit Abluftanlagen: Einbau von Nachströmöffnungen, um Unterdruck in Wohnräumen und in Nasszellen zu vermindern
- Raumluftunabhängige Verbrennungsluftführung für Wohnraumheizungen durch Installation einer separaten Zuführung
- In Gebäuden mit einer Küchenabluftanlage, welche die belastete Kochstellenabluft nach aussen führt: Einbau von Nachströmöffnungen
- Radondrainage: Eine sehr wirksame Massnahme ist die Radondrainage unter der Bodenplatte. Flächige und punktuelle Abdichtungen werden über Jahrzehnte undicht, dann stellt sich wieder die Frage nach der Radondrainage. Insofern ist der präventive Einbau einer Drainage zu prüfen.

Abschätzung des Radonrisikos für einen Standort

durch Konsultation der Radonkarte (map.geo.admin.ch) sowie des kantonalen Radonverantwortlichen.

Die Liste ist auf www.ch-radon.ch publiziert.

Geologisches Radonrisiko*	gering bis mittel	mittel bis hoch
Ohne erdberührende Räume mit Personenaufenthalt	Basismassnahmen	Basismassnahmen und ergänzende Massnahmen
Mit erdberührenden Räumen mit Personenaufenthalt	Basismassnahmen und ergänzende Massnahmen	Basismassnahmen, ergänzende und zusätzliche Massnahmen

*Die Radonkarte beschreibt die Wahrscheinlichkeit, mit der an einem Standort eine Radonkonzentration über 300 Bq/m³ in der Raumluft von Gebäuden auftreten kann. Eine Wahrscheinlichkeit von über 10 % kann als Hinweis auf ein mittleres bis hohes Radonrisiko gelten.

Tabelle 2.1: Massnahmenpakete in Abhängigkeit der Lage der Räume.

Bei Neubauten mit erdberührenden Wohnräumen oder mit Naturkeller sind gemäss Norm SIA 180 präventive bauliche Massnahmen wie z. B. Drainagerohre vorzunehmen.

Ergänzende Massnahmen – Gebäudehülle

Falls ein geologisch begründetes erhöhtes Radonrisiko bekannt ist und die Gebäudestruktur respektive die Nutzung der Räume dieses Risiko zusätzlich erhöht, sind ergänzende Massnahmen angezeigt. Dazu gehören:

- Abdichtungsmassnahmen zwischen unbewohnten, erdberührenden Räumen und den für einen dauernden Aufenthalt vorgesehenen Räumen, z. B. dichte Kellertüre, dichte Medienschächte und Kanäle
- Durchgehende Bodenplatte und erdberührende Wände als wasserdichte Betonkonstruktion der Dichtigkeitsklasse 1 nach Norm SIA 272 (z. B. Weisse Wanne)

Wasserdichte Betonkonstruktionen

Die Anforderungen an die Trockenheit eines Bauwerks oder einzelner Bauteile beschreibt die Norm SIA 272 «Abdichtungen und Entwässerungen von Bauten unter Terrain und im Untertagebau» mit vier Dichtigkeitsklassen von 1 (vollständig trocken) bis 4 (feucht bis nass). Die geforderte Dichtigkeitsklasse wird in der Nutzungsvereinbarung zwischen Bauherrschaft und Planer festgelegt. Für die grösstmögliche Nutzungsflexibilität wird bei Neubauten in der Schweiz meist die Dichtigkeitsklasse 1 gewählt.

Für die Dichtigkeitsklasse 1 empfiehlt die Norm SIA 272 Beton mit niedriger Druckfestigkeit und hohem Wasser-Eindringwiderstand, z. B. Beton der Expositions-klasse XC2 nach Norm SIA 262, aber mit einer Wassereindringtiefe $e_w \leq 50$ mm. Um dies zu erreichen, muss der Kapillarporenraum kleiner als 20 Volumenprozent sein, was bei einem Wasserzementwert von maximal $w/z = 0,5$ eintritt. Die Abmessung eines Bauteils soll möglichst gleichmässig sein und mindestens 250 mm betragen.

Dies dient auch dem Radonschutz, denn bei einem Wasser-Zement-Verhältnis von 0,5 respektive bei einer Betondichte über 2350 kg/m^3 schwindet die Radondiffusion auf annähernd null (D. P. Georgescu, TU Bukarest, 2012).

Relevant für die Wasserdichtigkeit der gesamten Konstruktion sind neben der Betonqualität auch Bewehrung, Risse, Fugen, Anschlüsse und Durchdringungen.

- Einbau von Radonsperren unter der Bodenplatte und an der äusseren Oberfläche von erdberührenden Aussenwände

Zusätzliche Massnahmen – Lenkung von Luftströmen

Bei Standorten mit mittlerem bis hohem Radonrisiko und Bauten mit erdberührenden Räumen, in denen sich Personen regelmässig während mehrerer Stunden pro Tag aufhalten, sollten zusätzliche Massnahmen in Betracht gezogen werden, möglichst mit einer raumweisen Differenzierung:

- Unterbodenabsaugung; Radondrainage respektive Radonbrunnen
- Absaugung von konstruktiv bedingten Hohl- und Zwischenräumen in erdnahen Bereichen
- Kontrollierte Lufterneuerung in den Wohn- und Arbeitsräumen

Anmerkung zu Tabelle 2.2: Die Grenz- und Zielwerte der Luftdichtheit der Gebäudehüllfläche nach Norm SIA 180 haben nur eine beschränkte Relevanz, weil Einzelleckagen auch bei erfüllten Grenzwerten zu Schäden an Gebäuden und zu Radoneinträgen führen können. Für diesbezüglich kritische Bauteile sind Anforderungen an die Luftdichtheit speziell festzulegen respektive vorzugeben.

Werte in $\text{m}^3/\text{h m}^2$	Grenzwert		Zielwert
	Fensterlüftung	Lüftungsanlage	
Neubauten	2,4	1,6	0,6
Umbauten, Erneuerungen	3,6	2,4	1,5

Tabelle 2.2: Grenz- und Zielwerte des Leckvolumenstromes in m^3 pro Stunde und pro m^2 der Gebäudehüllfläche bei einer Druckdifferenz zwischen innen und aussen von 50 Pa (Quelle: Norm SIA 180).

2.3 Radonschutz bei bestehenden Gebäuden

Sofortmassnahmen

Die Dringlichkeit und der Umfang von Sanierungspaketen hängt von der gemessenen Radonkonzentration in den Aufenthaltsräumen ab. Bei Messwerten über 300 Bq/m^3 sind **Sofortmassnahmen** zu ergreifen:

- Verstärktes Lüften der Aufenthaltsräume, vor allem vor einer Nutzung, z. B. durch Stosslüften
- Wenn möglich Umnutzung von belasteten Räumen, daraus ergibt sich eine kürzere Aufenthaltsdauer
- Fallweise provisorische respektive einfache bauliche Massnahmen

In der Regel ist ein etappiertes Vorgehen mit messtechnisch gestützten Wirkungskontrollen vorzusehen.

Basismassnahmen

Die Schaffung von Barrieren und die Verminderung von Unterdruck steht beim Basispaket im Vordergrund:

- Verschiessen respektive Abdichten von Öffnungen und Rissen in erdberührenden Bauteilen der Gebäudehülle, insbesondere von Durchführungen durch erdberührende Bauteile (Boden und Wände)
- Abdichtung respektive Verschiessen von Öffnungen zwischen Keller, Kriechkeller und Hohlräumen sowie Wohn- und Arbeitsräumen
- Druckausgleich zwischen innen und aussen, wenn möglich durch Nachströmöffnungen, die keinen Unterdruck entstehen lassen
- Raumluftunabhängige Verbrennungsluftführung für Wohnraumheizungen durch Installation einer separaten Zuführung

Ergänzende Massnahmen – Gebäudehülle

- Raumweiser nachträglicher Einbau von Betonböden mit Dichtungen entlang der Wände
- Einbau einer Radonsperre auf der inneren Oberfläche von Boden und Aussenwänden. Diese Massnahme ist allerdings teuer und mit bauphysikalischen Risiken verbunden. Zudem sind derartige Folien stark der Alterung unterworfen. **Fazit:** Möglichst kleinräumig anwenden!

Zusätzliche Massnahmen – Lenkung von Luftströmen

Diese Massnahmen dienen der Minderung der Radonbelastung, wenn Basis- und ergänzende Massnahmen unzureichend sind:

- Einbau einer Komfortlüftung mit Zu- und Abluftführung
- Mechanische Zuluftanlage zur Erzeugung eines geringen Überdruckes in den Wohn- und Arbeitsräumen
- Belüftung des Kellergeschosses respektive Erzeugung von Unterdruck im Kriechkeller
- Zwischenboden- respektive Wandabsaugung von besonders belasteten Räumen
- Unterboden-Absaugung (Radonbrunnen)
- Falls eine komplette Erneuerung des Fussbodenunterbaus möglich und wirtschaftlich vertretbar ist, kommt eine flächige Unterboden-Absaugung in Betracht (Radon-drainage)

Kindergärten und Schulen

Wird bei einer Schule oder einem Kindergarten festgestellt, dass der Referenzwert von 300 Bq/m^3 überschritten wird, so ordnet der Kanton innert dreier Jahre ab Feststellung eine Radonsanierung an.

	Bauten mit hoher Radonbelastung (über 300 Bq/m^3)	Bauten mit geringer Radonbelastung (unter 300 Bq/m^3)
1. Etappe	Sofortmassnahmen	–
2. Etappe	Basismassnahmen	Basismassnahmen
3. Etappe, sofern nötig	Ergänzende und zusätzliche Massnahmen	Ergänzende Massnahmen

Tabelle 2.3: Auswahl von Massnahmen bei Sanierungen.

Kapitel 3

Konzeptioneller Radonschutz

3.1 Überblick

Bereits bei der Planung von Neubauten können Entscheidungen getroffen werden, die eine Gefährdung durch Radon verringern. Folgende Entscheidungen haben Einfluss auf die Radonbelastung:

- Standortwahl
- Raumnutzung
- Gebäudehülle und Gebäudestruktur

Durch eine geschickte Planung kann die Radonproblematik mit wenig Aufwand schon im Vorfeld entschärft und so aufwändige nachträgliche Schutzmassnahmen vermieden werden. Die Abbildung 3.1 veranschaulicht, wie ein Radonschutz-Konzept in den Planungsablauf des Leistungsmodells nach SIA 112 integriert und konform zu SIA 180 geplant werden kann.

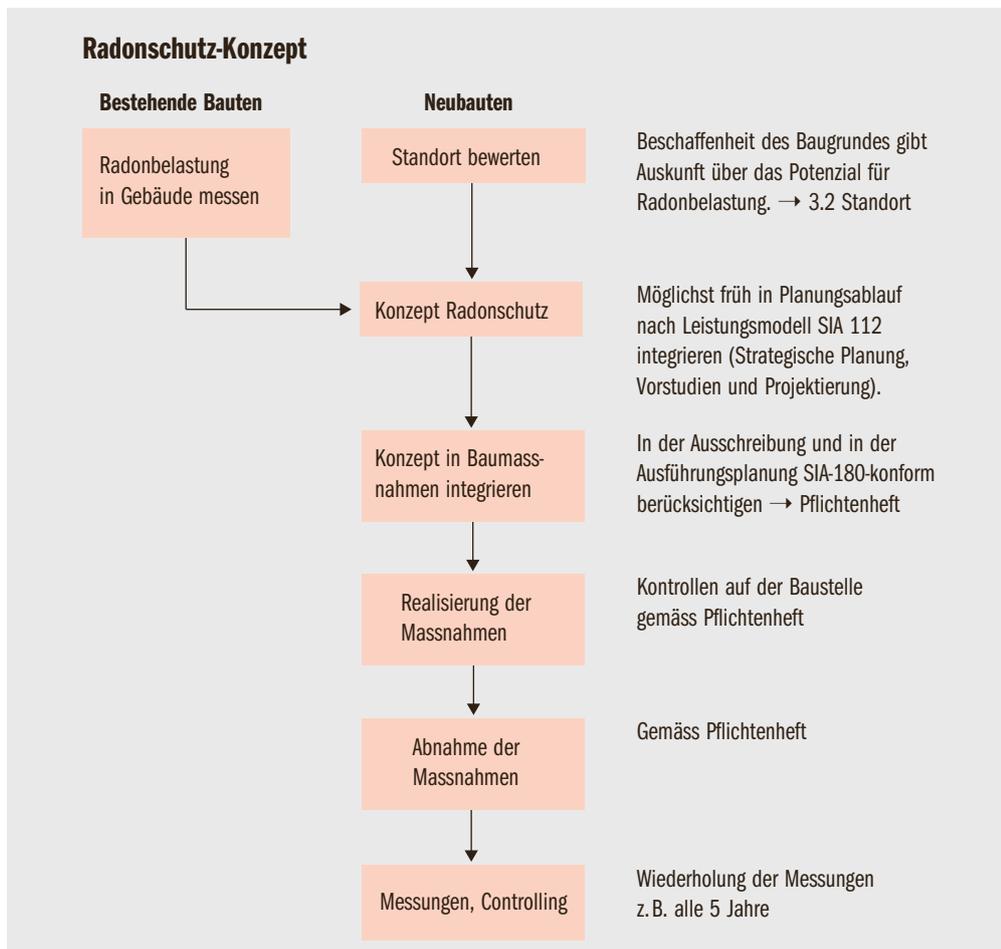


Abbildung 3.1: Ablauf bei der Entwicklung eines Radonschutz-Konzeptes.

3.2 Standortwahl

Die Radonbelastung an einem bestimmten Standort hängt von den geologischen Gegebenheiten ab. Allerdings kann sich das Auftreten von Radongas lokal stark unterscheiden, darum lassen sich keine generellen Aussagen für eine Region treffen. Selbst innerhalb eines Grundstückes kann die örtliche Geologie auf kleinstem Raum unterschiedliche Strukturen aufweisen. Es können lokal begrenzt hohe Radonbelastungen auftreten, zum Beispiel durch Austritt des Gases aus Kiesschichten, Aufschüttungen oder Baugruben, die mittels Felsprengung bearbeitet wurden.

Es ist ratsam, Informationen über die geologischen Gegebenheiten und die Radonsituation in benachbarten Gebäuden einzuholen. Hinweise zum Radonpotenzial eines Standortes liefert die Radonkarte der Schweiz (Seite 11). Sofern ein Standort in dieser Karte eine Wahrscheinlichkeit von mehr als 10 % für Radonkonzentrationen über 300 Bq/m³ aufweist, kann dies als Hinweis für ein erhöhtes Radonpotenzial gelten. Dann empfiehlt es sich, bei der weiteren Planung des Gebäudes besonderes Augenmerk auf den Radonschutz zu legen.

3.3 Planung der Raumnutzung

Hinsichtlich der Radonbelastung sind Aufenthaltsräume in Erdreichnähe problematisch. Jede Strategie, die Aufenthaltsräume vom Erdreich abzukoppeln, entschärft die Radonproblematik. Eine Möglichkeit besteht darin, Kellerräume und andere erdbeberührende Räume nicht für einen längeren Aufenthalt zu nutzen. Allerdings empfiehlt es sich, bei Neubauten trotzdem für den Fall vorzusorgen, dass Kellerräume später

ausgebaut und doch als Aufenthaltsraum genutzt werden. In jedem Fall sollten Belegungsintensität und Radonrisiko aufeinander abgestimmt sein. Im Vergleich zu normalen Wohnräumen haben private Gästezimmer, Lager- und Bastelräume deutlich kürzere Aufenthaltszeiten. So kann durch geschickte Anordnung der Räume im Grundriss das Radonproblem verringert oder gar umgangen werden.

3.4 Planung der Gebäudehülle und Gebäudestruktur

Eine dichte Gebäudehülle spielt für den Radonschutz eine grosse Rolle. Bei der Planung stellt sich die Frage, welche Bauteile welche Barrierefunktion übernehmen. Wo wird vor Kälte, Luft und Feuchte geschützt? Aus Sicht der Radonthematik ist eine durchgehende Dichtungsschicht zwischen Erdreich und bewohnten Geschossen wichtig. Als Daumenregel gilt: «Wer wasserdicht baut, baut in der Regel automatisch auch radondicht.» Vergleichbar dem Wärmedämmperimeter sollte ein lückenloser Radonschutzperimeter angestrebt

werden. Aber gerade im Kellerbereich ist es oft nicht eindeutig, wo diese Barriere-schicht am besten verlaufen soll: Verläuft die Schutzschicht unter der Fundamentplatte oder an der Kellerdecke? Wie sind Treppen abgedichtet? Geht man diesen Fragestellungen nach, kann gleichzeitig ein guter Schutz vor Kälte, Luft und Feuchte sowie vor Radon erreicht werden. Kapitel 4 beschreibt, wie Dichtungskonzepte baulich umgesetzt werden können. Generell empfehlen sich:

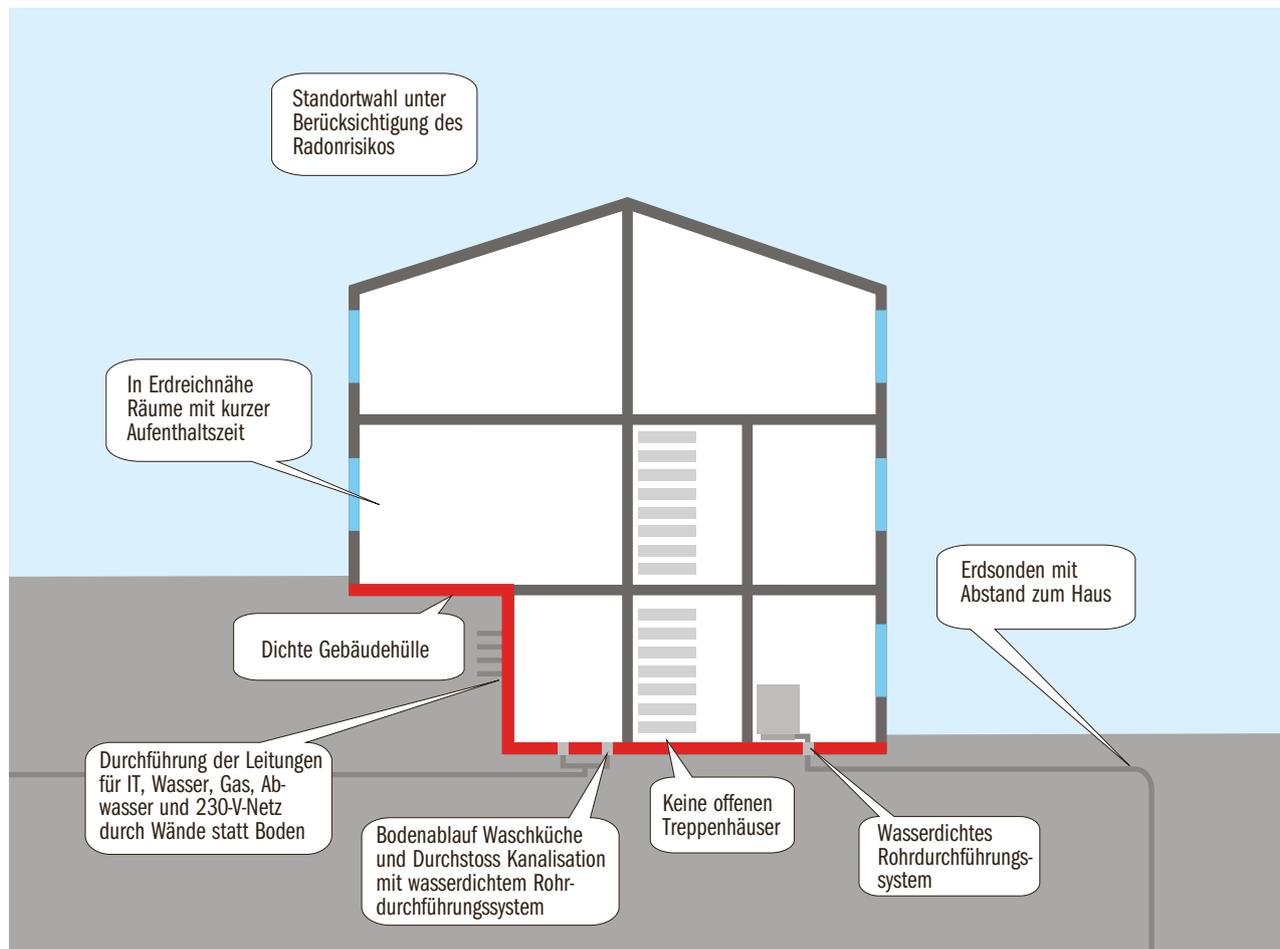
- Durchgehende Bodenplatten
- Keine offenen Treppenhäuser (dichte Kellertür oder separater Kellerzugang von aussen)

Bei der Planung der Leitungsführung sollten Durchdringungen der Bauteile gegen das Erdreich vermieden werden. Wasser-, Gas- und Ölleitungen sowie Kabel sind wenn möglich durch die Wände und nicht durch den Boden zuzuführen. Die Kanalisation sollte den Kellerboden an möglichst wenig Stellen durchstossen. Das ist bei der Organisation der Nasszellen und der Fallstränge im Grundriss zu berücksichtigen. Es sind möglichst wenige, nicht verzweigte Kanalisationsleitungen unter der Gebäude- sohle vorzusehen. Der Durchstoss der Kanalisation sowie der Bodenablauf in der Waschküche müssen mit einem wasser- dichten Rohrdurchführungssystem (RDF-

System) ausgeführt werden. Dies gilt auch für Durchführungen in erdberührenden Wänden.

Des Weiteren kann in bestimmten Fällen der Luftaustausch im Erdreich unterhalb des Gebäudes gefördert werden. Durchlässige Erdschichten unterhalb des Hauses können mit einer ebenfalls durchlässigen Seitenhinterfüllung verbunden werden.

Abbildung 3.2: Ansätze des konzeptionellen Radonschutzes.



Kapitel 4

Schaffung von Barrieren

4.1 Überblick

Neubau

Für den Radonschutz muss am Gebäude eine dichte Schutzschicht erstellt werden – mehrheitlich gegen das Erdreich. An den meisten Standorten genügt eine möglichst luftdichte Hülle, um den Eintritt von Radon ins Gebäude zu verhindern. In Ergänzung zum konvektiven Schutz ist der Einbau einer gasdichten Radonsperre zu prüfen, die auch die Diffusion von Radon unterbindet. Die Beschaffenheit von erdberührenden Bauteilen hat grosse Auswirkungen auf die Radonbelastung in Wohnräumen. In der Schweiz ist ein erdberührender Fussbodenaufbau im Erdgeschoss eher selten. Ausnahmen bilden Bauten in Hanglagen, beispielsweise bei Terrassenhäusern und in Berggebieten.

Sanierung

Falls in einem Haus exponierte Räume einen erhöhten Radongehalt der Raumluft aufweisen, ist eine Radonsanierung angezeigt. Von Vorteil erfolgt diese in Verbindung mit einer Erneuerung oder Ergänzung des Wärme- und des Feuchteschutzes respektive der Erzeugung von Unterdruck unter der Bodenplatte. **Erfahrungen zeigen, dass Dichtungsmassnahmen vor allem bei Sanierungen schwierig zu realisieren sind.** Sie müssen deshalb äusserst sorgfältig konzipiert und ausgeführt werden. Oft führen sie erst in Kombination mit Lüftungstechnischen Massnahmen zum Erfolg. Bei einer hohen Radonbelastung in bestehenden Bauten kann es sinnvoll sein, nebst einem primären Dichtungsperimeter entlang den erdberührenden Bauteilen auch einen

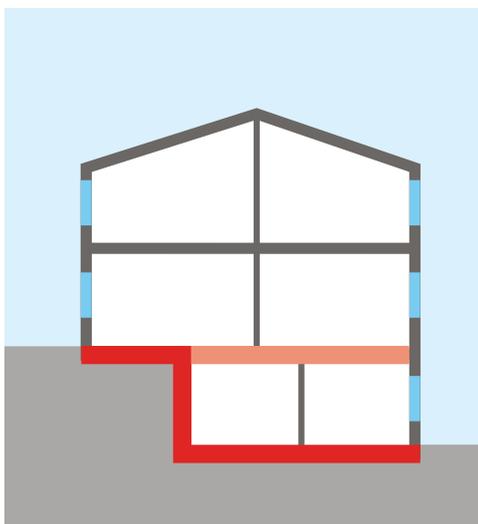


Abbildung 4.1: Der primäre Dichtungsperimeter (dunkelrot) verläuft entlang den erdberührenden Bauteilen, der zweite Dichtungsperimeter (hellrot) entlang den Bauteilen zwischen bewohnten und unbewohnten Räumen.

sekundären Dichtungsperimeter zwischen Keller und Aufenthaltsräumen zu definieren (Abbildung 4.1).

Radon im Gebäude

Die Wege von radonbelasteter Luft sind vielfältig. Besonders häufig sind vertikale Luftströmungen in Konstruktionen wirksam, an deren Fuss- oder Sockelpartie keine horizontalen Radonsperren eingebaut sind.

Ausbreitungspfade (Gebäudeinneres)

- Installationskanäle und ihre Kontrollöffnungen
- Durchführungen von Kabeln und Leitungen, Kanalisationsrohre, Kamine, Licht- und andere Schächte
- Holzbalkendecken, Tonhohlkörperdecken
- Innerhalb eines Zweischalen-Mauerwerks, vor allem in der Luftschicht entlang der Kerndämmung

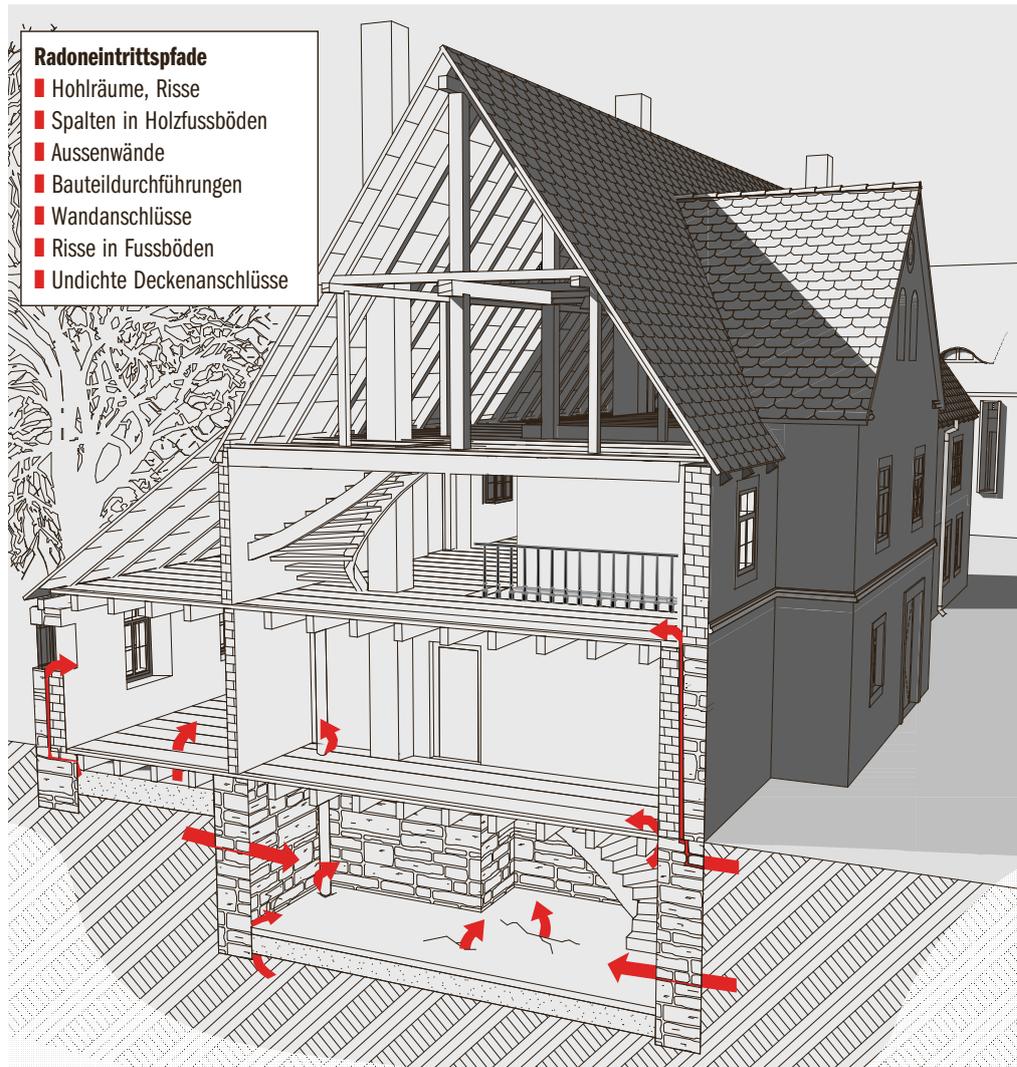


Abbildung 4.2: Typische Wege von Radon – vom Erdreich bis in Wohnräume (Quelle: Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft SMUL).

Tabelle 4.1: Massnahmen zur Abdichtung von Lecks im Überblick.

Erdberührende und raumtrennende Bauteile: Abdichtung von Lecks				
Massnahme	Flächige Abdichtung durch Verlegung von Radonsperrern (Folien) oder Einbau einer Bodenplatte	Verfüllung von Rissen und Fugen durch Injektion von dichtendem Material	Abdichten von offenbaren Bauteilen wie Türen, Falltüren und (Abwurf-)Schächten	Dichtende Durchführungen für Kabel, Rohre und Kanäle
Umsetzung	Verwendung von geprüften Folien, zumeist mit metallener Beschichtung (Aluminium); Einbau von Bodenplatten in schadhafte oder naturbelassene Abschnitten	Dichtungsmaterial vorzugsweise in dauerelastischer Qualität, z. B. Polyurethan (PUR), Epoxidharz oder Zementsuspension	Dauerelastische Dichtungsprofile zwischen Türe und Wand respektive Boden, Einbau von Schwellen an Türöffnungen und Klappen in Schächten	Als Fertigteile in der Bauzuliefer-Industrie erhältlich (in geprüfter Qualität)
Wirkung	Bei Sanierung in bestehenden Bauten in der Regel sehr wirkungsvoll, aber auch aufwändig	In der Regel beschränkte Wirkung – je nach Anzahl und Geometrie der Risse und Fugen; stark der Alterung unterworfen	Sehr grosse Wirkung; gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis	Bei fachgerechtem Einbau grosse Wirkung

- Im Zweischalen-Mauerwerk ohne Kern-
dämmung
- In Fertigteilkonstruktionen mit Vorsatz-
schalen, auch und vor allem in Holzkonst-
ruktionen
- In Bruchsteinmauerwerk mit Rissen res-
pektive Hohlräumen
- Entlang von Rissen und Schlitzungen für
haustechnische Installationen (Kabel, Rohre)
- Treppenhaus
- Kellertüre

Eindringstellen (Gebäudehülle)

- Boden auf Erdreich (Ziegel-, Backstein-,
Natur- oder Holzböden)
- Risse und Fugen in Böden und Wänden
- Leitungseinführungen (Elektro, Kommuni-
kation, Wasser, Abwasser, Gas, Öl, Lüf-
tung)
- Öffnungen wie Türen, Fenster, Klappen,
Deckel, usw.

Zur Gewichtung von Diffusion und Konvektion

Konvektive Effekte in der Bauhülle sind für die Radonkonzentration in Räumen entscheidend. Zwar trägt die Diffusion von Radon durch Bauteile ebenfalls zur Belastung bei, doch sind diese Einträge von untergeordneter Bedeutung. Die Anteile von Konvektion sind im Wesentlichen von der Luftdichtigkeit der Bauhülle abhängig. Diese Differenzierung relativiert die Empfehlung, flächige Radonsperren einzubauen, häufig ist ein Konvektionsschutz ausreichend.

4.2 Flächige Barriere gegen Erdreich

Abdichtung mit Perimeterdämmung (Neubau)

Eine aussenseitige Wärmedämmung im Erdreich hat sich bei Neubauten als lückenloser Wärmeschutz bewährt. Das Untergeschoss ist damit als beheizter Raum oder als unbeheizter, warmseitiger Pufferraum realisierbar. Für den Radonschutz empfohlen sind Konstruktionen mit einer durchgehenden Fundamentplatte aus Beton der Sorte A nach SN EN 206 (Expositionsklasse XC2) auf druckfestem Dämmmaterial wie Schaumglas oder extrudiertem Polystyrol. Andere Materialien erreichen selten erhöhte Radondichtigkeit und erfordern in Gebieten mit hohem Radonrisiko zusätzlich eine Folie, möglichst in gasdichter Qualität. Diese wird allseitig auf die Deckschicht der Unterterrain-Aussendämmung der Aussenwand geklebt.

Nachträgliche Bodenplatte (Sanierung)

Der nachträgliche Einbau einer Bodenplatte bei Naturkellerböden erschwert das Eindringen von Radon in die Innenräume bestehender Gebäude. Gleichzeitig können auch begleitende Massnahmen wie das Verlegen von Röhrensystemen für mechanische Bodenentlüftungen (Drainage) durchgeführt werden. Untergeschosse mit naturbelassenen Böden sind gut abzudichten und allenfalls nur von aussen zugänglich zu realisieren. Allerdings sind flächige Barrieren bei Sanierungen schwierig zu realisieren und sind in vielen Fällen erst in Kombination mit Lüftungstechnischen Massnahmen erfolgreich.

Eine durchgehende Bodenplatte – als wasserdichte Betonkonstruktion in der Dichtigkeitsklasse 1 nach Norm SIA 272 oder mit einer Feuchtigkeitssperre – ist auch für Neubauten zu prüfen (siehe auch Kasten «Wasserdichte Betonkonstruktionen» auf Seite 19).

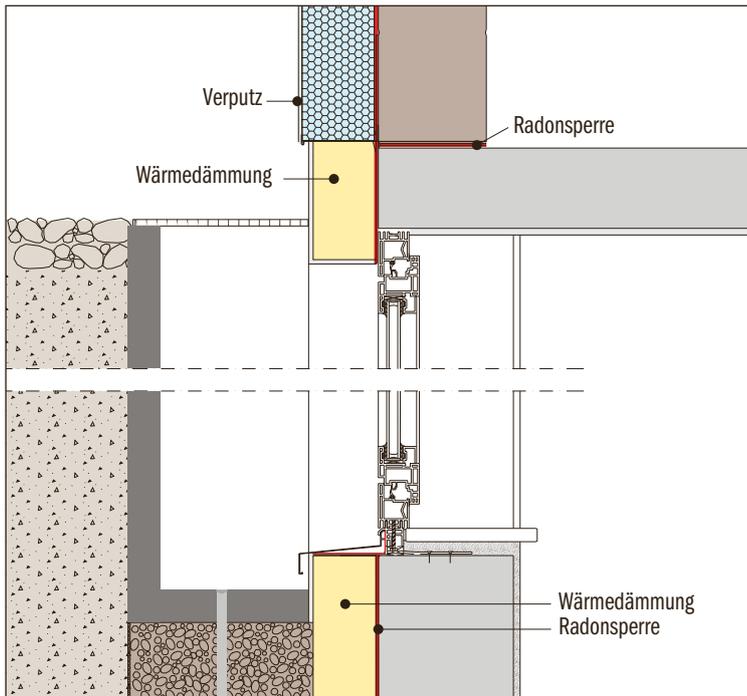
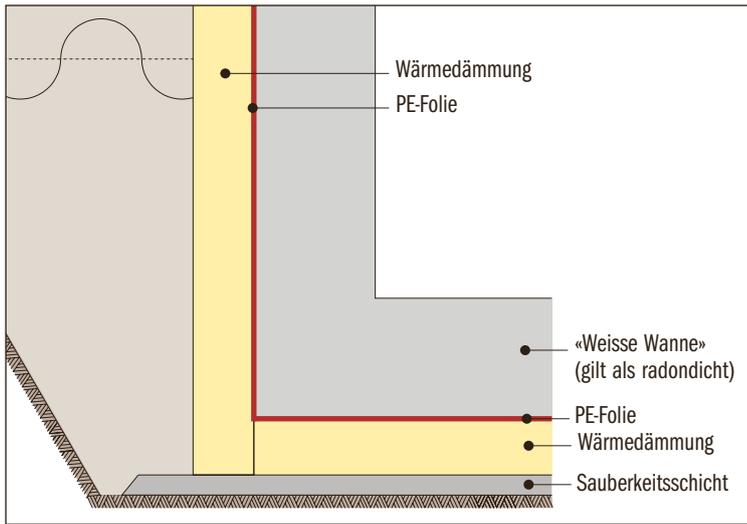


Abbildung 4.3 (oben):
«Weisse Wanne» in einem
Neubau (Quelle: Dow
Building Solutions).

Abbildung 4.4 (unten):
Lichtschacht in einer Keller-
aussenwand (Quelle: Dow
Building Solutions).

Weiss, schwarz, braun

Die Ausbildung des Untergeschosses als wasserdichte Betonkonstruktion der Dichtigkeitsklasse 1 nach Norm SIA 272 ist ein wirksamer Radonschutz und bei Neubauten einfach und ohne hohe Mehrkosten zu realisieren.

Als **Weisse Wanne** gelten jene Betonkonstruktionen, die ohne zusätzliche Abdichtung wasserdicht sind, auch unter Druckeinwirkung. Um diese Eigenschaften langfristig zu gewährleisten, muss der Beton auch wasserdampfdicht sein, also gasdicht und damit radondicht.

Die **Schwarze Wanne** besteht in einer Abdichtungsschicht, die auf einer Primärstruktur – z. B. einer Betonkonstruktion – aufgebracht wird. Die Abdichtung kann aus Bitumen- oder aus Kunststoff-Bahnen bestehen. Bei Wahl einer metallbeschichteten Folie ist die Schwarze Wanne auch radondicht.

Braune Wanne: Besteht die Abdichtung aus einer bentonithaltigen Abdichtung, wird sie als Braune Wanne bezeichnet.

Lichtschächte

Schächte im Erdreich, die an Aussenwände angrenzen, bilden eine Gefahrenquelle, wenn sie der Aussenluftfassung respektive der Verbrennungsluftfassung dienen. Sofern der Schacht gegen das Erdreich und die Aussenwand wasserdicht verschlossen ist, beispielsweise durch eine Beton- oder Mauerwerkskonstruktion, mindert sich das Risiko erheblich. Wichtig ist, dass der Dichtungsperimeter (Wasser, Luft, Radon) möglichst ohne Lücken verläuft.

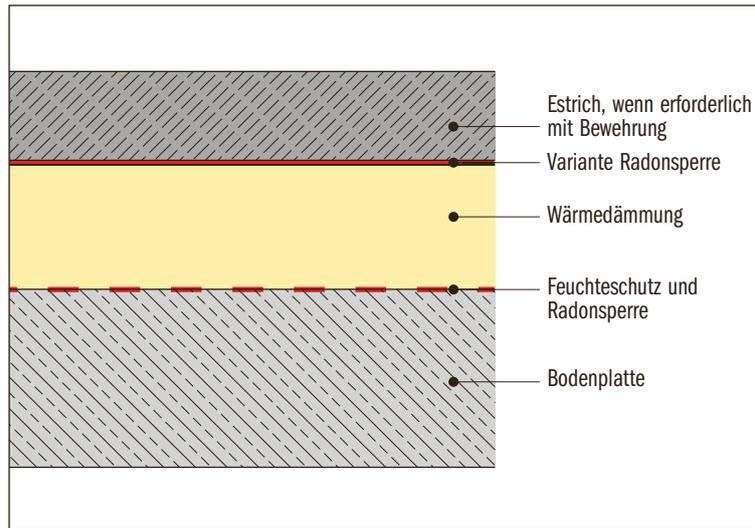


Abbildung 4.5: Klassischer Bodenaufbau (Quelle: Dow Building Solutions).

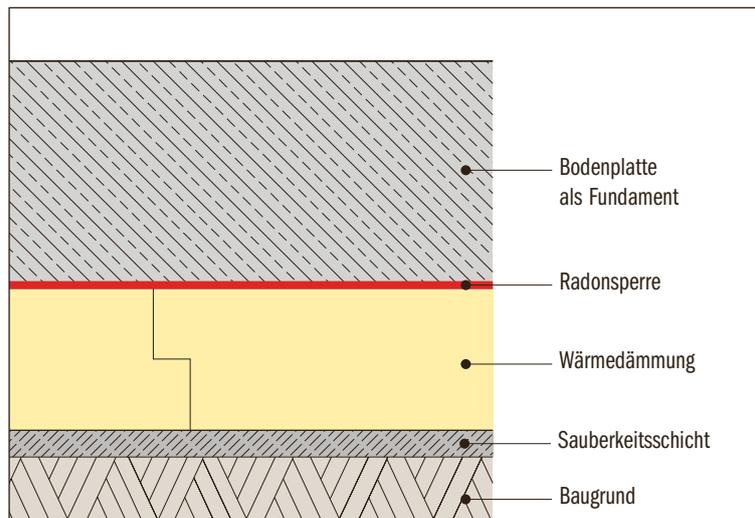


Abbildung 4.6: Radonsperre und Wärmedämmung unterhalb der Fundamentplatte (Quelle: Dow Building Solutions).

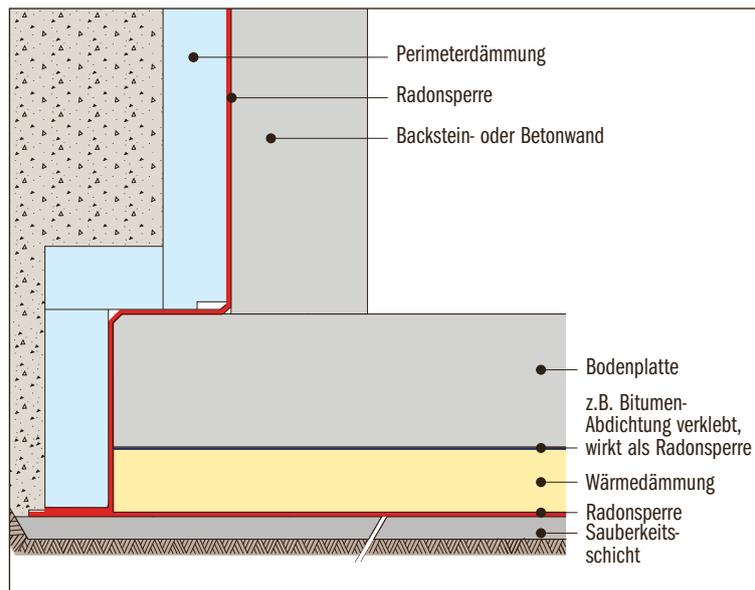


Abbildung 4.7: Neubau mit Perimeterdämmung und Bodenplatte unterkellert (Quelle: Dow Building Solutions).

Absperren des Erdreiches mit Dichtungsbahnen

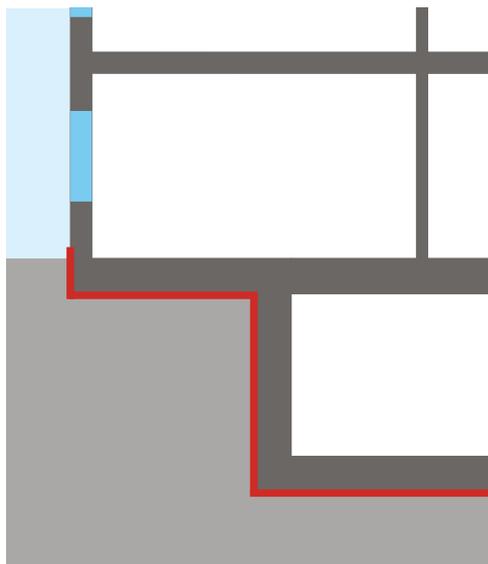
Radon ist farb- und geruchlos. Im Vergleich zu Feuchtesperren sind Schäden oder nachlassende Dichtigkeit nicht sofort erkennbar. Bei dem breiten Marktangebot ist daher besonders auf Qualität und Dauerhaftigkeit der Abdichtungen sowie auf eine sorgfältige Ausführung zu achten. In Baugruben unterhalb der Fundament verlegte Dichtungsbahnen sind weit verbreitete, präventive Massnahmen zum Schutz vor Feuchte. Diese Technik schützt auch vor dem Eindringen von Radongas. In Baugebieten mit hochliegendem Grund- und Hangwasserspiegel ist deshalb durch Feuchteschutzmassnah-

men bereits ein guter Radonschutz gegeben. Die bewährte Abdichtungstechnologie von grundwasserdichtem Bauen ist an Standorten mit hohem Radonrisiko sinnvoll. Zusätzlich zu flächigen Abdichtungen sind auch Spezialbauteile wie Rohrdurchführungen sowie Dilatationsfugen abzudichten. Aussenseitige, grossflächige und gasdicht verlegte Dichtungsbahnen sind bei Bauvorhaben an Standorten mit hohem Radonrisiko empfehlenswert, vorallem wenn keine Bodenplatte aus wasserdichtem Beton geplant ist. Kunststoffmodifizierte Polymerbitumen-Dichtungsbahnen oder Kunststoff-Dichtungsbahnen sind zur Abdichtung der Baugrube einsetzbar. Es gilt aber auf jeden Fall darauf zu achten, dass aussenliegende Dichtungsbahnen eine ähnlich lange Lebensdauer haben wie die Primärstruktur und nicht zu früh verrotten oder verspröden. Die herstellerepezifische Planung und Ausführung sind zu beachten. Eine in der Baugrube verlegte Folie wird an den Wänden des fertigen Untergeschosses hochgeführt (Abbildung 4.10). Der Verlegegrund und die zulässigen Belastungsdifferenzen sind abhängig von Material und Anbieter. Die Sickerleitung befindet sich ausserhalb des Gebäudes. Scharfkantige Abwicklungen sind zu vermeiden, um die Dichtungsbahnen nicht zu beschädigen. In Regionen mit hoher Radonbelastung sind vorzugsweise Bodenplatten aus Beton zu realisieren.

Abbildung 4.8 (rechts): Aussenseitige Abdichtung mit Dichtungsbahnen unter der Fundamentplatte.

Abbildung 4.9 (unten links): Verlegen von Dichtungsbahnen vor dem Betonieren der Bodenplatte (Quelle: Sika).

Abbildung 4.10 (unten rechts): Aussenseitige Abdichtung der Wände im Untergeschoss mit Dichtungsbahnen (Quelle: Sika).



Radonsperre

Neubau: Die Sauberkeitsschicht als unterste Schicht eines Neubaus ist eine ideale Unterlage für die Radonsperre. Über der Folie sind Wärmedämmschichten respektive eine Bodenplatte einzubauen.

Bei **Radonsanierungen** in bestehenden Bauten ist der Einbau auf der inneren Oberfläche von erdberührenden Wänden und Böden zwar eine teure und bauphysikalisch heikle, aber wirksame Lösung. Innenliegende Folien sind dauerhaft vor Beschädigungen zu schützen. Alternativ dazu lässt sich eine Kellerdecke mit einer Radonsperre nachrüsten, was aber meist die Abdichtung von relativ vielen Durchdringungen, Türen und andere Öffnungen bedingt.

Verlegung von Radonsperren

■ Die Folien sind auf einer Sauberkeitsschicht (z. B. Magerbetonsohle oder Perimeterdämmung), direkt auf der Bodenplatte oder innerhalb eines Kellerdeckenaufbaus zu verlegen.

■ Die Stöße sind mindestens 15 cm zu überlappen und müssen trocken und staubfrei sein.

■ Radonsperren sind zu verlegen wie Dampfsperren: doppelseitiges Klebeband aus Butyl zwischen die überlappenden Abschnitte als Dichtefunktion und Überklebung des Stosses mit Acrylklebeband zur mechanischen Sicherung.

■ Heftungen zur Verstärkung sind nur im Bereich der Überlappung zulässig.

■ Aufbordungen an Wänden, Säulen und Durchdringungen sind mindestens 15 cm hoch aufzuziehen und dicht anzuschliessen.

■ Der Untergrund darf keine spitzen und scharfen Stellen oder Gegenstände aufweisen.

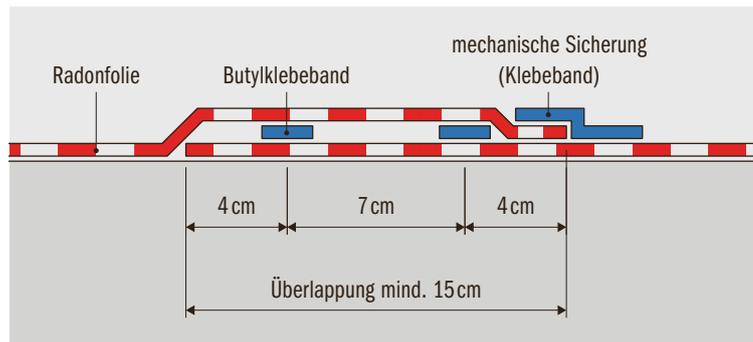
■ Bei zu erwartenden Setzungen sind die Bahnen mit Längenreserven respektive z-förmig einzubringen, sodass die Folie Bewegungen schadensfrei übersteht.

■ Die Radonsperrefolie ist unmittelbar nach Einbau durch weitere Schichten wie Wärmedämmung, Unterlagsboden oder Betonplatte zu schützen.



Abbildung 4.11 (links): Radonfolie im Sockelbereich hochziehen, um eine Überlappung mit der Folie an der Wand zu ermöglichen (Quelle: Ampack).

Abbildung 4.12 (unten): Überlappungsdetail einer geklebten Radonfolie (Quelle: Ampack).



Eigenschaften einer üblichen Radonsperrefolie		
Merkmale	Einheiten	Definition
Aufbau		2 Lagen PE, dazwischen Polyesterfasernetz, und Aluminiumschicht von 0,02 mm Stärke
Verlegung		Alu-Seite gegen den Untergrund, also auf die Sauberkeitsschicht oder auf die Bodenplatte, etc.
W _{ddu}	0,022 g/m ² in 24 h	Die Wasserdampfdurchlässigkeit, W _{ddu} , gibt die Menge an Wasserdampf an, die innerhalb von 24 Stunden durch 1 m ² Folie diffundiert.
μ	dimensionslos	Die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl gibt an, um welchen Faktor das Material für Wasserdampf dichter ist als eine gleich dicke Luftschicht. Je grösser μ ist, desto dampfdichter ist der Stoff.
s _p -Wert	> 1100 m	Die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke, also jene Dicke der Luftschicht, die denselben Wasserdampfdiffusionswiderstand aufweist wie der dokumentierte Bauteil. Weil die Bauteile aus mehreren Schichten bestehen, sind die s _p -Werte der einzelnen Schichten zu addieren. μ multipliziert mit der Bauteildicke ergibt s _p .
R _p -Wert	1532 m ² h Pa/mg	Wasserdampfdiffusionswiderstand
	2,3 · 10 ⁻¹² m ² s ⁻¹	Radondiffusionskoeffizient (siehe Seite 32)
	7,2 · 10 ⁻⁹ ms ⁻¹	Radondurchlassgrad (Mass der Durchlässigkeit)
Dicke	0,4 mm	
Gewicht	363 g/m ²	
Überlappung	15 cm	Bahnen zweimal verkleben

■ Durchdringungen sind zwingend zweifach abzudichten: Dichtfunktion und eine zusätzliche mechanische Sicherung, um einen langfristigen Radonschutz zu garantieren.

■ Radonsperrefolien sind bei der Lagerung vor Beschädigung, auch vor UV-Strahlen, zu schützen.

Radondichtigkeit

Ob ein Material als radondicht gilt, basiert auf Empfehlungen. Denn Normen und Verordnungen enthalten sich dieser Bewertung. In der Praxis wird die Radondichtigkeit aus dem am Material messbaren Radondiffusionskoeffizienten abgeleitet. Materialien können als radondicht bewertet werden, wenn deren Dicke mindestens dreimal größer ist als die Relaxationslänge von Radon. Nach Einschätzung von Kempster + Partner, Bonn, halten radondichte Materialien rund 95 % des Radon zurück, lediglich 5 % diffundieren durch das Material. Die Relaxationslänge (wird auch als Diffusionslänge bezeichnet) eines Material ist die Wurzel des

Quotienten aus dem (gemessenen) Radondiffusionskoeffizienten und der Zerfallskonstante von Radon-222 ($= 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ s}$).

Beispiele: Berechnung der Relaxationslänge. Leichtbeton: $1,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} / 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ s} = 0,62 \text{ m}^2 = 620\,000 \text{ mm}^2$; Wurzel daraus ergibt zirka 800 mm.

Bitumenbahn: $10^{-12} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} / 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ s} = 0,48 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 = 0,48 \text{ mm}^2$; Wurzel daraus: 0,7 mm

Schaumglas

Der Baustoff aus rezykliertem Flachglas eignet sich zur Wärmedämmung und zur Abdichtung von Aussenbauteilen gleichermaßen. Denn Schaumglas ist wasser- und gasundurchlässig. Zudem ist der Stoff sehr druckfest, was ihn für den Einsatz unterhalb von Bodenplatten empfiehlt. Im Neubau werden die Schaumglasplatten auf einer Bodenschicht, z. B. einer Sauberschicht verlegt und die Fugen abgedichtet, idealerweise durch eine vollflächige Heissbitumenbahn.

Tabelle 4.2: Radondichtigkeit von Materialien.

Quelle: Keller, G.; Hoffmann, B. (2002): Durchlässigkeit von Baumaterialien. In: BMU (Hrsg.): Forschung zum Problemkreis Radon; Vortragsmanuskripte des 14. Statusgespräches, Berlin 23. und 24. Oktober 2001.

Radondichtigkeit von Materialien				
Material	Dicke des Materials in mm	Radondiffusionskoeffizient in $10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$	Relaxationslänge (Diffusionslänge) in mm	radondicht ja/nein
Baustoffe				
Leichtbeton	100	1,30	800	nein
Normalbeton	100	0,007	60	nein
Sandstein	100	2,20	1000	nein
Kalksandstein	150	0,34	400	nein
Mauerziegel	150	0,35	400	nein
Gips	150	2,35	1100	nein
Anstriche				
Lackfarbe	0,5	0,001	20	nein
Kunstharzlack	0,2	0,08	200	nein
Synthetikharz	2	$< 10^{-6}$	$< 0,7$	ja
Polyurethan-Versiegelung	5	$< 10^{-6}$	$< 0,7$	ja
Epoxidharz-Versiegelung	3	$< 10^{-6}$	$< 0,7$	ja
Dichtungsbahnen				
Bitumenbahn	3	$< 10^{-6}$	$< 0,7$	ja
PEHD-Dichtungsbahn	1	$< 10^{-6}$	$< 0,7$	nein
Silikon-Kautschuk	3	$< 10^{-6}$	$< 0,7$	ja
Gummidichtungsbahn	1,5	$< 10^{-5}$	2	nein
PP-Materialien	2	$< 10^{-6}$	$< 0,7$	ja
Polyamidfolie	0,05	$< 10^{-6}$	$< 0,7$	nein

Vor- und Nachteile von Schaumglas im Vergleich zu Radonfolien (Radonsperren)

Vorteile von Schaumglas	Nachteile von Schaumglas
Geeignet als Wärmedämmung	Aufwändige Applikation (teuer)
Mechanisch belastbar	Frostempfindlich
Nicht brennbar (nach VKF RF1)	Braucht viel Energie in der Herstellung
Sowohl Schaumglas als auch metallbeschichtete Radonsperren sind gasdicht.	

4.3 Abdichtung von Durchführungen, Rissen, Fugen bei erdberührenden Bauteilen

Dichte Gebäudehüllen lassen grundsätzlich weniger Radon in das Gebäude eindringen, wohingegen Leckagen den Eintritt erleichtern. Bereits der Schutz vor eindringender Feuchte kann auch das Eindringen von Radon stark vermindern. Auf eine dichte Durchführung von Leitungen durch erdberührte Bauteile, beispielsweise bei Erdsonden für Wärmepumpen und Erdwärmetauschern, ist besonders zu achten. Installationskanäle, Lift- und Abwurf-schächte sind allseitig abzudichten. Bereits der geringste Riss in den erdberührten Bauteilen kann zu einer übermässigen Radonbelastung führen. Risse und Öffnungen in Böden und Wänden sowie in den Fugen sind Schwachstellen, die mit entsprechenden Dichtungsmitteln behoben werden müssen. Vor der Ausführung müssen die Oberflächen entsprechend gereinigt und vorbereitet werden.

Dauerelastische Kittmassen

Kleine Öffnungen wie Ritzen, Fugen und kleine Löcher können mit dauerelastischem Kitt abgedichtet werden. Die Öffnungen bleiben auch dann dicht, wenn sie sich aufgrund von Temperaturänderungen geringfügig ausdehnen oder zusammenziehen. Verschiedene Materialien wie Silikon, Acryl

oder Polysulfid können als Kitt verwendet werden. Um eine beständige Haftung zu ermöglichen, müssen die seitlichen Begrenzungen der Fuge (Fugenflanken) sowie die Fliesenkanten gereinigt und gegebenenfalls erweitert werden. Tiefe Fugen können hinterfüllt werden. In einzelnen Fällen können weitere Vorarbeiten wie Randmodellierung und Haftgrund-Voranstrich notwendig werden.

Elastische Fugen- und Klebebänder

Die in verschiedenen Materialien und Qualitäten angebotenen Fugendichtungsbänder sind sehr leistungsfähig. Mit flüssigen oder plastischen Klebern werden sie auf die zu verbindenden Bauteile aufgeklebt. Elastische Fugen- und Klebebänder eignen sich besonders für eine luftdichte Verbindung von Bauteilen wie Dichtungsbahnen an Decken oder zwischen Bodenbelägen und Wandverkleidungsplatten, aber auch für die Überbrückung von Dilatationsfugen. Doppelseitige Klebebänder wie Butylklebstreifen sollten möglichst auf der Klebestelle mechanisch verpresst werden. Die Verklebung von zwei Polyethylen-Dichtungsbahnen mit Butylklebeband kann beispielsweise unter einer Lattung verlegt werden, welche die Verklebung dauerhaft anpresst.

Abbildung 4.13 (links): Verschiedene Abdichtungsdetails (Quelle: Sika).

Abbildung 4.14 (rechts): Abdichtungsdetail einer Rohrdurchdringung vor dem Betonieren der Bodenplatte (Quelle: Sika).





Abbildung 4.15:
Hauseinführung
(Quelle: Aladin AG).



Abbildung 4.16: Eine kostengünstige Alternative zu Rohrdurchführungssystemen und Manschetten sind Mauerkragenringe (Quelle: Aladin AG).

Leitungsdurchführungen

Leitungsdurchführungen von Erdsonden für Wärmepumpen sowie Durchführungen von anderen Medien wie Wasser, Gas und Elektrizität stellen aufgrund ihrer Lage im Gebäude ein Radonrisiko dar. Rohrdurchführungssysteme (RDS), Manschetten oder Mauerkragenringe ermöglichen eine dichte Durchführung der Leitungen durch erdbeberührende Bauteile. Neben dicht ausgeführten Stößen muss das verwendete Material den chemischen und physikalischen Einflüssen langfristig standhalten (Polyethylen). Zuleitungen zu Erdsonden sollen seitlich versetzt in einiger Entfernung des Gebäudes und nicht unter der Bodenplatte verlaufen.

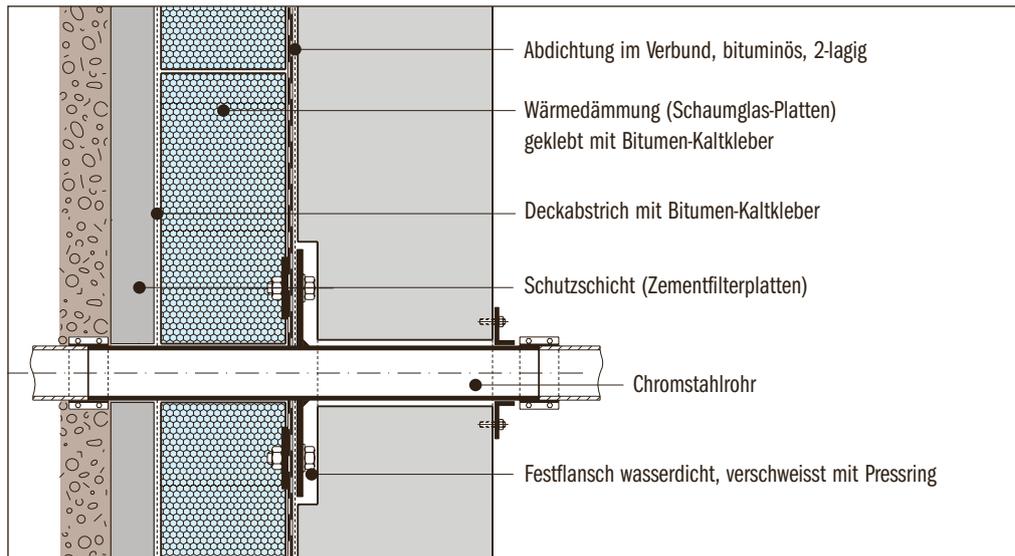


Abbildung 4.17: Beispiel einer radondichten Rohrdurchführung mit Klebeflansch (Quelle: Foamglas).

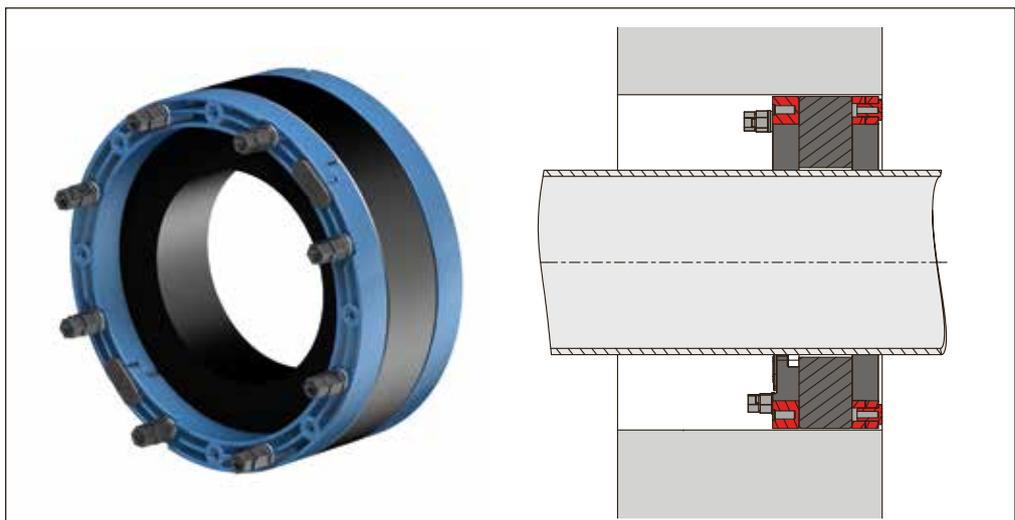


Abbildung 4.18: Eine radondichte Manschette für eine Rohrdurchführung (Quelle: Rematec AG).

Abgeschlossene Treppenhäuser

Im Gegensatz zu offenen Treppen verhindern abgeschlossene Treppenhäuser die Ausbreitung des Radons auf die oberen Geschosse und mindern das Risiko der Radonbelastung deutlich. Luftdichte Verkleidungen des Kelleraufgangs können auch nachträglich installiert werden und ein Aufsteigen des Radons über diesen Bereich verhindern.

Die Unterteilung des Kellergeschosses in zwei Abschnitte mit einer gasdichten Wand hat den Vorteil, dass die vollflächige Abdichtung der inneren Oberfläche der Außenwand und des Kellerbodens teilweise entfällt. Lediglich jene Raumteile, die sich zur Kellertreppe öffnen, müssen vor Radoneintrag geschützt werden. Mit einem optimierten Grundriss lassen sich die Sanierungskosten sehr stark reduzieren.



Abbildung 4.19: Raumtrennung mit Hilfe einer gasdichten Wand (Quelle: SMUL).

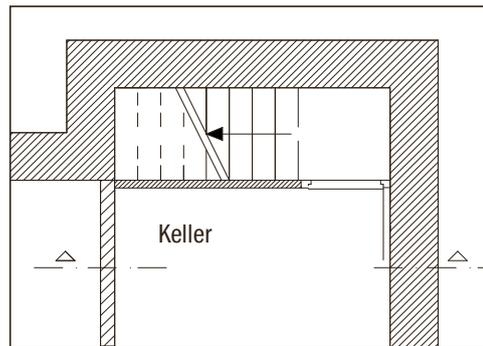


Abbildung 4.20: Grundriss Kelleraufgang (Quelle: SMUL).

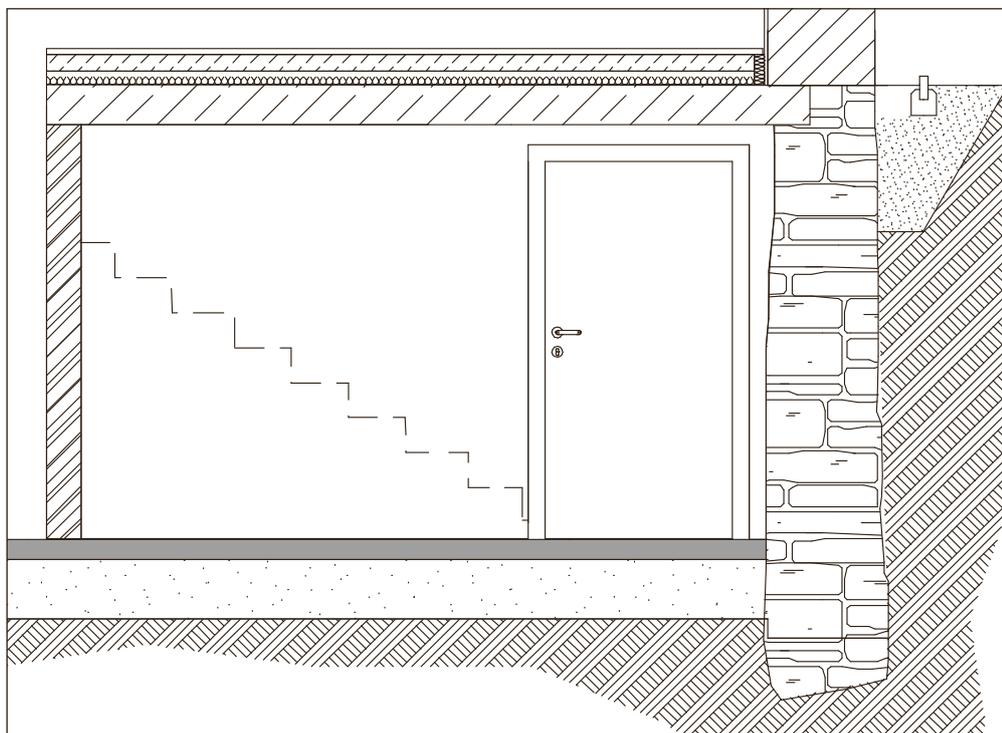


Abbildung 4.21: Ansicht Kelleraufgang (Quelle: SMUL).

4.4 Abdichtung von Türen, Klappen, Schachtdeckeln und ähnlichen Bauteilen

Die Radonbelastung in Wohn- und Arbeitsräumen ist in risikobehafteten Häusern naturgemäss von der Dichtigkeit der Trennbauteile abhängig. Entsprechende Massnahmen sollten weit über eine dichte Kellertüre hinausgehen, weil in üblichen Gebäuden zwischen den Geschossen zahlreiche Durchführungen mehr oder weniger grosse Lecks bilden können. Oft lässt sich der Keller gegen das Erdreich nicht ausreichend abdichten, sodass eine zweite «Barriere» zwischen Unter- und Erdgeschoss zu einer willkommenen Minderung der Radonbelastung im Aufenthaltsbereich beiträgt.

In Kellerböden und angrenzenden erdberührenden Wänden stehen Einführungen von Rohren und Leitungen für die Ver- und Entsorgung im Vordergrund. Dazu zählen auch Schächte mit Pumpen oder anderen Installationen. Aber auch kleine Öffnungen wie Schlüssellöcher von Bartschlüsseln gelten als Lecks, die bei Temperaturunterschieden relativ grosse Luftströmungen ermöglichen. In grösseren Gebäuden ist eine automatische Türschliessung vorteilhaft. In Privathäusern ist der Verzicht auf den gebäudeinternen Zugang zum Keller eine konsequente Lösung.

Die von Fenstern bekannte Fugendurchlässigkeit kann auch bei Türen auftreten. Zur Abdichtung radonbelasteter Räume sollte eine Fugendurchlässigkeit von mindestens der Klasse 2 gegeben sein (Tabelle 4.4). Türen mit erhöhten Schalldämmwerten und Brandschutztüren haben in der Regel auch eine gute Luft- und Radondichtigkeit. Um

Bauteile wie Türen, Klappen und Schachtdeckel radondicht auszubilden, müssen folgende Punkte beachtet werden.

Elastische Dichtungsprofile

Um offenbare Bauteile respektive die Fälze ausreichend abzudichten, sind elastische Dichtungsprofile wie Lippen- und Hohlkammerprofile zu verwenden. Neben einer lückenlosen, umlaufenden Einpassung der Dichtung müssen auch das Dichtungsprofil und der Falz aufeinander abgestimmt sein. Eine zweite Falzdichtung ist bei Belastungen im Keller und bei häufiger Benutzung der Türe sinnvoll. Beim nachträglichen Einbau von Dichtungsprofilen in bestehende Türen oder Klappen müssen die Profile umlaufend eingenutet werden. Jahreszeitliche Verformungen dürfen die Dichtungswirkung zudem nicht beeinträchtigen. Elastische Dichtungen müssen regelmässig überprüft und im Abstand von fünf bis acht Jahren ersetzt werden. Nachträglich eingeklebte V-Dichtungen sind hingegen aufgrund mangelnder Dichtigkeit keine ausreichende Massnahme gegen Radon.

Schwellen

Müssen Türen eine hohe Radondichtigkeit gewährleisten, sollten ihre Schwellen möglichst als Anschlag ausgebildet werden. Zusätzlich ist ein elastisches Dichtungsprofil zu verwenden, das mit den seitlichen Falzdichtungen verbunden ist. Schleifdichtungen aus Bürsten- und aus Elastomer-Material sind dafür ungenügend. Bewegliche Anpress-Schwelldichtungen mit Hohlkammerprofilen eignen sich hingegen gut, wobei die Profilfläche mit Bodenkontakt glatt und eben sein muss.

Tabelle 4.3: Luftdurchlässigkeit nach SN EN 12 207: Die Werte der Luftdurchlässigkeit nach EN 12 207 beziehen sich auf einen Druck von 100 Pa und einen Meter Fugenlänge. Für einen guten Konvektionsschutz ist eine Luftdichtheit mindestens der Klasse 2 oder 3 sicherzustellen.

Q100-Klassen	
Klasse	Luftdurchlässigkeit
0	Keine Auflagen
1	12,5 m ³ /h m
2	6,75 m ³ /h m
3	2,25 m ³ /h m
4	0,75 m ³ /h m

4.5 Raumseitige Flächenabdichtung

Bei der Sanierung bestehender Bauten können flächige Abdichtungen oft nur raumseitig angebracht werden, was zu einem deutlich höheren Anteil an Nahtstellen und Anschlüssen führt. Deshalb führen raumseitige Abdichtungen meist nur in Kombination mit weiteren Massnahmen zur gewünschten Verminderung der Radonbelastung. Für Neubauten sind in jedem Fall aussenseitige Abdichtungen anzustreben. Dichtungsbahnen müssen lückenlos und sauber verklebt sowie verschweisst werden. Es können auch flüssige Dichtungssysteme zum Einsatz kommen.

Massnahmen zum Feuchteschutz eignen sich grundsätzlich auch zum Schutz vor Radon. Allerdings sind die raumseitigen Abdichtungen in der Ausführung sehr heikel. Häufig ist ein Mauerwerk nicht völlig trocken, beispielsweise aufgrund von aufsteigender Feuchte. Eine flächige radondichte Abdichtung kann die raumseitige Austrocknung einer Aussenwand hemmen, was zu Bauschäden führen kann (Abbildung 4.22).

Feuchteschutz-Dichtungsbahnen

Dichtungsbahnen verhindern nicht nur eindringende Feuchte, sondern auch den Radoneintritt. Ein sauberes Abkleben entlang der Nahtstellen, fugenlos verklebte oder verschweisste Dichtungsbahnen und sorgfältige Anschlüsse an Bauteildurchdringungen sind notwendig. Dichtungsbahnen müssen raumseitig verkleidet und dabei vor Beschädigung durch Befestigungsmittel der Verkleidungen geschützt werden. Erforderlich sind vor allem dichte Anschlüsse an den Kellerdecken.

Dampfsperren und Dampfbremsen

Innenwärmedämmte Bauteile gegen das Erdreich sind, abhängig von ihrem Aufbau, mit geeigneten Massnahmen gegen das Eindringen von Feuchtigkeit zu schützen. Dampfdichte oder stark dampfbremsende Bauteilschichten sind auch eine ausreichende Radonsperre, auch wenn Radon-

und Dampfleitfähigkeit nicht identisch sind. Eine leckagedichte Montage der Dampfsperre ist sowohl für die Radondichtigkeit als auch für die Dampfdiffusionsrisiken zentral.

Dichtungsschlämme, Anstriche

Flüssige oder plastische Dichtungsanstriche respektive Dichtungsschlämme werden oft auch zum Schutz vor eindringender Feuchte verwendet und sind ebenso als Radonbremse einsetzbar (Abbildung 4.23). Undichtigkeiten sind jedoch nur schwer zu erkennen und führen zu erhöhter Radonkonzentration in den Räumen. Bewegungs-

Abbildung 4.22: Raumseitig verlegte Radonfolie (Quelle: SMUL).

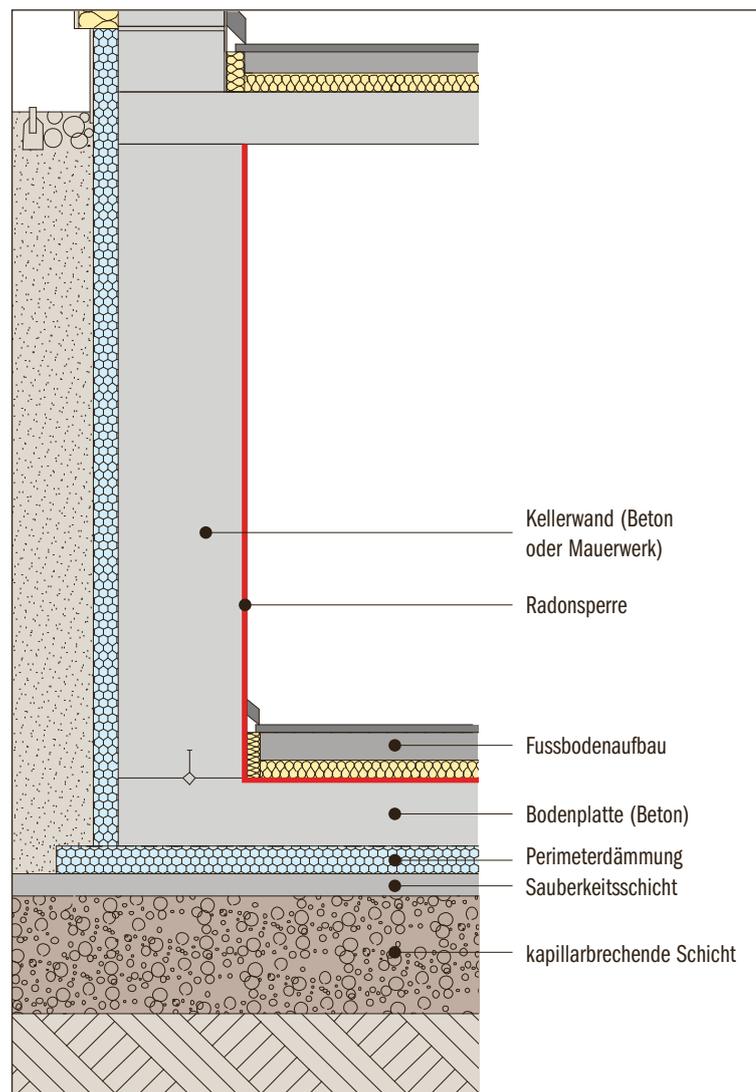
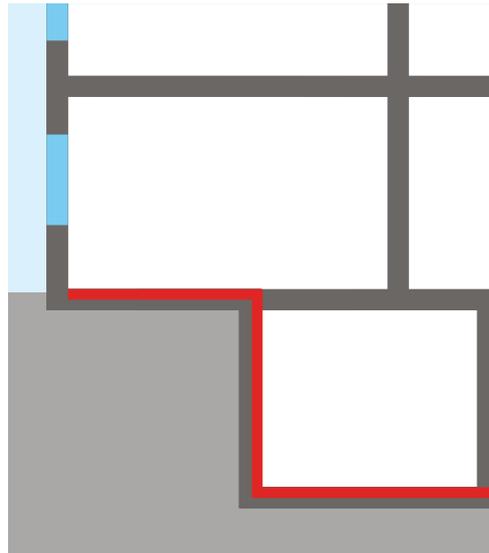


Abbildung 4.23: Beschichtungen mit Dichtungsschlämmen und Anstrichen zur raumseitigen Abdichtung.



risse und Bewegungsfugen sind deshalb zu vermeiden, auch bei verhältnismässig dichten Innenverkleidungen wie Fliesen oder gasbremsenden Anstrichen, beispielsweise Chlorkautschukfarbe. Als unterstützende Massnahme können sie hingegen verwendet werden. Die oftmals bei Feuchtigkeitsproblemen älterer Mauerwerke eingesetzten Injektionen sind für eine Radonsanierung nicht wirksam.

Deckenkonstruktionen gegen Aufenthaltsräume

Wenn die Radonbelastung in unbewohnten Kellerräumen nur in unbefriedigendem Masse abgesenkt werden kann, müssen die Trennbauteile, insbesondere die Kellerdecke unter den Aufenthaltsräumen, dicht ausgeführt werden. Stahlbetondecken werden grundsätzlich als ausreichend radondicht betrachtet. Ältere Massivdecken können Leckstellen bei Auflagen im Mauerwerk enthalten, die lokal abgedichtet werden müssen. Die für die Luft- und Radondichtigkeit zuständige Schicht ist bei Leichtbaudecken zu identifizieren und auf Dichtigkeit an allen Anschluss- und Nahtstellen zu überprüfen.

Kapitel 5

Radonschutz durch Lenkung von Luftströmungen

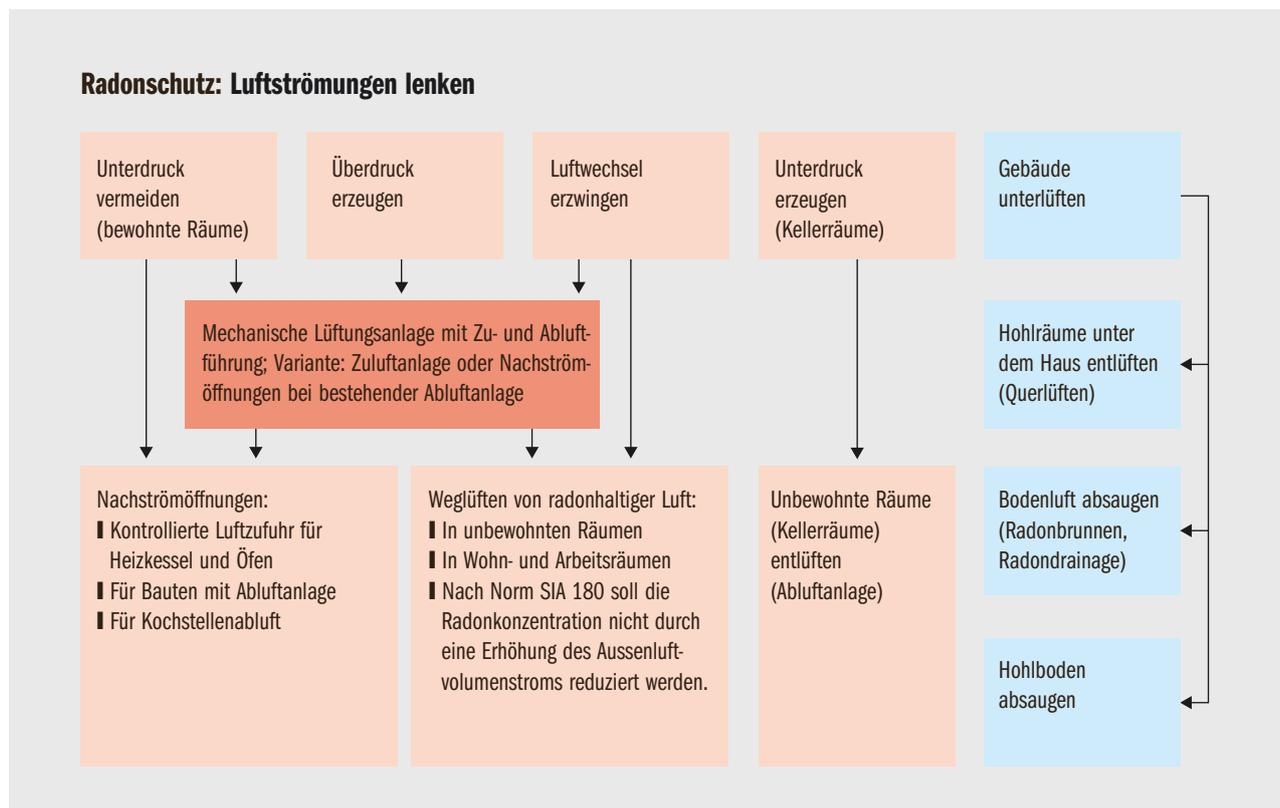
5.1 Übersicht der Massnahmen

Luft ist das Transportmedium von Radon. Das radioaktive Gas kann in der Bodenluft angereichert sein und mit dieser in die Atmosphäre und in Häuser gelangen. Unter Umständen – insbesondere in hermetisch geschlossenen und schlecht gelüfteten Räumen – kann der Radoneintrag in die Raumluft von Häusern zu kritischen Konzentrationen führen. Häufig betroffen sind Keller-,

aber auch Wohn- und Arbeitsräume, vor allem jene in den unteren Geschossen eines Gebäudes.

Um dieses Gefahrenpotenzial zu mindern, sollte das Eindringen von radonhaltiger Luft in Innenräume möglichst verhindert werden. Als ergänzende Massnahme kann das Weglüften der radonhaltigen Luft zur Lösung des Problems beitragen.

Abbildung 5.1: Radonschutz durch Beeinflussung der Druckverhältnisse und durch definierte Führung von Luftströmungen im Gebäude.



Die Massnahmen lassen sich in fünf Gruppen unterteilen (Abbildung 5.1):

- Unterdruck in Wohn- und Arbeitsräumen gegen aussen respektive gegen unten vermeiden
- Überdruck in bewohnten Räumen erzeugen
- Luftwechsel erzwingen
- Unterdruck in Kellerräumen erzeugen (Kellerräume entlüften)
- Gebäude unterlüften

Bei allen fünf Massnahmengruppen kommen wahlweise unterschiedliche Lüftungsmethoden zum Einsatz (Tabelle 5.2).

Der Eintrag von Radon in Räume durch Diffusion, vergleichbar der Wasserdampfdiffusion, ist im Vergleich zur konvektiven Fracht äusserst gering. Gemäss Messungen entfallen lediglich einige Prozente des Radoneintrages auf Diffusion.

Gebäudehüllen sind luftdicht zu konzipieren und zu realisieren. Die Norm SIA 180 listet für die Luftdurchlässigkeit Grenz- und Zielwerte auf, wobei sich diese nach Neu- und Umbauten sowie je nach Lüftungsmethode respektive Lüftungssystem unterscheiden.

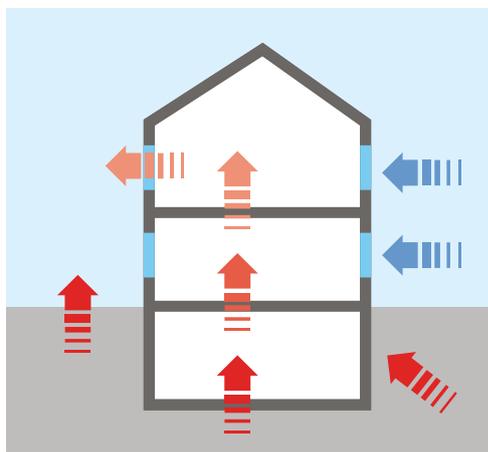


Abbildung 5.2: Der Austausch zwischen Raumluft und Aussenluft hat einen wesentlichen Einfluss auf die Höhe der Radonkonzentration in Innenräumen.

den. Die Luftdichtheit der Gebäudehülle wirkt sich auch auf die Schadstoffbelastung der Raumluft aus. Denn in Wohnräumen mit Unterdruck wird Luft von benachbarten Räumen und von aussen durch die Konstruktion angesogen – fallweise mit problematischen Folgen, denn viele Materialien sind mit Schadstoffen belastet. Auf der anderen Seite erzeugen Undichtheiten in der oberirdischen Gebäudehülle einen Luftwechsel, der eine Minderung der Radonkonzentration zur Folge hat («Verdünnung»). Hier kann sich also ein Zielkonflikt ergeben, der mit Fachleuten zu diskutieren ist. Fest steht aber, dass luftdichte erdberrührte Wände und Böden einen wirksamen Schutz gegen Radon bilden.

Um die Luftdichtheit von Gebäudehüllen zu beurteilen, setzt der SIA Grenz- und Zielwerte für den Leckvolumenstrom pro Quadratmeter Hüllfläche und bei geschlossenen Lüftungsöffnungen (Tabelle 5.1). Flächen gegen Erdreich sind explizit Teil dieser Hüllfläche. Der Leckvolumenstrom wird bei einer Druckdifferenz zwischen innen und aussen von 50 Pascal gemessen. Die Einhaltung der Grenzwerte nach Norm SIA 180 bietet keine Garantie, dass die Gebäudehülle radondicht ist, weil Einzelleckagen zu Radoneinträgen führen können. Kritische Bauteile sollten deshalb besonders hohe Anforderungen an die Dichtheit erfüllen.

Luftströmungen ergeben sich aufgrund von mehr oder weniger natürlichen Temperatur- und Druckunterschieden oder aufgrund eines mechanischen Antriebes, meist durch einen Ventilator. Dies kann fallweise zu einem erheblichen Stromverbrauch führen. Schon bei einer installierten Leistung von 50 W verbraucht der Antriebsmotor über 400 kWh pro Jahr. Zudem erfordern mechanische Lüftungen, auch einzelne Ventilatoren, Unterhalt und Wartung. Passive Systeme sind deshalb aktiven Installationen vorzuziehen.

Werte in $m^3/(h m^2)$	Grenzwerte für Bauten		Zielwert generell
	mit natürlicher Lüftung	mit mechanischer Lüftung	
Neubauten	2,4	1,6	0,6
Umbauten, Erneuerungen	3,6	2,4	1,5

Tabelle 5.1: Luftdichtheit der Gebäudehülle: zulässiger Leckvolumenstrom (Norm SIA 180).

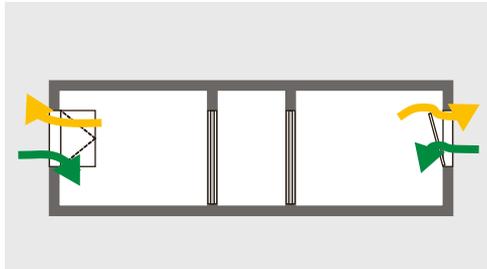


Abbildung 5.3 (links): Fensterlüftung.

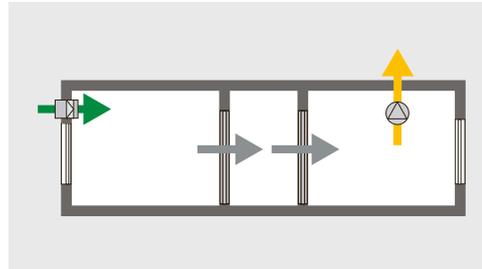


Abbildung 5.4 (rechts): Einfache Abluftanlage mit kontrollierter Zuführung.

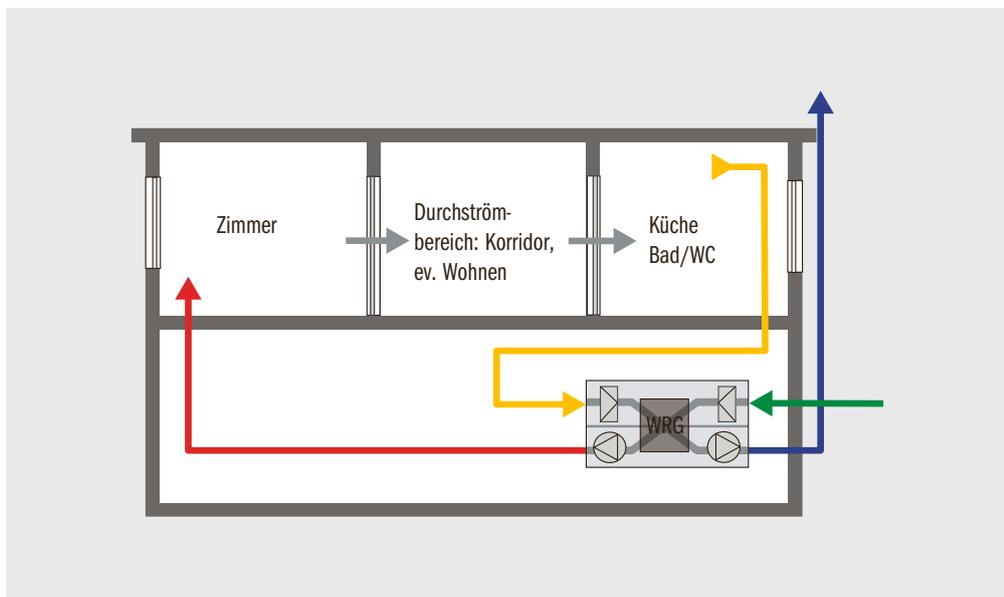


Abbildung 5.5: Einfache Lüftungsanlage.

Methode, System	Bemerkungen	Eignung für den Radonschutz
Fensterlüftung Abbildung 5.3	Aufgrund der Lärmbelastung und des Komforts in vielen Bauten nicht möglich.	Aufgrund mangelnder Systematik in der Lüfterneuerung für den Radonschutz kaum geeignet.
Einfache Abluftanlage Abbildung 5.4	In vielen Bauten installierter Anlagentyp; erzeugt Unterdruck mit Nachströmöffnungen, häufig in der Konstruktion (Leaks aufgrund von Undichtheit).	Nur mit Nachströmöffnungen geeignet (sonst Gefahr von Unterdruck in den Räumen).
Einfache Lüftungsanlage mit Zu- und Abluft Abbildung 5.5	Neue Anlagen in der Regel mit Wärmerückgewinnung ausgerüstet. Zu- und Abluftvolumen lässt sich mit drehzahleregelten Ventilatoren wählen.	Geeignet. Sehr geeignet, wenn der Zu- und Abluftstrom grösser ist als der Abluftstrom (Überdruck). Auf Luftbilanz achten.
Einzelraum-Lüftungsgerät	Neue Geräte sind in der Regel mit Wärmerückgewinnung ausgerüstet. Vorsicht bezüglich Schallemissionen.	Im Grundsatz geeignet; auf Luftbilanz achten (Zuluft und Abluft mit gleichem Volumen).
Lüftungsanlage mit Lüfterwärmung	Viele Gebäude mit beheizter Zuluft weisen Komfortprobleme auf.	Geeignet, insbesondere wenn der Zu- und Abluftstrom grösser ist als der Abluftstrom (Überdruck). Auf Luftbilanz achten.

Tabelle 5.2: Methoden und Systeme zur Lüfterneuerung nach Merkblatt SIA 2023.

5.2 Unterdruck vermeiden

Bei einem Unterdruck in Aufenthaltsräumen besteht das Risiko, dass radonhaltige Luft aus angrenzenden Räumen, z. B. aus dem Keller, aus der Konstruktion oder aus dem Untergrund angesogen wird. Unterdruck in den bewohnten Räumen ergibt sich, wenn die Luft in diesen wärmer ist als in angrenzenden Räumen oder als die Aussenluft.

Das Druckgefälle ist deshalb im Winter in der Regel grösser als in warmen Jahreszeiten. Wenn in Häusern geheizt wird, steigt die erwärmte Luft (deren Dichte kleiner ist) auf. Diese konvektive aufsteigende Luftströmung – als Kamineffekt bekannt – verursacht ein vertikales Druckgefälle im Haus (der Druck in unteren Geschossen ist kleiner als in oberen Geschossen). Dadurch kommt es in unteren Geschossen zu einem Unterdruck gegenüber nicht beheizten, darunter liegenden Kellerräumen oder dem Untergrund. Liftschächte und Installationschächte verstärken den Effekt.

Durch Minderung der Ablufrate in Abluftanlagen, durch Nachströmöffnungen oder mittels einer Zuluftanlage lässt sich Unterdruck vermindern (Tabelle 5.3). Diese Massnahmen eignen sich vor allem für be-

stehende Bauten. Bei Neubauten sind «einfache Lüftungsanlagen mit Zu- und Abluft» erste Wahl. Falls Nachströmöffnungen zu klein dimensioniert sind oder sich nur unter Unterdruck öffnen, besteht die Gefahr, dass – trotz der Öffnungen – radonhaltige Luft aus dem Untergrund angesogen wird. Ausschlaggebend ist das Prinzip des «geringsten Widerstandes».

Zimmeröfen, Cheminées und Heizkessel nutzen in vielen Häusern Raumluft aus dem Wohn- oder Kellerbereich als Verbrennungsluft. In der belasteten Form von Rauchgas geht diese Luft durch den Kamin an die Aussenluft. Das Volumen der Verbrennungsluft ist von der Heizleistung abhängig, also wiederum vom Temperaturunterschied zwischen aussen und innen.

Die professionelle Lösung ist eine separate Verbrennungsluftzufuhr, wie sie in Neubauten für Cheminées und Heizkessel häufig installiert und durch die Norm SIA 180 gefordert wird. Die Dimensionierung richtet sich nach dem Bedarf an Verbrennungsluft, also nach der Heizleistung. Bei Heizkesseln ist diese Luftführung Sache des Heizungsinstallateurs, bei Cheminées des Architekten oder Ofenbauers.

Ablufrate reduzieren*	Nachströmöffnungen	Zuluftanlage*
Die im Bad und im WC installierte Abluftanlage kommt nur bei Benutzung des Raumes in Betrieb (Schaltung über Lichtschalter). Eine andere Möglichkeit ist die Reduktion des Abluftstroms an der Anlage.	Installation von Nachströmöffnungen durch Kernbohrung in der Aussenwand mit beidseitiger Abdeckung; auf Kondenswasser achten (Abbildung 5.7). Als «aktiv» wird eine Nachströmöffnung dann bezeichnet, wenn ein Ventilator den Zuluftstrom antreibt.**	In seltenen Fällen sind Zuluftanlagen geeignet, vor allem in älteren Häusern mit bestehenden Abluftanlagen. Ohne Zulufterwärmung kann eine Zuluftanlage zu Komfortproblemen führen. Die Aussenluftfassung sollte mindestens 3 m über Erdboden positioniert sein.
Küchenabluftanlage durch eine Umluftanlage ersetzen.	Küchenabluftanlage mit einer Nachströmöffnung ergänzen. Die Zuluftklappe lässt sich so steuern, dass sie nur offen ist, wenn die Küchenabluftanlage in Betrieb ist.	
Sehr kostengünstige Lösung	Relativ kostengünstige Lösung	Relativ teure Lösung
* In Räumen mit mechanischer Lüftungsanlage (mit Zuluft und Abluft) lässt sich der Zu- und Abluftvolumenstrom festlegen, fallweise durch drehzahlregulierte Ventilatoren. Ein um 5 % grösserer Zuluftstrom im Vergleich zum Abluftstrom verhindert Unterdruck.		
** Luftdurchlässe durch eine Aussenwand werden als Nachströmöffnungen, durch eine Zimmerwand oder Zimmertüre als Überströmöffnungen bezeichnet. Beide Öffnungen können aktiv, also mit Ventilator, oder passiv betrieben werden («aktiver Überströmer»).		

Tabelle 5.3: Unterdruck vermeiden – 3 mögliche Massnahmen.

Ein Risiko für Unterdruck in Wohnräumen ergibt sich auch durch Abluftgeräte über Kochstellen und in Nasszellen. Entweder sind diese für den Umluftbetrieb vorgesehen oder das Abluftgerät ist mit einer Nachströmöffnung zu ergänzen. Bei einer Gebäudehöhe von fünf Metern und einem Temperaturunterschied zwischen innen und aussen von 20 K kann auf dem Erdgeschossboden ein Unterdruck resultieren, der mehrere Kubikmeter Luft pro

Stunde durch einen Riss von einem Meter Länge und einem Millimeter Breite zieht. Deshalb lässt sich in vielen Bauten ein Unterdruck nicht völlig vermeiden.

■ **Aussenluftvolumenstrom:** Norm SIA 382/1 enthält Richtwerte zur Aussenluft-rate. Für Wohnräume und Schlafzimmer: 30 m³ pro Person, in der Nacht 15 m³ pro Person. Für Lüftungsanlagen mit Zimmern im Durchströmbereich gelten höhere Werte.

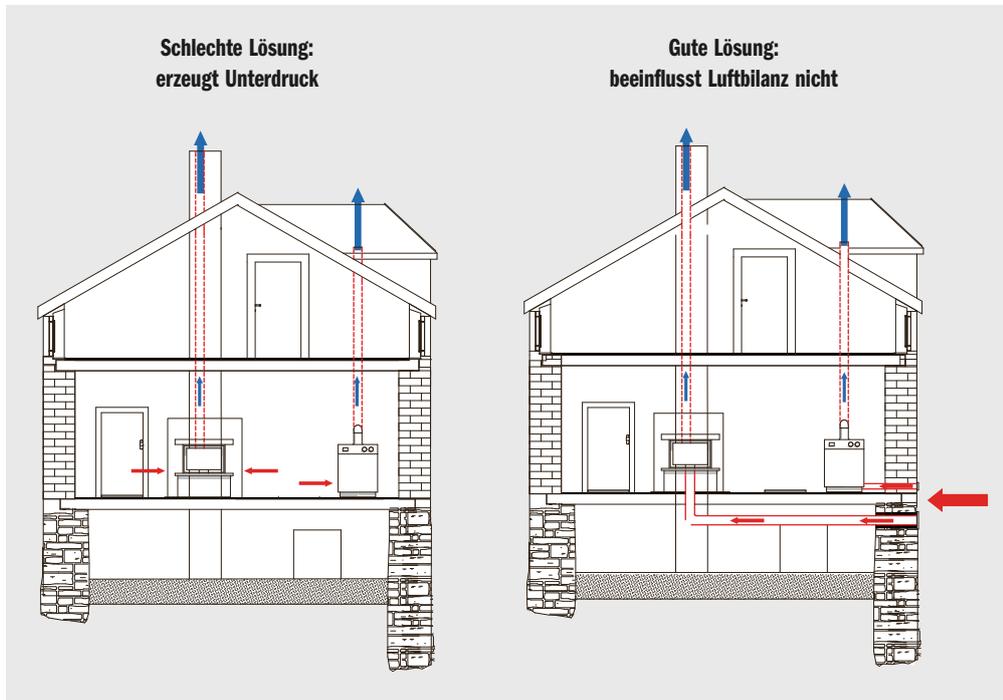


Abbildung 5.6: Durch eine raumluftunabhängige Führung der Verbrennungsluft (Cheminée) und der Abluft an der Kochstelle lässt sich ein Unterdruck in Wohnräumen vermeiden (Quelle: SMUL).

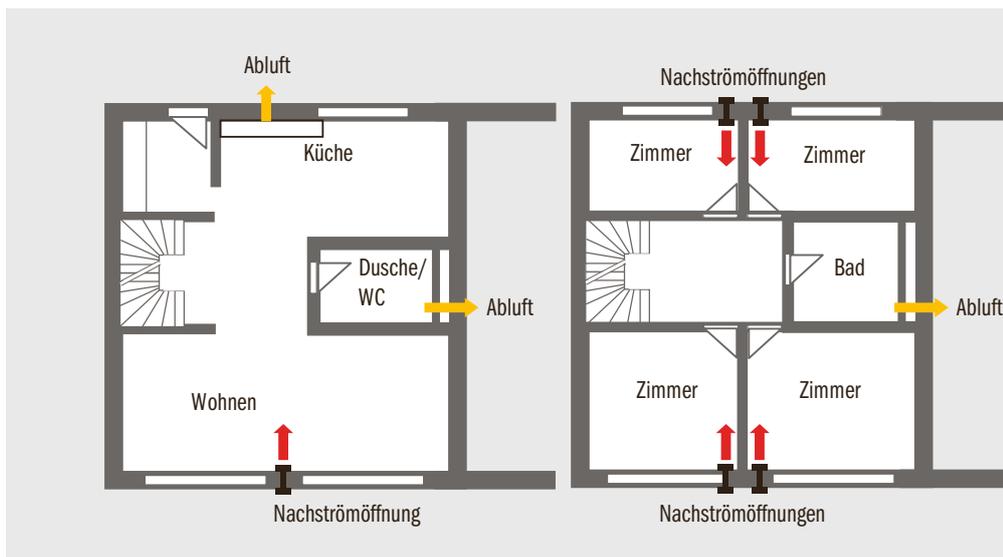


Abbildung 5.7: Einfache Lösung einer Lüfterneuerung für eine Wohnung mit Abluftanlage und Nachströmöffnungen.

5.3 Überdruck erzeugen

Ein leichter Überdruck im Gebäudeinneren von 2 bis 3 Pascal kann das Eindringen von radonhaltiger Bodenluft ins Gebäude verhindern. In mechanisch belüfteten Räumen, also in Bauten mit einer Lüftungsanlage (mit Zuluft und Abluft), lässt sich der Zu- und Abluftvolumenstrom festlegen, fallweise durch drehzahlregulierte Ventilatoren. Ein um 5 % grösserer Zuluftstrom im Vergleich zum Abluftstrom erzeugt einen geringen Überdruck in den Räumen. Ein solch kleiner Druckunterschied ist allerdings schwer einzustellen und die Anlage ist deshalb schwierig zu betreiben. In Bauten ohne mechanische Lüftungsanlage ist eine Zuluftanlage eine Alternative (siehe Abschnitt 5.2). Mit der Erzeugung von Überdruck in potenziell oder tatsächlich belasteten Räumen, steht der Radonschutz teilweise in Konflikt mit der Norm SIA 180 «Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden». Denn der Überdruck erzeugt einen Abluftvolumenstrom, der über Leckagen durch die Konstruktion der Gebäudehülle strömt. Für diese Leckagen gelten Grenzwerte der Norm SIA 180 (Tabelle 5.1). Zudem erhöhen sich dadurch die Lüftungswärmeverluste deutlich. Entsprechend wichtig ist ein Schutzkonzept, das auf geringem Überdruck und kleinen belüfteten Raumvolumen basiert.

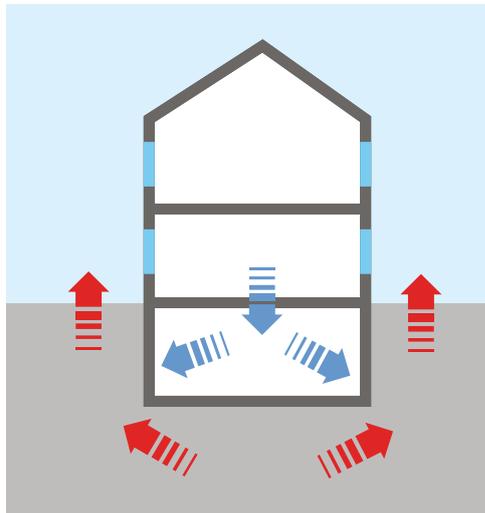


Abbildung 5.8: Überdruck im Gebäude verhindert das Eindringen von Radon.

5.4 Luftwechsel erzwingen

Ein Luftwechsel in Räumen ergibt sich aufgrund von offenen Fenstern, einer Abluftanlage oder einer mechanischen Lüftungsanlage (Tabelle 5.4).

Sofern eine einfache (mechanische) Lüftungsanlage mit Zu- und Abluftführung

und in der Regel Wärmerückgewinnung fachgerecht geplant und installiert wird, bildet dieses System eine zuverlässige Lösung zur Lufterneuerung und dadurch zur Minderung der Radonbelastung in den belüfteten Räumen (Norm SIA 180).

Fensterlüftung	Fensterlüftung mit Stellmotoren	Abluftanlage	Mechanische Lüftungsanlage
Von Hand betätigte Fenster, allenfalls zwei gegenüberliegende Fenster.	Kleinmotoren öffnen und schliessen Fenster, wahlweise automatisch gesteuert.	Belastete Raumluft wird in den Nasszellen und in der Küche abgesogen (Abluft).	Zu- und Abluft über eine Lüftungsanlage, in der Regel mit Wärmerückgewinnung.
- Nachteil: führt zu relativ grossen Energieverlusten (Lüftungswärmeverluste). Häufig ist auch der Komfort ungenügend.	- Nachteil: erzeugt Unterdruck und hat häufig Nachströmeffekte in der Konstruktion zur Folge.	- Nachteil: hohe Kosten, in Altbauten schwierig zu installieren (Platzprobleme). Erzeugt Unterdruck, dadurch Eintrag von radonhaltiger Luft möglich.	- Nachteil: Falls Luftbilanz nicht stimmt, besteht das Risiko für Unterdruck.
+ Vorteil: kostengünstig	+ Vorteil: relativ kostengünstig	+ Vorteil: häufig schon bestehend	+ Vorteil: hoher Komfort, Energieeinsparung
Fazit: Aufgrund mangelnder Systematik in der Lufterneuerung für den Radonschutz kaum geeignet.	Fazit: Für Radonschutz bedingt geeignet (Systematik in der Lufterneuerung lässt sich programmieren).	Fazit: Für Radonschutz nicht geeignet (nur mit Nachströmöffnungen).	Fazit: Ideale Lösung für Radonschutz, fachgerechte Lösung vorausgesetzt.

Tabelle 5.4:
Lufterneuerung.

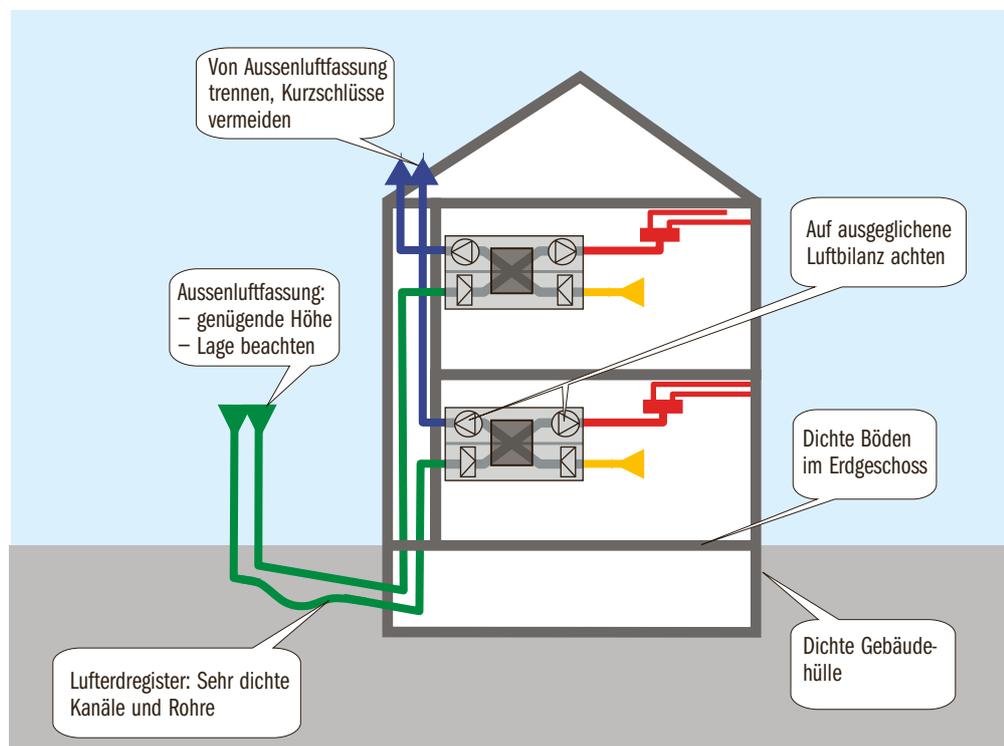


Abbildung 5.9: Wichtige Merkmale bei der Planung einer Wohnungs-lüftungsanlage, siehe auch Merkblatt SIA 2023.

5.5 Gebäude unterlüften

Das Abführen von radonbelasteter Bodenluft durch Unterlüftung des Gebäudes ist ein sehr wirksamer Radonschutz. Allerdings ist dies in vielen bestehenden Gebäuden nur schwierig zu bewerkstelligen und kann mit Wärmeenergieverlusten verbunden sein. Es kommen folgende Massnahmen zum Einsatz:

- Hohlräume unter dem Haus entlüften
- Bodenluft absaugen (Radonbrunnen, Drainage, im Tessin Standardintervention)
- Holllboden absaugen

Grundsätzlich werden dabei zwei Methoden unterschieden:

- Entlüftungsmassnahmen, bei denen Frischluft nachströmt (Querlüften): Der Luftwechsel mindert die Radonkonzentration durch Verdünnung.
- Absaugen und Wegführen von radonhaltiger Luft aus dem Boden (Unterdruck-Effekt): Es entsteht ein Unterdruck im

Hohlraum, der die Radonluft aus dem Boden saugt.

Hohlräume unter dem Haus entlüften

Nicht unterkellerte Gebäude sind häufig über einem Hohlraum errichtet, da diese Konstruktion Feuchteprobleme verhindert. Belüftungsöffnungen in diesen Hohlräumen können dem Radonschutz dienen. Dafür sind sie eventuell zu vergrössern und optimal anzuordnen. Es können auch Ventilatoren eingesetzt werden, die aktiv einen Luftstrom erzeugen. Dabei gibt es zwei Methoden: Entweder lässt man Aussenluft durch die Belüftungsöffnungen nachströmen (Abbildungen 5.10, 5.11 und 5.12) oder aber man verzichtet bewusst auf Nachströmöffnungen und setzt auf den Unterdruck-Effekt (Abbildung 5.13). Dann wird aufgrund des entstehenden Unterdrucks im Hohlraum radonhaltige Luft aus dem Boden angesaugt und abgeführt.

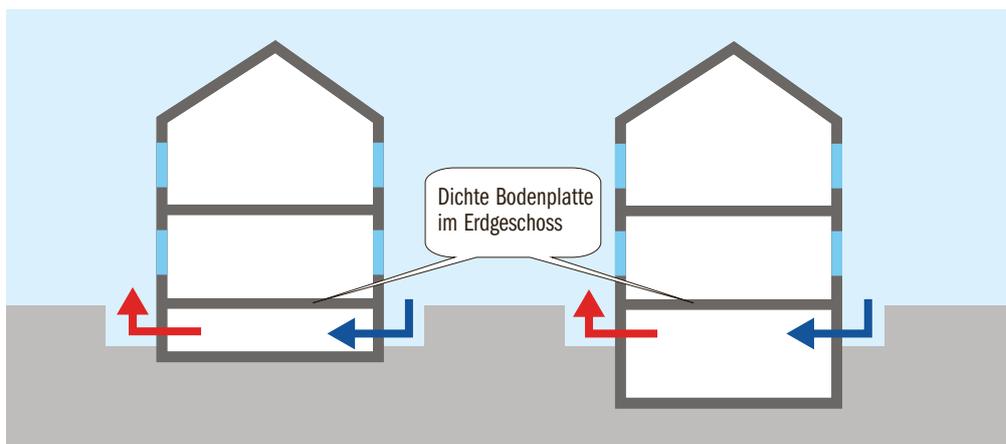


Abbildung 5.10: Grundprinzip einer Unterlüftung mit Frischluftzufuhr (Querlüften).

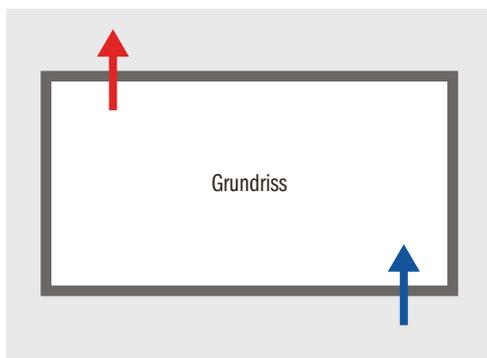


Abbildung 5.11 (links): Eine diagonale Durchströmung verbessert die Lüfterneuerung.

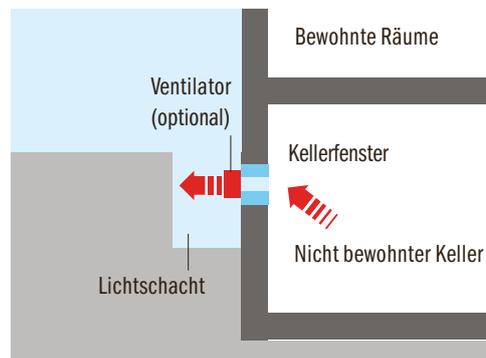


Abbildung 5.12 (rechts): Die Unterlüftung kann aktiv über einen Ventilator erfolgen.

Um die Förderleistung gering zu halten, sollten für diese Methode die den Hohlraum umschliessenden Flächen möglichst dicht sein. Eine möglichst dichte Fläche zum angrenzenden Keller oder Aufenthaltsraum ist unbedingt erforderlich.

Ob eine Unterlüftung passiv oder aktiv erfolgt, hängt von den räumlichen und baulichen Verhältnissen sowie von der Radonbelastung ab. Eine ventilatorgestützte Unterlüftung ist naturgemäss deutlich wirksamer als eine den natürlichen Auftrieb nutzende Lüftung. Selbst wenn nur ein Teil eines Gebäudes unterlüftet wird, hat dies einen positiven Effekt auf das gesamte Untergeschoss. Denn der Unterdruck löst einen weiträumigen Sog aus, sodass die Radonbelastung im gesamten Geschoss reduziert wird.

Terrassenhäuser bergen je nach Standort aufgrund der grossen erdberührenden Gebäudehüllflächen ein erhöhtes Radonrisiko. Je nach baulicher Situation kann die Unterlüftung oder die Hinterlüftung von erdberührenden Räumen eine sinnvolle Massnahme sein, die fallweise durch seitliche Öffnungen unterstützt werden kann.

Bodenluft absaugen

Diese Massnahme ist meist die günstigste Lösung. Dabei wird ein Unterdruck unterhalb der Bodenplatte erzeugt. Im Gegensatz zur Entlüftung von Hohlräumen strömt keine Aussenluft nach, sondern weitere radonbelastete Bodenluft. Die Wirksamkeit hängt also davon ab, ob gegenüber den darüberliegenden Kellerräumen vollflächig ein Unterdruck aufgebaut werden kann. Das kann zum Beispiel durch ein Schotterbett direkt unter der Bodenplatte und dem darunter liegenden dichten Boden erreicht werden.

Radonbrunnen

Die Bodenluftabsaugung kann punktuell über einen Radonbrunnen umgesetzt werden. Hier gilt es sich zu vergewissern, dass die Luft unterhalb des gesamten Grundrisses abgesaugt werden kann. Die Absaugung kann erfolgen durch:

■ Verwendung von Hohlräumen (Installationskanäle) mit Verbindung zum Erdreich unterhalb der Bodenplatte.

■ Kernbohrung durch Bodenplatte und Loch im darunterliegenden Schotterbett. Dann wird mit einem Ventilator die Bodenluft abgesaugt und über Rohre nach draussen geleitet. Bei Bedarf können auch mehrere Löcher mit einer gemeinsamen Abaugleitung verbunden werden.

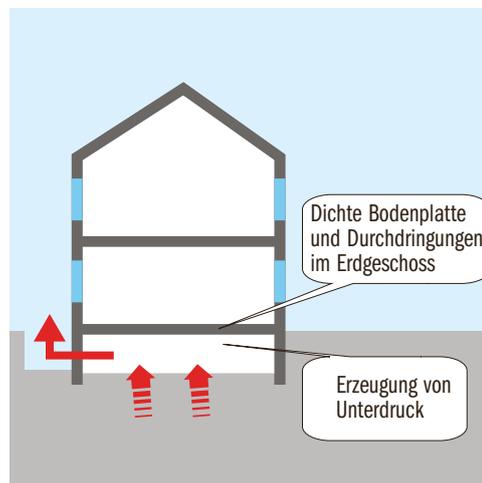


Abbildung 5.13: Grundprinzip einer Absaugung mit Unterdruckerzeugung.

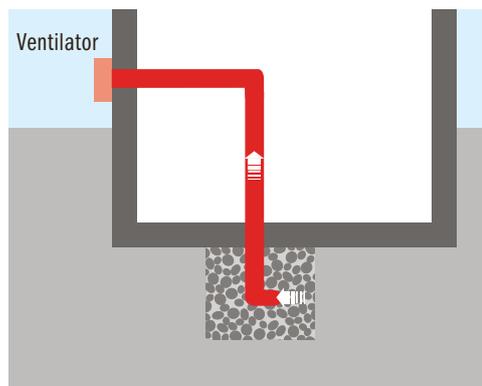


Abbildung 5.14: Interner Radonbrunnen.

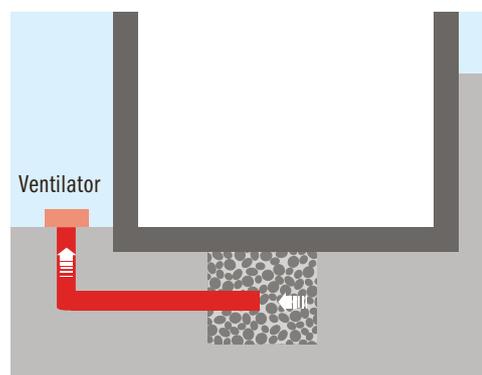


Abbildung 5.15: Externer Radonbrunnen.

Die Ventilatorleistung ist in Abhängigkeit von der Durchlässigkeit des Bodens und vom Bodenluftdruck zu wählen.

■ Aushub eines Schachtes (ca. 0,5 m auf 0,5 m, 1 m hoch)

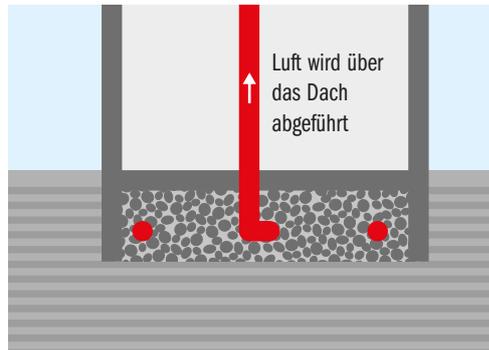


Abbildung 5.16: Einbau Radondrainage in Schotter- oder Kiesbett (Rohrabstand bis zu 8 m).

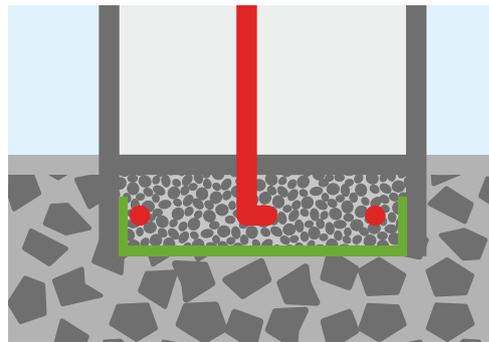


Abbildung 5.17: Einbau Radondrainage mit zusätzlicher Magerbetonschicht (grün) bei hochdurchlässigen Böden.

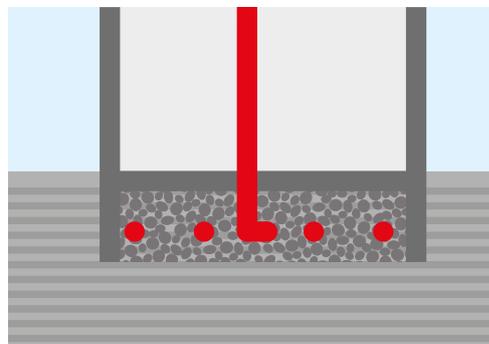


Abbildung 5.18: Einbau Radondrainage in dichtes Erdreich (Rohrabstand 1 m bis 3 m).

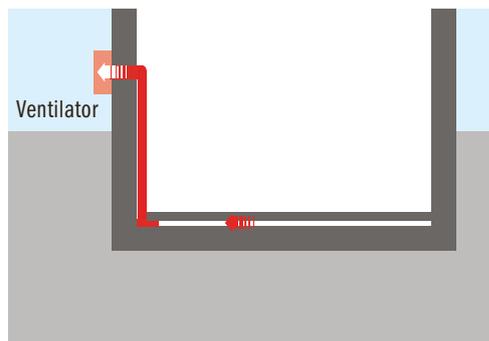


Abbildung 5.19: Hohlboden-Absaugung.

Es ist auch möglich, die Absaugrohre außerhalb des Gebäudes zu führen (externer Radonbrunnen, Abbildung 5.15).

Radondrainage

Noch effektiver ist eine flächige Radondrainage. Dafür wird im Unterboden ein System von Drainageleitungen verlegt. Zum Einsatz kommen Drainagerohre oder Flachkanäle mit perforierter Unterseite. Der Rohrdurchmesser beträgt üblicherweise 10 cm. Das Bodenmaterial sollte eine gewisse Luftdurchlässigkeit aufweisen. Die Durchlässigkeit des umgebenden Materials bestimmt die Art der Rohrverlegung. Je dichter der Boden ist, desto enger muss das Rohrnetz gelegt sein. Bei Einbau in ein Kies- oder Schotterbett wird das Rohrsystem schlangenförmig mit einem Rohrabstand von bis zu 8 m verlegt und zu einer Abluftleitung (Vollwandrohr) zusammengeführt. Beim Einbau des Rohrsystems direkt in dichtes Erdreich ist ein Abstand von 1 m bis 3 m erforderlich. Drainagen eignen sich für Sanierungen, bei Neubauten wird eher eine dichte Bodenplatte eingebaut. Mit einer vollflächigen Radondrainage wird ein neuer Boden ins Gebäude eingebaut. Dieser Boden muss mittels Bitumen- oder Radonfolien vollflächig abgedichtet sein, sonst wird Raumluft angesogen, mit den entsprechenden Effizienzverlusten.

Hohlboden absaugen

Hohlbodenkonstruktionen können in verschiedenster Weise erstellt werden und sind auch nachträglich in bestehenden Bauten realisierbar, sofern die Raumhöhe dies zulässt. Es gibt diverse Fertigfabrikate auf dem Markt, die für Installationen im Bürobereich gedacht sind. Der Hohlraum sollte durchgehend sein. Die Luft im Hohlraum wird entweder passiv oder aktiv mittels Ventilator über ein Rohrsystem ins Freie abgesaugt. Dabei ist sicherzustellen, dass der obere Boden möglichst luftströmungsdicht gegenüber den Innenräumen ausgeführt ist. Diese Methode kann auch bei erdberührenden Wänden angewandt werden.

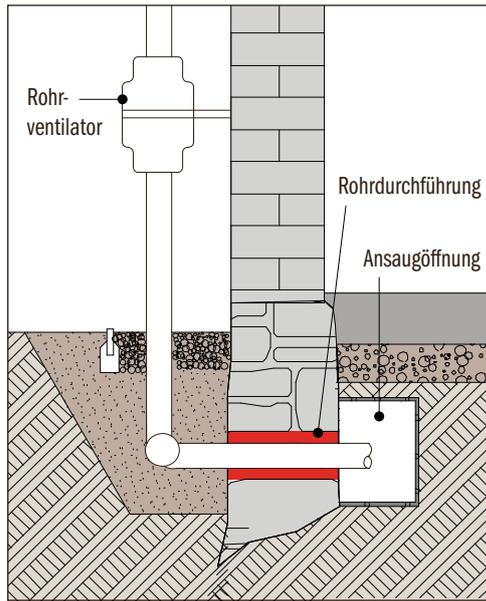


Abbildung 5.20 (links):
Radonbrunnen (Quelle:
SMUL).

Abbildung 5.21 (unten): An-
sicht einer Radondrainage
(Quelle: SMUL).

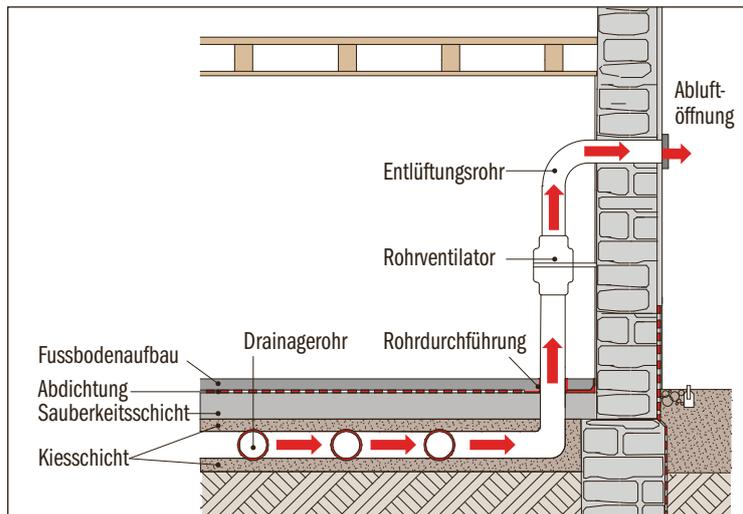
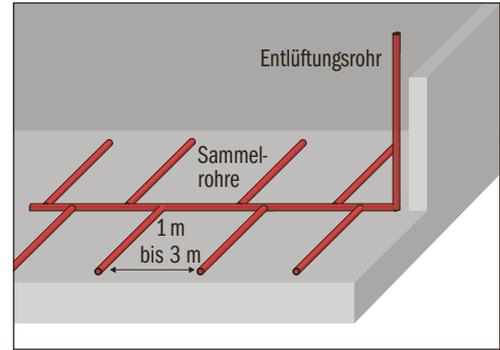
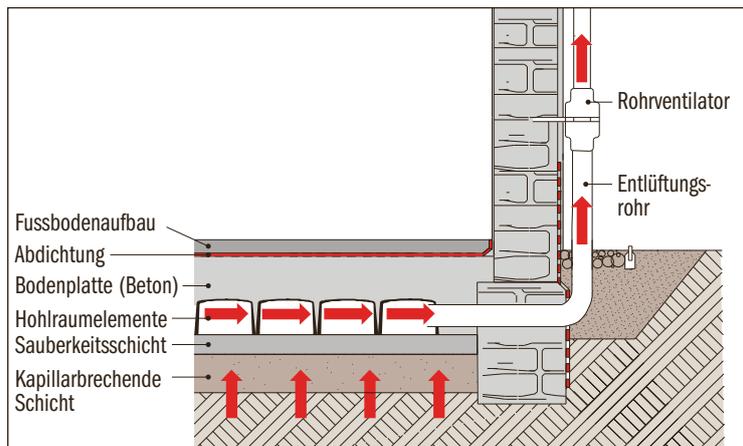


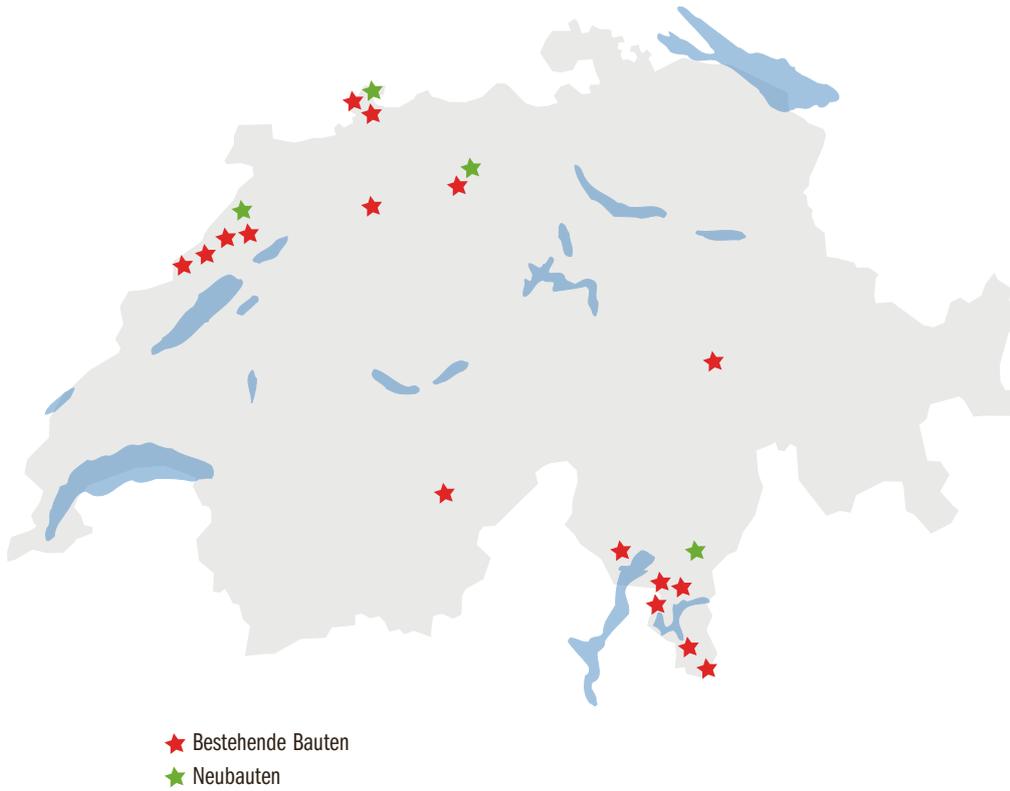
Abbildung 5.22 und 5.23:
Eine Radondrainage im
Vertikalschnitt. In der Re-
gel ist die Führung der ra-
donhaltigen Abluft über ei-
nen Kellerraum einfacher
zu bewerkstelligen, als das
Entlüftungsrohr ausserhalb
der Gebäudehülle im Pe-
rimeterbereich zu montie-
ren. Da Rohrventilatoren
nicht völlig dicht sind, hat
die Innenmontage auch
Nachteile. Deshalb sollte
der Ventilator möglichst
nah an der Ausblasöffnung
montiert werden (Quelle:
SMUL).



Kapitel 6

Beispiele

6.1 Übersicht



Beispiele bestehende Bauten						
Region		Objekt (Baujahr)	Belastung vorher	Belastung nachher	Massnahmen	Seite
Tessin	Mendrisio	Einfamilienhaus (1962)	EG: bis 2200 Bq/m ³	bis 202 Bq/m ³	Externer Radonbrunnen	53
Tessin	Mendrisio	Mehrfamilienhaus	EG: bis 1900 Bq/m ³ UG: bis 4300 Bq/m ³	bis 102 Bq/m ³	Entlüftung Keller	56
Tessin	Lugano	Einfamilienhaus (um 1960)	OG: bis 980 Bq/m ³	bis 190 Bq/m ³	Interner Radonbrunnen	59
Tessin	Malcantone	Einfamilienhaus (1960)	Erdgeschoss: bis 2900 Bq/m ³	bis 54 Bq/m ³	Entlüftung Kriechkeller	62
Tessin	Sottoceneri	Einfamilienhaus (1960)	bis 2000 Bq/m ³	bis 53 Bq/m ³	Unterbodenabsaugung	65
Tessin	Locarno	Einfamilienhaus	bis 3000 Bq/m ³	350 Bq/m ³	Abdichtung und Entlüftung Keller	67
Graubünden	Surselva	Einfamilienhaus (um 1700)	EG: bis 2500 Bq/m ³ UG: über 10 000 Bq/m ³	unter 300 Bq/m ³	Kellerraum als Radonbrunnen	69
Westschweiz	Berner Jura	Einfamilienhaus (17. Jahrhundert)	Keller: 3280 Bq/m ³ Büro: 2997 Bq/m ³ Wohnküche: 2335 Bq/m ³	100 Bq/m ³ bis 600 Bq/m ³	Überdruck-Lüftungsanlage Waschküche	73
Westschweiz	Freiberge	Einfamilienhaus (2005)	Bad: bis 14 000 Bq/m ³	unter 250 Bq/m ³	Externer Radonbrunnen	75
Westschweiz	Neuenburger Jura	Schulhaus (Ende 1990er-Jahre)	Erdgeschoss: bis 8000 Bq/m ³ Keller: bis 15 000 Bq/m ³	150 Bq/m ³	Absaugung Kriechkeller	77
Westschweiz	Neuenburger Jura	Einfamilienhaus (1956)	bis 4500 Bq/m ³	unter 80 Bq/m ³	Externer Radonbrunnen	81
Wallis	Oberwallis	Schulhaus (1950er-Jahre)	Klassenzimmer: 390 Bq/m ³ Werkraum: 3140 Bq/m ³	Klassenzimmer: 60 Bq/m ³ , Werkraum: 783 Bq/m ³	Lüftung optimiert	84
Mittelland	Solothurn	Kindergarten (um 1970)	EG: bis 2700 Bq/m ³	unter 100 Bq/m ³	Absaugung Kriechkeller	89
Mittelland	Olten	Einfamilienhaus (1974)	Keller: bis 4500 Bq/m ³ Flur: 1800 Bq/m ³	300 Bq/m ³	Neue, dichte Kellertüre	92
Nordwestschweiz	Basel	Verwaltungsgebäude (1903)	Keller: bis 1500 Bq/m ³	100 Bq/m ³	Entlüftung UG	95
Nordwestschweiz	Riehen	Einfamilienhaus (1921)	Keller: 1930 Bq/m ³ Wohnzimmer: 290 Bq/m ³ Schlafzimmer: 130 Bq/m ³	k. A.	Ausbau Warmluftkamin	98
Wohnhaus mit sehr hohen Radonwerten		Einfamilienhaus	UG: 55000 Bq/m ³ Wohnräume: bis 9000 Bq/m ³ Ferien-Whg.: bis 3500 Bq/m ³	keine Reduktion der Radonwerte	Radondrainage, mechanische Entlüftung im UG	101

Beispiele Neubauten						
Region		Objekt (Baujahr)	Massnahmen		Seite	
Tessin	Bellinzona	Einfamilienhaus (2013)	Abdichtung Rohrdurchführungen, Bodenplatte mit XC2-Beton, präventives Drainagesystem, mechanische Luftzufuhr für Druckausgleich		103	
Westschweiz	Freiberge	Einfamilienhaus (Komplettsanierung 2015)	Dichte Gebäudehülle, Komfortlüftung		106	
Mittelland	Olten	Schulhaus (2013)	Radonwerte zwischen 10 und 789 Bq/m ³ (Grundwasserbrunnenraum), keine Massnahmen notwendig		108	
Nordwestschweiz	Riehen	Kindergarten (2017)	Erdgeschoss-Bodenplatte und erdberührenden Wände in wasserundurchlässigem Beton, Radondrainageschicht unter der EG-Bodenplatte, abgedichtete Abluftrohre ab UG über das Dach		109	

6.2 Bestehende Bauten

Einfamilienhaus im Bezirk Mendrisio

Das Einfamilienhaus steht im Tessin, wo das Radonpotenzial generell hoch ist. Das Gebäude wurde 1962 gebaut und 1999 erweitert. Es besteht aus zwei Geschossen (Erdgeschoss und erster Stock). Die Hauptwohnräume (Küche, Wohnzimmer, Bäder, Schlafzimmer, Mehrzweckraum) befinden sich im ersten Stock. Seit kurzem wurde die Raumnutzung im Erdgeschoss modifiziert. Es befinden sich nun neben unbewohnten Räumen (Waschküche, Kellerraum) auch bewohnte Räume (Hobbyraum, Büroraum) im Erdgeschoss. Die beiden Stockwerke sind mit Treppen verbunden.

Radonsituation

Eine erste Messung mit einem passiven Dosimeter ergab im Wohnzimmer im ersten Stock eine Radonbelastung von 307 Bq/m^3 . Im Erdgeschoss war eine weitaus höhere Konzentration zu erwarten. Weitere Messungen mit aktiven Messgeräten ergaben in den Räumen im Erdgeschoss Werte bis zu 2218 Bq/m^3 und im ersten Stock bis zu 983 Bq/m^3 .

Analyse

Radon kann durch diverse Undichtigkeiten der Bodenkonstruktion in das Gebäude eindringen, deshalb wurde der Einbau eines Radonbrunnens, welcher im Boden unterhalb des Hauses einen Unterdruck erzeugt, empfohlen. Es gab zwei mögliche Lösungen:

- Interner Radonbrunnen in der Waschküche, der Bodenluft nach aussen bläst.
- Externer Radonbrunnen neben dem Haus, dessen Leitung bis unterhalb des Hauses geführt wird.

Ein interner Radonbrunnen hat in der Regel eine höhere Effizienz. Dafür erfordert ein externer Radonbrunnen keine Änderung der Gebäudestruktur und erzeugt keine Ventilatorgeräusche im Gebäude. Aus diesen Gründen wurde die externe Variante gewählt.

Massnahmen

Als Test wurde eine erste Bohrung für ein Ansaugrohr erstellt. Die Wirkung war aber nicht ausreichend. Die Radonwerte im Wohnzimmer im ersten Geschoss lagen immer noch bei 567 bis 886 Bq/m^3 . Die Bohrung erwies sich als zu kurz, da sie den Fundamentsockel nicht durchbrach. Dies hatte zur Folge, dass kein Unterdruck unterhalb des Hauses entstand. Eine weitere Bohrung an einer anderen Position war erfolgreich. Eine dreimonatige Nachmessung mit passiven Dosimetern ergab folgende Radonwerte:

- Wohnzimmer (1. OG): 112 Bq/m^3
- Flur (EG): 202 Bq/m^3
- Büro (EG): 91 Bq/m^3

Die Anlage läuft während der Heizperiode kontinuierlich. Im Sommer, wenn das Haus nicht durchlüftet wird, ist der Ventilator lediglich während der Nacht in Betrieb.

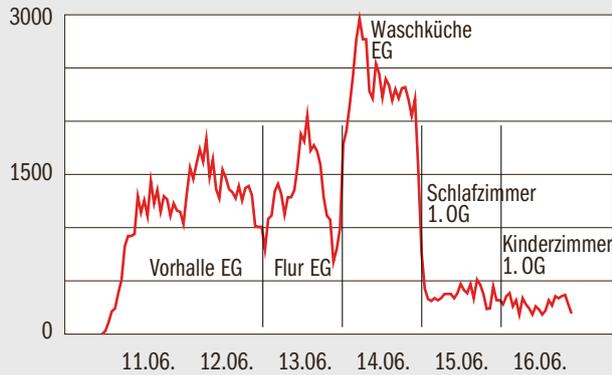
Abbildung 6.1 (oben): Das zweigeschossige Gebäude wies Undichtigkeiten in der Bodenkonstruktion auf. Das führte zu erhöhten Radonwerten, insbesondere im Erdgeschoss.



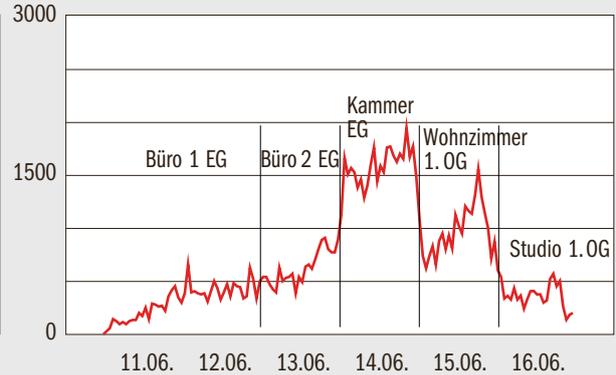
Abbildung 6.2 (Mitte): Messungen mit aktiven Messgeräten ergaben deutlich erhöhte Radonwerte.

Abbildung 6.3 (unten): Die zweite Bohrung für einen Radonbrunnen führte zu einer erfolgreichen Reduktion der Radonwerte.

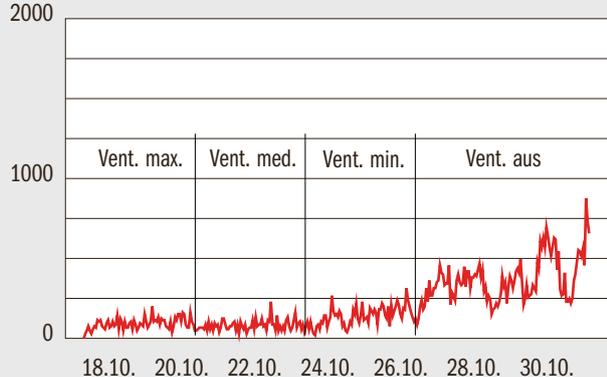
Radongehalt (Bq/m³)



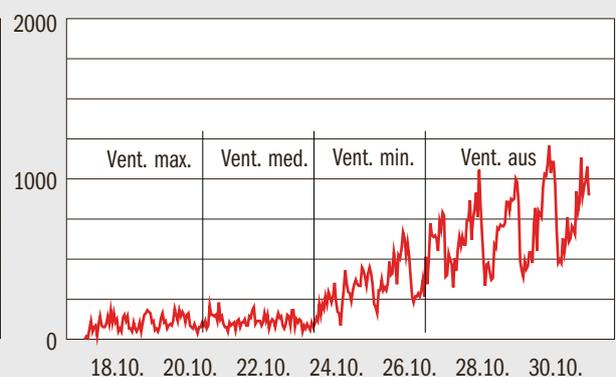
Radongehalt (Bq/m³)



Radongehalt in der Vorhalle EG (Bq/m³)



Radongehalt im Wohnzimmer 1. OG (Bq/m³)



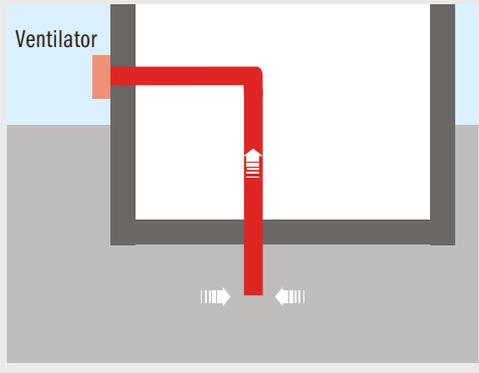
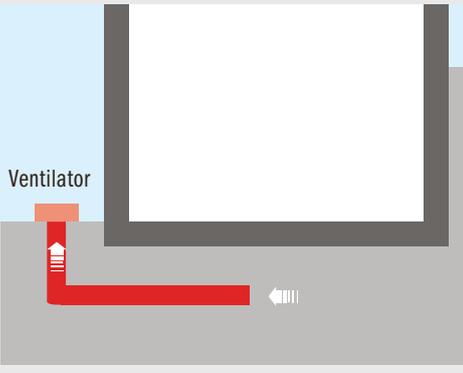
Interner Radonbrunnen	Externer Radonbrunnen
	
Vorteile	Vorteile
<ul style="list-style-type: none"> ■ in der Regel höhere Effizienz 	<ul style="list-style-type: none"> ■ keine Änderung der Gebäudestruktur
Nachteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> ■ Änderung der Gebäudestruktur (Loch im Fussboden) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ in der Regel geringere Effizienz
<ul style="list-style-type: none"> ■ Ventilatorgeräusche in Gebäude und Umgebung 	

Tabelle 6.1: Vor- und Nachteile der Lösungsmöglichkeiten.



Abbildung 6.4: Für den externen Radonbrunnen wurde eine Bohrung neben und unter dem Haus durchgeführt.



Abbildung 6.5: Die Mündung des Radonbrunnens befindet sich neben dem Haus.

Mehrfamilienhaus im Bezirk Mendrisio

Das Mehrfamilienhaus steht im Ortskern auf einem Schotterboden. Es beinhaltet eine teilweise unterkellerte Erdgeschoss-Wohnung. Die Wohnung besteht aus Wohnzimmer, Küche, Bad und Schlafzimmer. Im Untergeschoss befindet sich ein unbewohnter Keller. Ein Teil der Wohnung ist oberhalb des Kellers, der Rest der Wohnung hat direkten Erdkontakt. Der Keller ist durch eine undichte Tür mit der Wohnung verbunden. Eine Besonderheit ist die gewölbte Kellerdecke.

Radonsituation

Die erste Messung mit einem passiven Dosimeter ergab im Wohnzimmer eine Radonbelastung von 647 Bq/m^3 . Weitere Messungen mit aktiven Messgeräten zeigten massiv erhöhte Radonwerte:

- Im Erdgeschoss bis 1919 Bq/m^3
- Im Untergeschoss bis zu 4367 Bq/m^3

Analyse

Der Schotterboden unterhalb des Hauses wurde als Radonquelle identifiziert. Es wurden zwei Lösungen in Betracht gezogen:

- Entlüftung des Kellerraums: Der Einbau eines Lüfters im Keller erzeugt einen Unterdruck im Boden unter dem Gebäude.
- Radonbrunnen: Ein interner oder externer Radonbrunnen erzeugt einen Unterdruck unter dem Gebäude.

Zunächst wurde aufgrund der niedrigeren Kosten die Entlüftungslösung gewählt. Fraglich war allerdings, ob die Ventilatorleistung ausreichend wäre.

Massnahmen

Ein Entlüftungstest im Kellerraum ergab gute Ergebnisse. Die Radonkonzentration im Wohnzimmer im Erdgeschoss sank bei eingeschaltetem Ventilator auf einen Mittelwert von 142 Bq/m^3 . Die definitive Anlage wurde mit einem Radialventilator mit 41 Watt Leistung und einem Luftvolumenstrom von $250 \text{ m}^3/\text{h}$ realisiert.

Nachmessungen mit passiven Dosimetern ergaben folgende Werte:

- Schlafzimmer (EG): 100 Bq/m^3
- Wohnzimmer (EG): 102 Bq/m^3

Nach dem Abschalten des Ventilators überschritt die Radonkonzentration den vom Dosimeter gemessenen Wert, darum sollte die Anlage während der Heizperiode kontinuierlich eingeschaltet bleiben. Ausserdem muss die Kellertür luftdicht abgeschlossen sein, um den Absaugeffekt zu verstärken und somit einen grösseren Unterdruck im Unterboden zu erreichen.

Damit es zu keinen nachteiligen bauphysikalischen Effekten kommt und die Heizenergiebilanz im Gebäude nicht verschlechtert wird, ist es wichtig, nachzuprüfen, woher die ausgeblasene Luft nachströmt.

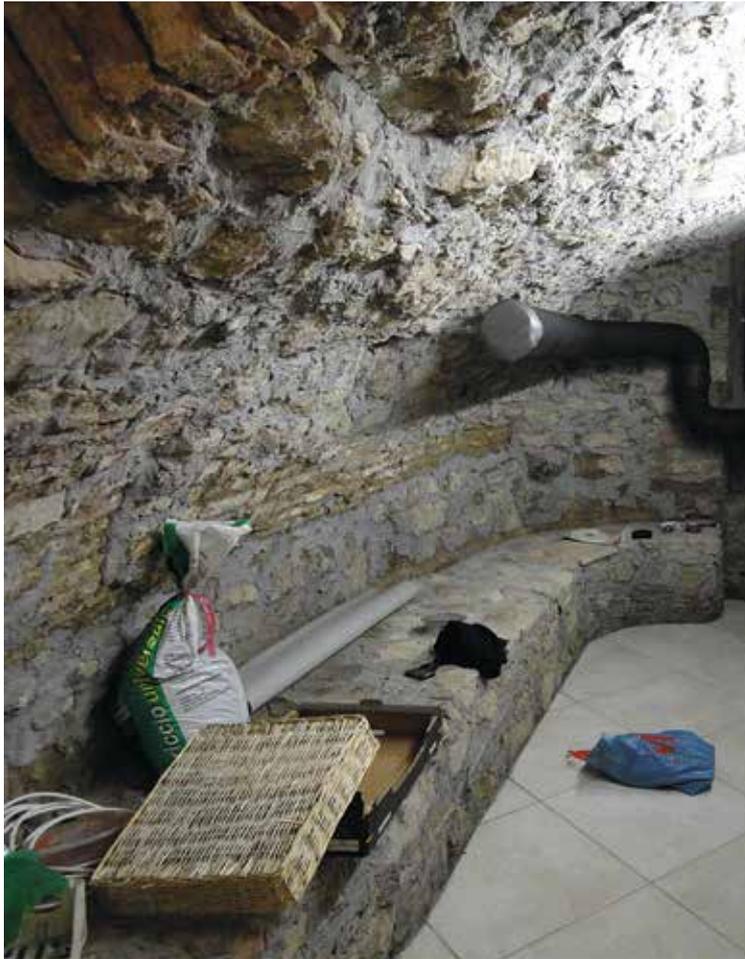


Abbildung 6.6: Im Untergeschoss der Wohnung ist ein Keller mit gewölbter Decke.



Abbildung 6.7: Die betroffene Wohnung befindet sich im Erdgeschoss eines Mehrfamilienhauses.

Abbildung 6.8 (links): Erste Entlüftungsversuche wurden über das Kellerfenster durchgeführt.



Abbildung 6.9 (rechts): Für die definitive Anlage wurde ein Rohr durch die Aussenwand geführt und ein Radial-Ventilator installiert.



Radongehalt (Bq/m³)

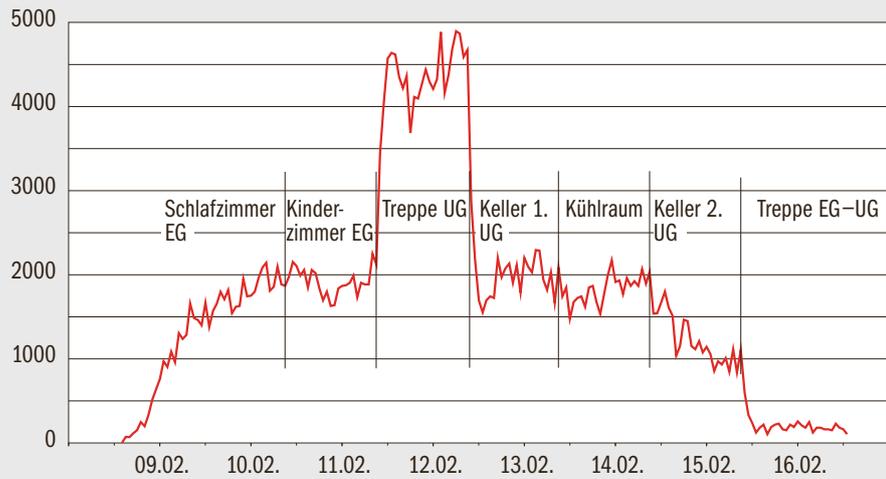


Abbildung 6.10: Vor der Radonsanierung waren die Radonwerte in allen Räumen hoch.

Radongehalt im Wohnzimmer EG (Bq/m³)

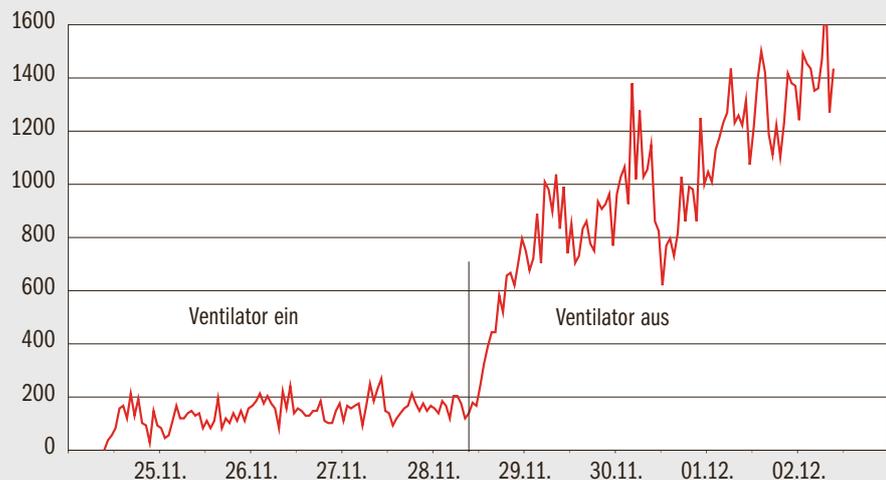


Abbildung 6.11: Die Entlüftungsversuche im Keller zeigten gute Ergebnisse.

Einfamilienhaus im Bezirk Lugano

Das Einfamilienhaus wurde in den 1960er-Jahren in einer Region mit hohem Radonrisiko gebaut und besteht aus zwei Geschossen (Erdgeschoss und erster Stock). Im Erdgeschoss befinden sich Hobbyraum, Bad, Heizungsraum, Vorratsraum, Waschküche und Abstellraum sowie ein teilweise unterirdischer Kriechkeller. Im ersten Stock sind Wohnräume (Wohnzimmer, Küche, Bad, Schlafzimmer). Die Stockwerke sind mit offenen Treppen verbunden.

Radonsituation

Eine Messung mit einem passiven Dosimeter ergab im Schlafzimmer eine erhöhte Radonkonzentration von 983 Bq/m^3 .

Analyse

Es wurden zwei Lösungen evaluiert:

- Entlüftung Kriechkeller: Durch einen Ventilator in der Aussenwand des Kriechkellers wird in diesem und damit auch unterhalb des Gebäudes ein Unterdruck erzeugt und das Radon abgesaugt.

- Interner Radonbrunnen: Die Leitung führt in den Erdboden unterhalb des Gebäudes und erzeugt dort einen weitreichenden Unterdruck.

Der interne Radonbrunnen hat eine höhere Effizienz, aber bei der Entlüftungslösung sind die Kosten niedriger und keine Änderungen der Gebäudestruktur notwendig. Darum entschied man sich in einem ersten Schritt für die Entlüftung.

Massnahmen

Im Kriechkeller wurden Entlüftungstests durchgeführt. Die Kontrollmessungen zeigten jedoch ein unbefriedigendes Resultat. Selbst bei höchster Ventilationsstufe lag der gemittelte Radonwert im Hobbyraum (EG) noch bei 1757 Bq/m^3 .

Aus diesem Grund wurde in einem zweiten Schritt ein interner Radonbrunnen realisiert. Das Absaugrohr wurde im Abstellraum (EG) durch die Bodenplatte nach unten geführt, so dass unter dem Gebäude ein Unterdruck entsteht. Die Luftevakuierung erfolgte über ein Rohr durch die Aussenwand nach draussen. Mit dieser Lösung konnten die Radonkonzentrationen ausreichend gesenkt werden. Die dreimonatige Nachmessung mit passiven Dosimetern nach der Radonsanierung ergab folgende Werte:

- Schlafzimmer (1. OG): 96 Bq/m^3

- Korridor (EG): 190 Bq/m^3

Der Radonbrunnen sollte während der Heizperiode kontinuierlich eingeschaltet bleiben.



Abbildung 6.12: Unter dem Einfamilienhaus befindet sich ein Kriechkeller.

Entlüftung Kriechkeller	Interner Radonbrunnen
Vorteile	Vorteile
■ niedrige Kosten	■ hohe Effizienz
■ keine Änderung der Gebäudestruktur	
Nachteile	Nachteile
■ Ventilatorgeräusch eventuell für Nachbarn hörbar	■ höhere Kosten
■ niedrigere Effizienz	■ Ventilatorgeräusche in Gebäude und Umgebung

Tabelle 6.2: Vor- und Nachteile der Lösungsmöglichkeiten.



Abbildung 6.13: Zunächst wurde die Entlüftung des Kriechkellers getestet (links). Anschliessend wurde ein interner Radonbrunnen erstellt (rechts).

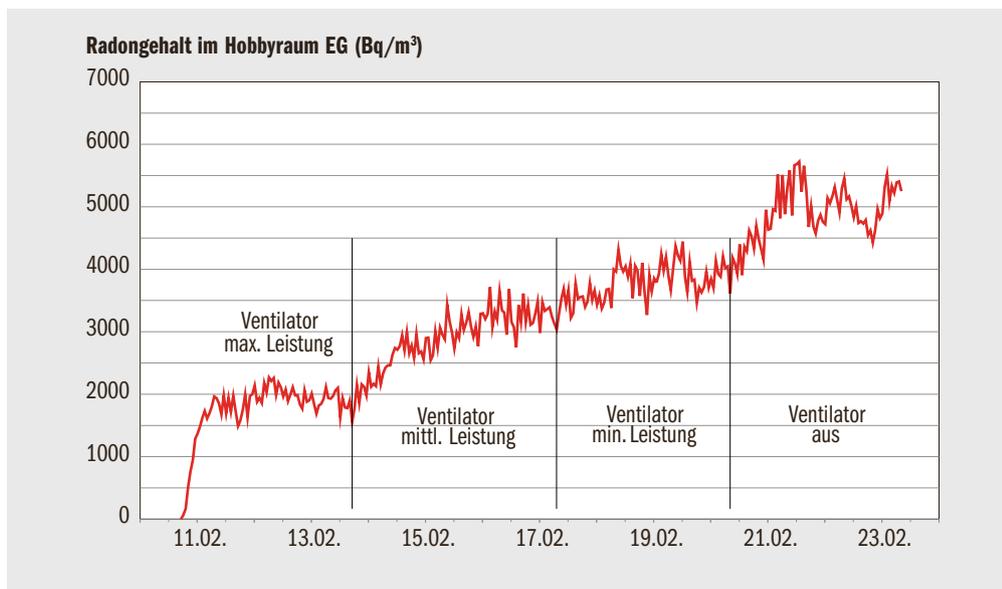


Abbildung 6.14: Die im ersten Schritt getestete Entlüftung des Kriechkellers brachte nicht den erwünschten Erfolg.

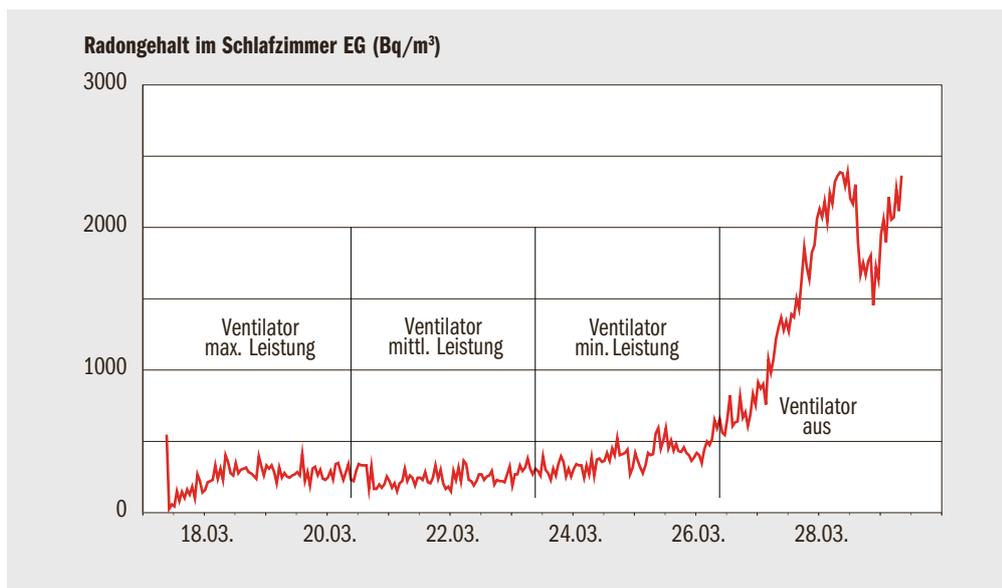


Abbildung 6.15: Der im zweiten Versuch eingebaute interne Radonbrunnen hat die Radonkonzentration erheblich verringert. Die gemessenen Werte im Schlafzimmer lagen bei maximaler und bei mittlerer Ventilatorleistung unterhalb von 300 Bq/m³.

Einfamilienhaus im Malcantone

Das eingeschossige Wohnhaus im Tessin wurde 1960 gebaut und 2015 energetisch saniert. Das Haus besteht aus mehreren Wohnräumen (zwei Schlafzimmer, Bad, Wohnzimmer mit Küche) sowie zwei unbewohnten Räumen (Technikraum, Öltankraum). Unter dem Haus befindet sich ein Kriechkeller, welcher über fünf Belüftungslöcher verfügt.

Radonsituation

Vor der Sanierung hatte eine Messung mit einem passiven Dosimeter im Wohnzimmer einen Radonwert von 2901 Bq/m^3 ergeben. Nach dieser ersten Messung wurden bereits einige Radonschutzmassnahmen getroffen:

- Vorrichtung zur Montage eines Ventilators für die Entlüftung eines Kriechkellers
- Belüftungslöcher im Kriechkeller für eine höhere Luftwechselrate (passiver Modus).

Da das Haus verkauft werden sollte, wurde eine umfassende Radonsanierung angegangen.

Analyse

Als Lösung wurde die Entlüftung des Kriechkellers vorgeschlagen, wobei alle Belüftungslöcher hermetisch verschlossen wurden. Danach wird ein Ventilatorsystem an der Aussenwand des Kriechkellers montiert. Es entsteht ein Unterdruck, die radonhaltige Luft wird abgesaugt und nach aussen transportiert.

Massnahmen

Zunächst wurde mit einem Prototyp ein normaler Unterdrucktest durchgeführt. Die gemessenen Radonwerte lagen im Erdgeschoss unter 300 Bq/m^3 . Versuchshalber wurde danach die Ventilationsrichtung geändert und somit ein Überdruck erzeugt. Dies reduzierte den Mittelwert der Radonkonzentration auf fast ein Drittel des ohnehin schon guten Mittelwertes bei Unterdruck. Die gemessenen Werte bei abgeschaltetem Ventilator lagen jedoch nach der Überdruckphase weitaus höher als im

Fall des Unterdrucks. Um kein Risiko einzugehen, entschied man sich für die Unterdrucklösung.

Die definitive Entlüftungsanlage wurde mit einem radialen Ventilator mit 70 Watt Leistung und einem Luftaustausch von $240 \text{ m}^3/\text{h}$ realisiert. Nachmessungen mit passiven Dosimetern belegten die Reduktion der Radonwerte:

- Wohnzimmer (EG): 54 Bq/m^3
- Schlafzimmer (EG): 51 Bq/m^3

Die Entlüftung des Kriechkellers hat zu einer erheblichen Verringerung der Radonkonzentrationen in allen gemessenen Räumen geführt. Die Anlage muss kontinuierlich eingeschaltet bleiben.

Damit es zu keinen nachteiligen bauphysikalischen Effekten kommt und die Heizenergiebilanz im Gebäude nicht verschlechtert wird, ist es wichtig, nachzuprüfen, woher genau die ausgeblasene Luft nachströmt.

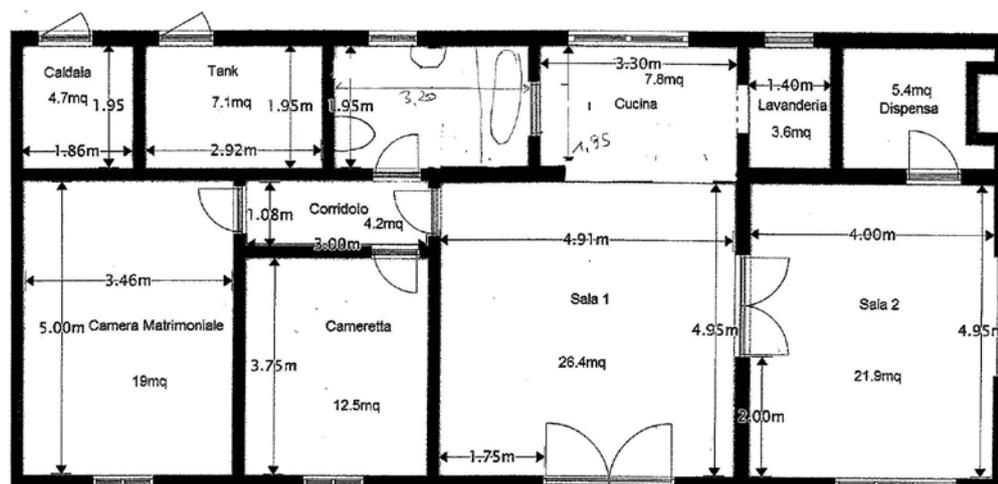
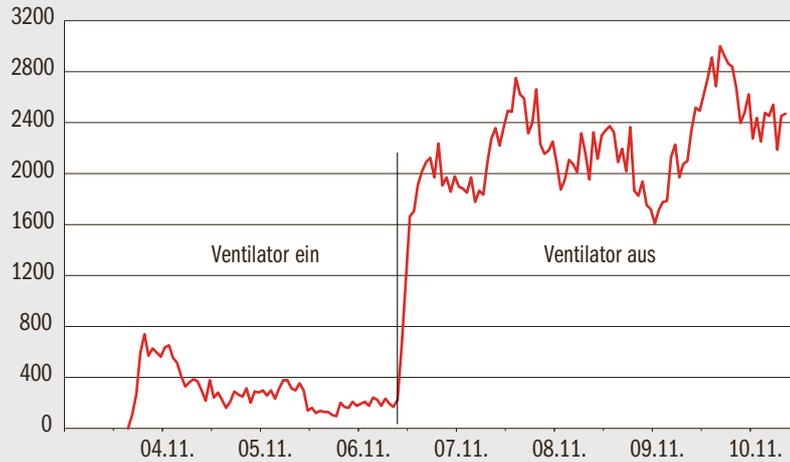


Abbildung 6.16 (oben): Am Haus wurden bereits früher erste Radonschutzmassnahmen getroffen.

Abbildung 6.17 (unten): Belüftungslöcher im Kriechkeller unter dem Haus sorgten für eine erhöhte Luftwechselrate.

Abbildung 6.18 (links): Grundriss Erdgeschoss. Über dem Kriechkeller sind die Wohnräume angeordnet.

Radongehalt im Wohnzimmer EG (Bq/m³)



Radongehalt im Bad EG (Bq/m³)

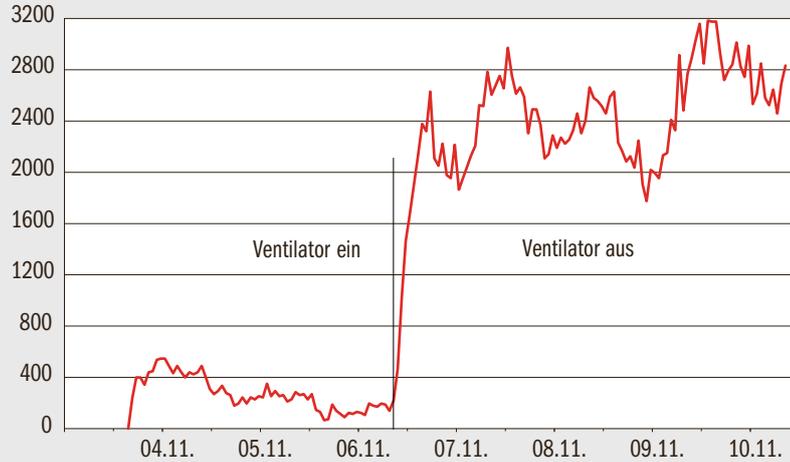


Abbildung 6.19 und
Abbildung 6.20: Unter-
druckversuche zeigten,
dass die Entlüftung des
Kriechkellers die Radon-
werte im Erdgeschoss auf
unter 300 Bq/m³ senkte.

Radongehalt im Bad EG (Bq/m³)

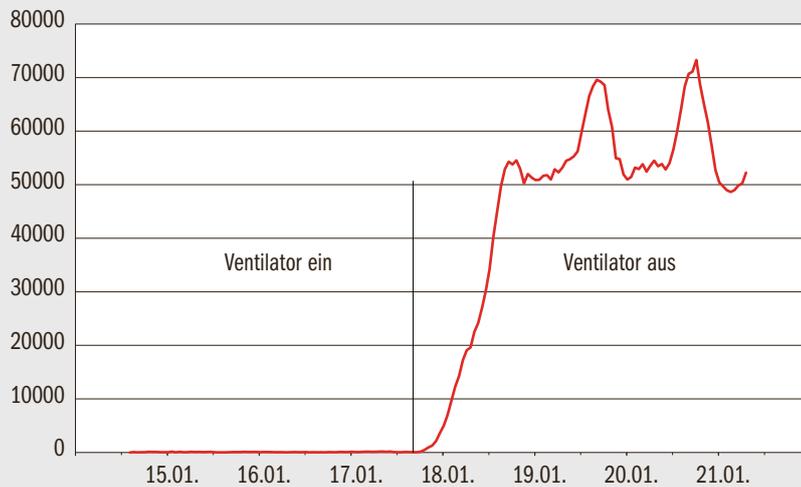


Abbildung 6.21: Nach einer
Überdruckphase lagen die
Radonwerte weitaus höher
als frühere Messwerte. Der
Mittelwert dagegen betrug
während der Überdruck-
phase nur 75 Bq/m³ und
damit weitaus niedriger als
bei der Unterdruckphase
(271 Bq/m³).

Einfamilienhaus im Sottoceneri

Das an Hanglage gebaute Haus beherbergt im Sockelgeschoss mehrere Schlaf- und Aufenthaltsräume. Im darüberliegenden Erdgeschoss befinden sich der Wohn- und Essbereich, die Küche, ein Bad und ein Arbeitszimmer.

Radonsituation

Nach detaillierten Messungen mit Werten im Sockelgeschoss bis zu 2000 Bq/m^3 wurde 2007 in einem Schlafräum eine Radonsanierung vorgenommen. Der Einbau eines Einzelraumlüftungsgeräts und einer Bodenabdichtung mit estrichverschweisster Teerpappe-Zement-Plastikfolie führten nicht zu der gewünschten Radonabsenkung. Im Erdgeschoss wurden nur geringfügig erhöhte Radonwerte gemessen.

Analyse

Das Radon kann im Sockelgeschoss durch eine Vielzahl schwer lokalisierbarer Undichtigkeiten ins Gebäude gelangen, beispielsweise durch offene Estrichrandstreifen, Fugen, Risse und im Bereich erdberührender Wandpartien. Vom Sockelgeschoss gelangt es über ein offenes Treppenhaus ins Erd-

geschoss. Nach der enttäuschenden ersten Radonsanierung wurde 2013 eine zweite Intervention zur Verminderung der Radonkonzentration durchgeführt.

Massnahmen

Im Sockelgeschoss wurde der Boden auf einer Fläche von etwa 5 m^2 aufgebrochen, Radondrainageleitungen eingelegt, wärmedämmt und wieder dicht geschlossen. Der Sammelschacht der Drainageleitungen ist als Mini-Radonbrunnen konzipiert und hilft, die Wirksamkeit der Anlage zu verbessern. Aus Platzgründen und um Geräuschmissionen im Schlafbereich zu verhindern, wurde ein Lüftungsrohr ausserhalb des Gebäudes montiert und mit einem speziellen, sehr effizienten ($10 \text{ W} - 25 \text{ W}$) und leistungsfähigen ($20 \text{ Pa} - 500 \text{ Pa}$), sogenannten Radonsauger im Estrichraum verbunden. Die Bodenluft wird über Dach ausgeblasen. Eine Nachmessung ergab im Sockelgeschoss folgende Radonwerte:

- Zimmer 1: 26 Bq/m^2
- Zimmer 3: 53 Bq/m^2
- Zimmer 5: 39 Bq/m^3

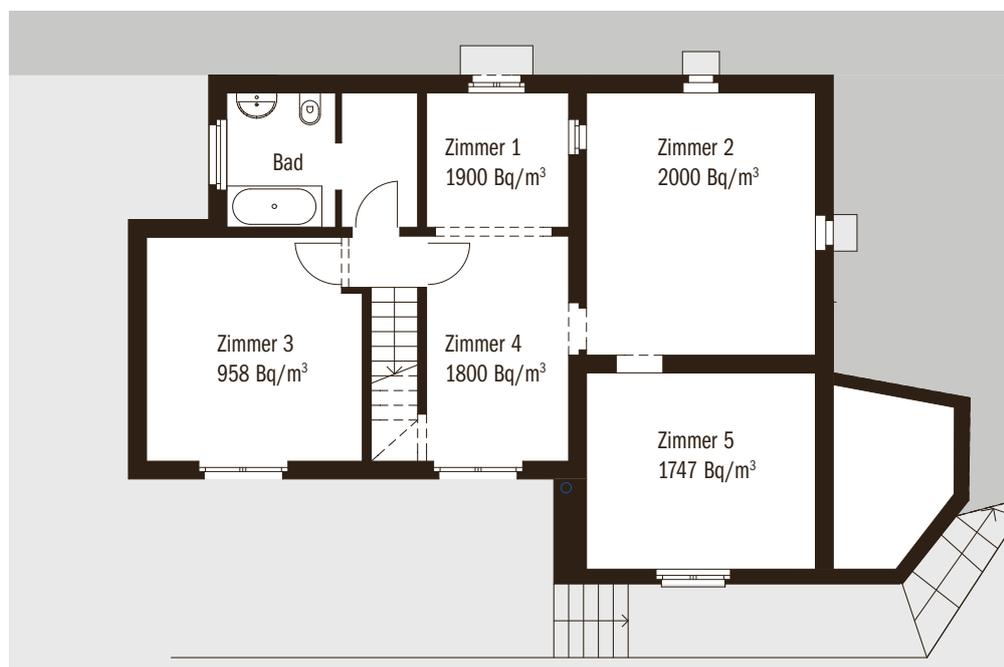


Abbildung 6.22: Radonwerte im Untergeschoss vor der zweiten Intervention.



Abbildung 6.23: Aus Platzgründen und um Geräuschmissionen im Schlafbereich zu verhindern, wurde das Lüftungsrohr ausserhalb des Gebäudes montiert.



Abbildung 6.24: Radonsauger im Estrich.

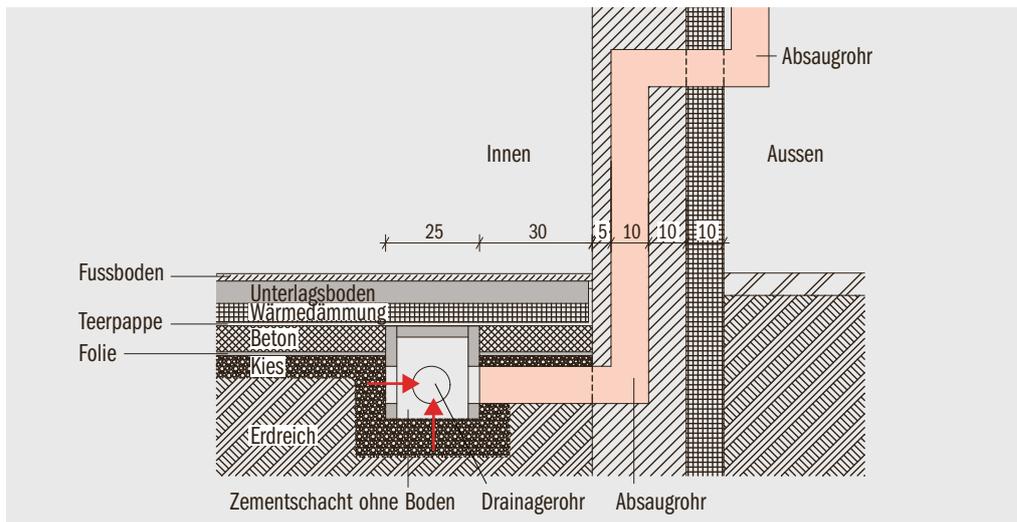


Abbildung 6.25: Der Sammelschacht der Drainageleitungen ist als Mini-Radonbrunnen konzipiert.

Wohnhaus im Bezirk Locarno

Der Eigentümer einer neu gebauten Villa beauftragte ein Ingenieurbüro damit, die von ihm selber durchgeführten Radonmessungen im Weinkeller zu überprüfen. Im Herbst 2015 wurden daraufhin die Radongaskonzentrationen im Weinkeller noch einmal gemessen. Die Messungen ergaben alarmierend hohe Radonkonzentrationen, mit Höchstwerten um die 3000 Bq/m^3 . Der Mittelwert lag bei mehr als 2000 Bq/m^3 .

Analyse

Vor der Sanierung wies der Weinkeller einen Naturboden sowie weitere mögliche Eintrittsstellen für Radon auf, darunter:

- ein Stück aus dem Untergrund ragendes Gestein in der nordwestlichen Ecke des Raumes,
- ein Sammel- und Sickerschacht unter dem Bodenbelag, der an eine Entwässerungsleitung angeschlossen ist,
- zwei Drainagelöcher in den Aussenwänden für die Evakuierung von Wasser aus dem herausragenden Felsen,
- zwei Löcher in der Wand auf der Südseite, die an den Kriechkeller des benachbarten Raums grenzt.

Massnahmen

Vielfältige Sanierungsmassnahmen wurden umgesetzt, um all diese potenziellen Radoneintrittsstellen abzudichten. Eine Ausnahme bildete der Bereich des in den Raum ragenden Gesteins, welches auf Wunsch des Kunden und des Architekten nicht wasserdicht gemacht worden ist.

Zunächst wurde ein Teil des Bodenmaterials ausgehoben, um die Verlegung eines Drainagerohrs und den Einbau einer wasserdichten, 15 cm starken Betonplatte zu ermöglichen. Das Drainagerohr wurde mit dem unter dem Boden vorhandenen Schacht verbunden und dieser wiederum sorgfältig abgedichtet. Das Drainagerohr wurde bis ausserhalb des Hauses in den Lüftungsschacht verlegt, um das Anlegen eines Radonbrunnens zu ermöglichen, sollte dies notwendig

sein. Die Betonwände im Keller sind bis zur Decke mit einer 5 cm dicken Foamglas-Platte abgedichtet worden, um den möglichen Eintritt von Radon durch die Zwischenräume der Betonwände zu vermeiden. Anschliessend wurden die Drainage- und Lüftungsöffnungen des Kriechkellers abgedichtet und eine kontrollierte Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung installiert, welche die Luftzirkulation sowohl im Weinkeller als auch im benachbarten Kriechkeller ermöglicht, sodass der Keller ausreichend belüftet und unter Überdruck steht. Um einen allfälligen Austritt von radonhaltiger Luft aus dem Keller in den Rest des Gebäudes zu verhindern, wurde eine luftdichte Kellertür eingebaut.

Abschliessende Messungen

Nach der Durchführung der Sanierungsmassnahmen wurden Messungen vorgenommen, um die Qualität der Sanierung zu überprüfen. Im März 2016 wurde mit einem Dosimeter im Keller bei ausgeschalteter Lüftungsanlage die Radonkonzentration gemessen. Der gemessene Wert betrug rund 650 Bq/m^3 . Dank dieser Messungen konnte also abgeklärt werden, dass allein schon die Abdichtung und Versiegelung der möglichen Radoneintrittsstellen eine deutliche Reduktion der durchschnittlichen Radonkonzentration von mehr als 2000 Bq/m^3 auf 650 Bq/m^3 zur Folge hat. Mit eingeschalteter Lüftungsanlage wurde ein Wert von ca. 200 Bq/m^3 gemessen.

In den an den Weinkeller angrenzenden Wohnräumen wurde die Radonkonzentration nur nach dem Abschluss der Sanierungsarbeiten gemessen. Die durchschnittliche Konzentration, gemessen während 20 Tagen im Monat April, belief sich auf etwa 350 Bq/m^3 . Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass das Gebäude während dieser Messperiode praktisch immer geschlossen blieb (keine Lüftungsaktivität), wird dieser Wert von den Auftragnehmern als akzeptabel bewertet.

Abbildung 6.26 (links): Bodenschacht und Drainagerohr: Im Hintergrund das aus dem Untergrund ragende Gestein.



Abbildung 6.27 (rechts): Der Auslass des Drainagerohrs.



Abbildung 6.28: Grundriss des Weinkellers mit Drainage.

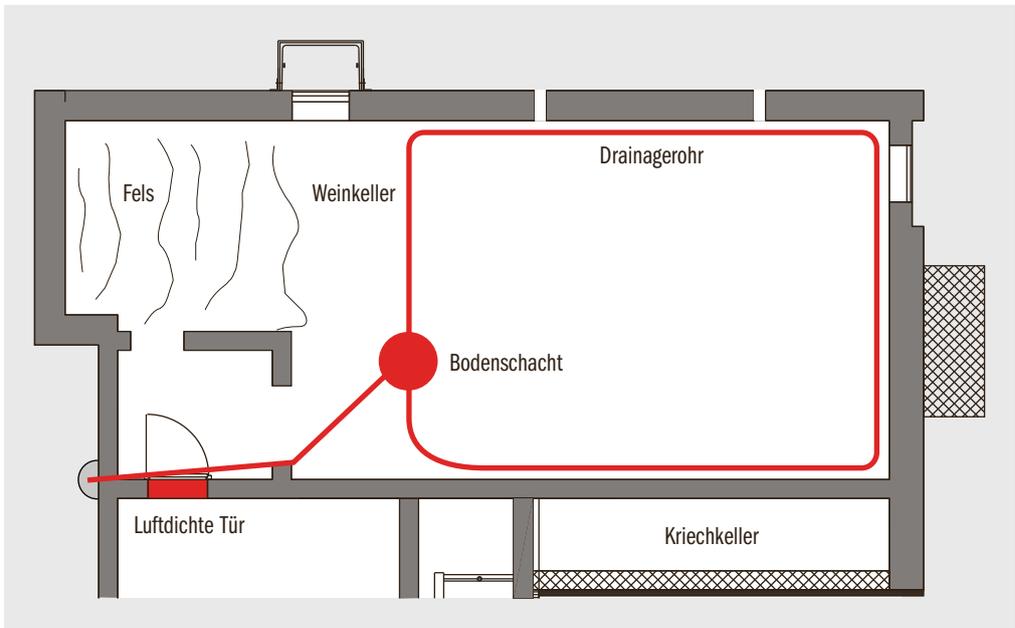
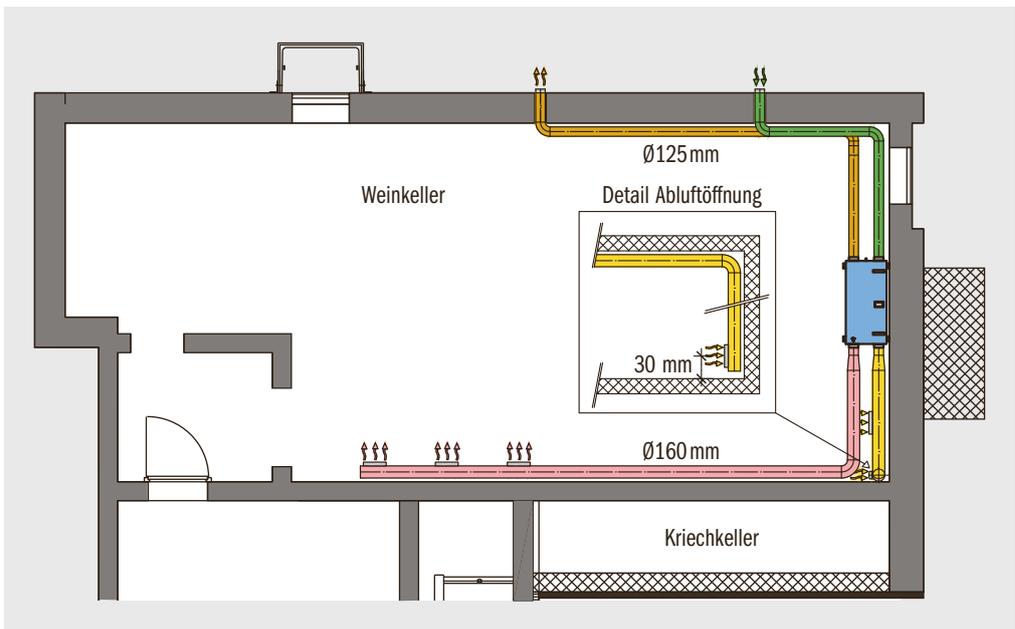


Abbildung 6.29: Schema der installierten Lüftung.



Wohnhaus in der Surselva

Das 300-jährige Wohnhaus befindet sich im Vorderrheintal. Die geologische Situation am Standort ist komplex. Der Boden ist gekennzeichnet durch eine Verwerfungszone und kristalline Strukturen mit Brüchen. In der Nähe befindet sich eine Grundwasser-austrittsstelle mit so hohem Urangelhalt, dass sogar eine Uranförderung in Betracht gezogen wurde.

Zum viergeschossigen Gebäude gehört ein Anbau in Holzbauweise, der einen nicht unterbrochenen Luftraum zwischen Keller und Obergeschoss bildet und einen Kamineffekt im Haus erzeugt. Der zentrale Specksteinofen hat keine Verbrennungsluftnachströmung, d. h. Verbrennungsluft wird im Gebäude angesaugt. Das Haus steht an einem steilen Hang an einem Abgrund. Bei Sonneneinstrahlung erwärmt sich der Boden stark, was die thermischen Einflüsse im Haus noch verstärkt.

Im Untergeschoss finden sich Natursteinwände, viele Ritzen und undichte Leitungsführungen. Ein klüftiger Fels ragt in den Innenraum. Der Boden eines Kellerraumes ist naturbelassen.

Radonsituation

In vorgängigen Dosimetermessungen wurden Radonwerte von über 10 000 Bq/m³ im Keller und bis zu 2500 Bq/m³ in Wohnräumen bestimmt. Eine vor Ort durchgeführte Kontrollmessung ergab Radongehalte von 5400 Bq/m³ im Keller und von 3800 Bq/m³ in den Wohnräumen. Damit gehört das Gebäude zu den geschätzt 1000 am höchsten mit Radon belasteten Wohnhäusern der Schweiz. Die Sanierung wurde begleitet durch das Amt für Lebensmittelsicherheit und Tiergesundheit.

Analyse

Zum Auffinden von Leckstellen im Gebäude, insbesondere im Kellerbereich, wurde ein Blower-Door-Versuch durchgeführt. Dabei wird ein starker Ventilator an einer Aussentür montiert, der einen Un-

ter- bzw. Überdruck im Gebäude erzeugt, und die Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle ermittelt. Typische Leckage-Stellen in der Gebäudehülle prüfte man zusätzlich mit Nebelröhrchen und fand keine grösseren Leckstellen, d.h. das Haus ist hinreichend dicht.

Um den Einfluss des Luftwechsels im Keller zu untersuchen, wurden über mehrere Tage hinweg Abluftventilatoren in den Kellerräumen betrieben (Einzelraumventilation). Die Luftwechselrate wurde von 0 bis 180 m³/h gesteigert. Diese Luftabsaugung im Keller brachte nur eine geringe Reduktion der Radonwerte.

Massnahmen

Da die Einzelraumventilation der Keller keinen Erfolg brachte, wurde ein Ventilator im Keller mit dem naturbelassenen Boden eingebaut (Kellerraum als Radonbrunnen). Mittels Unterdruck erfolgt die Luftabsaugung des Radons in das Freie. Zu diesem Kellerraum baute man zudem eine neue dichte Tür ein. Luft mit hoher Radonbelastung kann somit nicht mehr in den Wohnraum vordringen. Mit diesen Massnahmen wurde ein Radonwert von unter 300 Bq/m³ in den Wohnräumen erreicht. Ausserdem erhielt der Specksteinofen eine Frischluftzufuhr. Weiter verbessern liesse sich der Wert zudem durch eine bessere Trennung des offenen Treppenhauses.

Damit es zu keinen nachteiligen bauphysikalischen Effekten kommt und die Heizenergiebilanz im Gebäude nicht verschlechtert wird, muss nachgeprüft werden, woher die ausgeblasene Luft nachströmt (benachbarte Kellerräume, Erdreich, angrenzende Wohnräume, durch Risse und Spalte von aussen).



Abbildung 6.30: Durch den offenen Anbau (rot markiert) entsteht im Haus eine grosse thermische Dynamik.

Abbildung 6.31 (links): Der historische Gebäudeteil ist über 400 Jahre alt.



Abbildung 6.32 (rechts): Der Anbau in Holzbauweise bildet einen nicht unterbrochenen Luftraum zwischen Keller und Obergeschoss und erzeugt einen Kamineffekt im Haus.

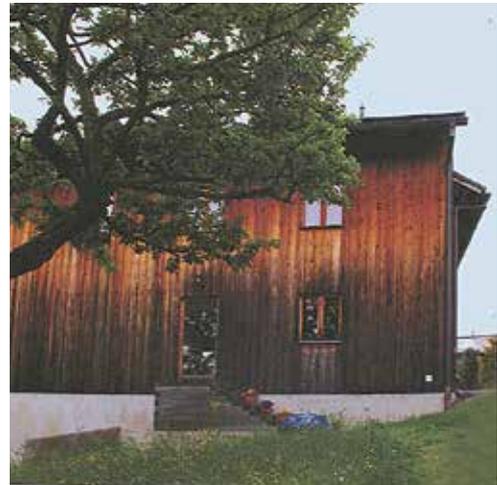


Abbildung 6.33 (links): Im Treppenhaus ragt ein Fels in den Innenraum.

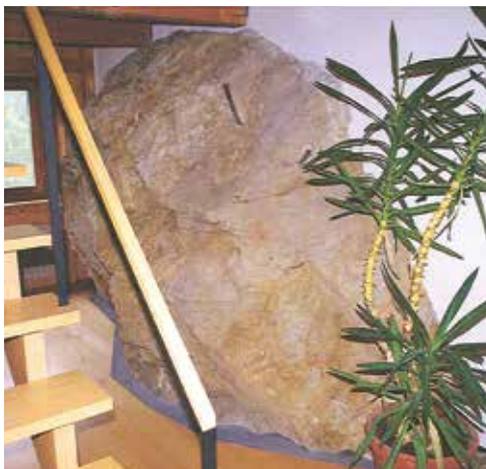
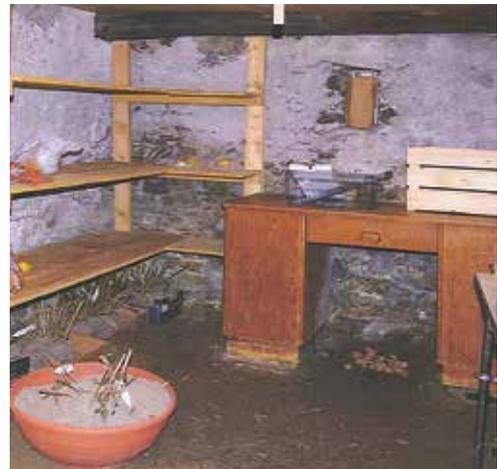


Abbildung 6.34 (rechts): Einer der Keller hat einen Naturboden.



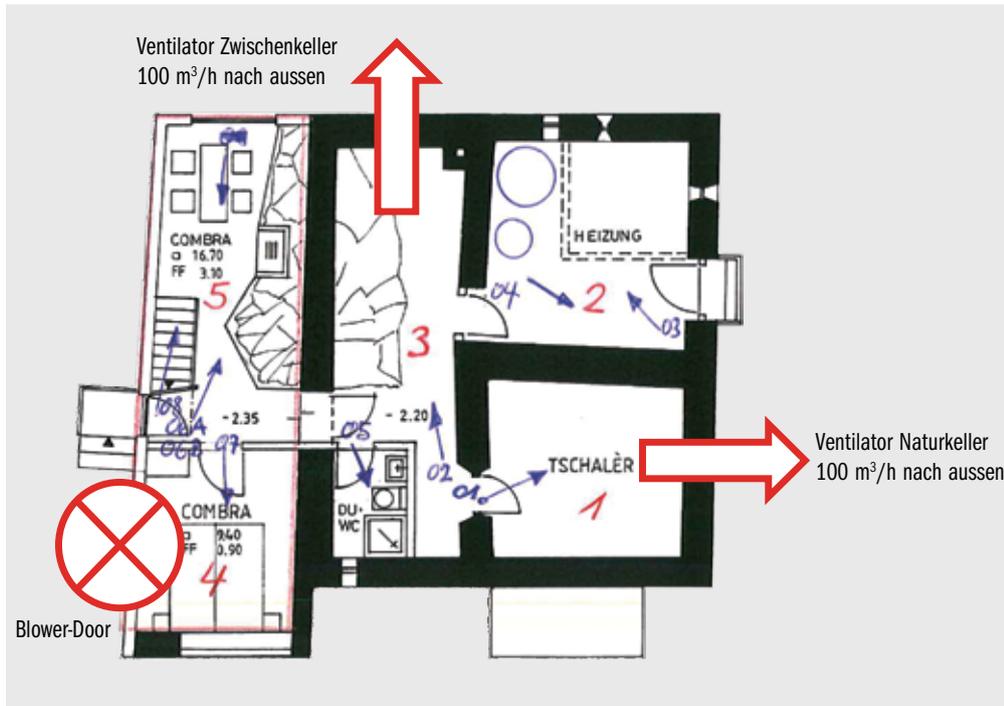


Abbildung 6.35: Zunächst wurde mit einem Blower-Door-Test die Dichtigkeit des Hauses überprüft. Anschließend erfolgte versuchsweise eine Einzelraumventilation, d. h. Luft aus den Kellerräumen wurde mit Ventilatoren nach aussen befördert.



Abbildung 6.36: Zur Prüfung von Luftströmungen an typischen Leckstellen wurden Nebelröhrchen eingesetzt (InfraBlow.Siegrist GmbH).

Abbildung 6.37:
Blower-Door-Test.

Abbildung 6.38: Eine Entlüftung des Kellers zeigte (trotz Steigerung des Volumenstroms auf 180 m³/h) wenig Auswirkung auf die Radonwerte. Stattdessen ist deutlich eine thermische Dynamik zu erkennen, das heißt die Radonwerte schwanken stark je nach Sonneneinstrahlung und Umgebungstemperatur.

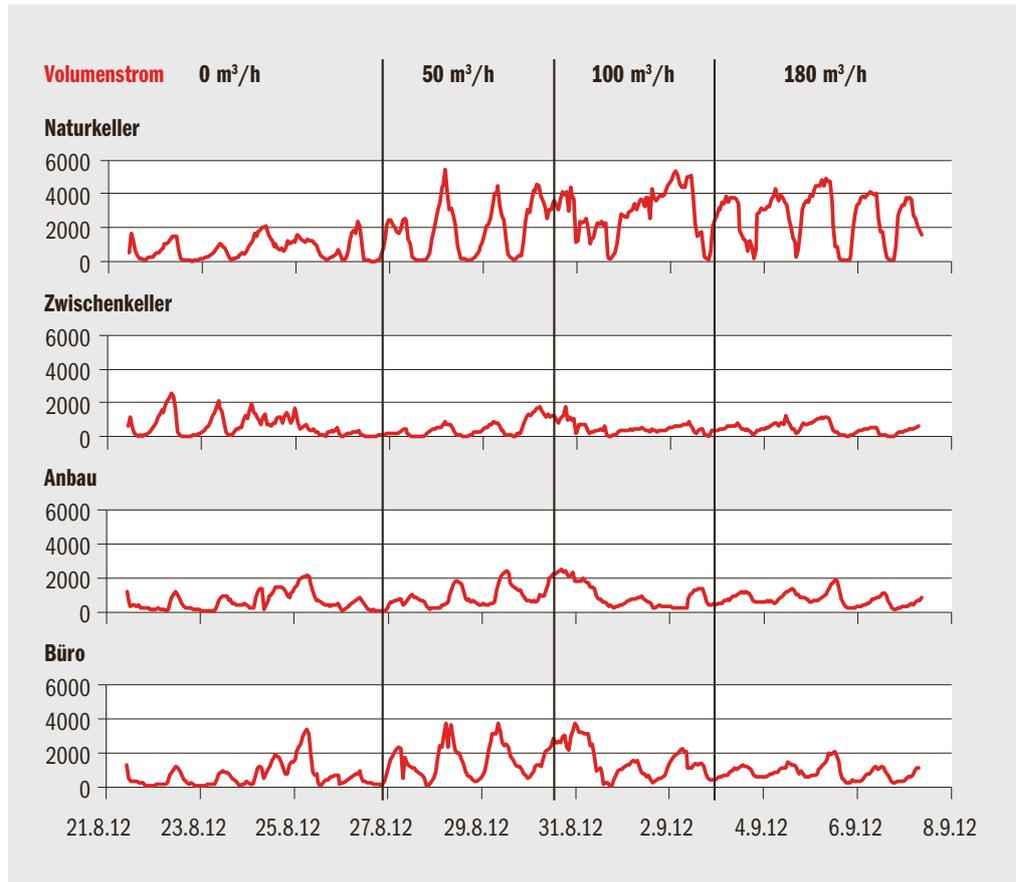


Abbildung 6.39: Mithilfe eines Ventilators wird die Luft aus dem Kellerraum mit dem naturbelassenen Boden ins Freie transportiert. Luft mit hoher Radonkonzentration kann somit nicht mehr in die Wohnräume gelangen.



Wohnhaus im Berner Jura

Ein ehemaliges Bauernhaus aus dem 17. Jahrhundert im Kanton Bern wurde 2000 umfassend saniert. Das Gebäude wurde entkernt, eine ganzflächige Betonplatte gegossen und die Wände von innen abgedichtet sowie zusätzlich wärmege-dämmt. Vereinzelt historische Merkmale wie Gewölbekeller und Holzbrotofen blieben jedoch erhalten. Seit der Sanierung wird das Gebäude mit einer Stückholzheizung und Sonnenkollektoren beheizt.

Radonsituation

Aufgrund einer Messwertpublikation der Gemeinde entschieden sich die Eigentümer 2010 für eine Radonmessung im Gebäude. Eine dreimonatige Passivmessung mit Kernspur-Dosimetern von November bis Februar ergab folgende Durchschnittskonzentrationen:

- Keller: 3280 Bq/m³
- Büro: 2997 Bq/m³
- Wohnküche: 2335 Bq/m³

Ein im April 2011 erworbenes digitales Radonmessgerät wurde in der Küche aufgestellt und ist noch heute in Betrieb. Die Bauherrschaft hat während eines Jahres wöchentlich meteorologische Daten und Lüftungsgewohnheiten erfasst, mit folgenden Resultaten:

- Jahresdurchschnitt Küche: 1761 Bq/m³
- Durchschnittliche Werte pro Woche während den Sommerferien (niemand zuhause, alle Fenster geschlossen): 4000 Bq/m³
- Bei Westwind sinkt die Radonkonzentration.
- Bei Bise steigt die Radonkonzentration.

Analyse

Mit einer mechanischen Entlüftung versuchte man zunächst, die Radonkonzentration des Naturkellers zu senken. Dies hatte jedoch einen negativen Effekt: Durch den Unterdruck im Gebäude stieg die Radonkonzentration in der Küche deutlich an. Erfolgreich war hingegen der Ersatz des

WC-Lüfters im Erdgeschoss durch eine ventilatorbetriebene Aussenluftzufuhr, wodurch ein Überdruck im gesamten Haus erzeugt werden konnte.

Weitere Massnahmen

Im Dezember 2015 folgte der Einbau einer Überdruck-Lüftungsanlage in der Waschküche als Sanierungsmassnahme. Aufgrund der exponierten Lage des Gebäudes auf über 1200 m. ü. M wurden zusätzlich ein Warmwasserregister (Unterstützung via Zentralheizung) und eine Frostschutzklappe eingebaut. Die anschliessende Messphase von Dezember 2015 bis September 2016 ergab eine Radonkonzentration zwischen 100 und 600 Bq/m³. Folgende Punkte relativieren die hohen Messwerte:

- Die Lüftung wurde während der Abwesenheit (Ferien) der Familie abgestellt.
- Das Haus liegt in der Landwirtschaftszone, je nach Feldarbeit und Bodenbelastung musste die Anlage aufgrund der Geruchsbelastung abgestellt werden. Bei -20 °C im Winter läuft die fünfstufige Anlage auf Stufe 1 oder 2.
- Im Sommer liegt der durchschnittliche Wert pro Woche bei 100 Bq/m³.

Optimierungsmöglichkeiten

- Mit Kellertür, Holzbrotofen und WC-Entlüftungsanlage im Erdgeschoss sind an der Gebäudehülle noch einige bekannte luftundichte Stellen vorhanden. Durch entsprechende Massnahmen könnte damit neben dem Heizbedarf auch die Radonkonzentration gesenkt werden.
- Steuerung des Ventilators über einen Radonsensor.

Abbildung 6.40: Ein Bauernhaus aus dem 17. Jahrhundert wurde 2000 umfassend saniert.



Abbildung 6.41: Als Sanierungsmaßnahme folgte der Einbau einer Überdruck-Lüftungsanlage in der Waschküche.



Abbildung 6.42 (links): Historische Installationen wie der Holzbrotofen blieben bestehen.

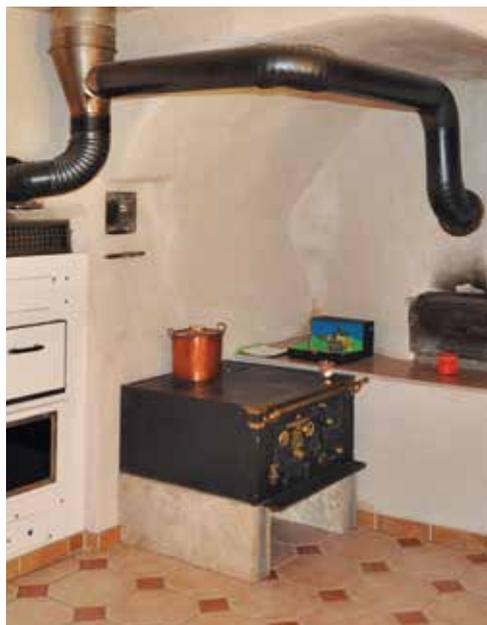


Abbildung 6.43 (rechts): Mit einer mechanischen Entlüftung sollte zunächst die Radonkonzentration im Naturkeller gesenkt werden, woraufhin die Radonkonzentration in der Küche deutlich anstieg.



Wohnhaus in den Freibergen

Das 2005 erbaute Einfamilienhaus wurde auf einem Betonfundament erstellt. Es steht in einer jurassischen Gemeinde, in der bereits erhöhte Radonkonzentrationen festgestellt wurden.

Radonsituation

Messungen ergaben, dass die Radonwerte in allen Zimmern zu hoch waren. Sie lagen zwischen 390 Bq/m^3 und 9480 Bq/m^3 (Tabelle 6.3). Einzig das Zimmer im Nordosten des Gebäudes zeigte eine akzeptable Radonkonzentration.

Analyse

Die Analyse ergab, dass die Hauptursache für die hohen Werte im Badezimmer liegt, während der Heizungskeller eine weitere, jedoch weniger starke Radonquelle darstellt. Um die Radonquelle lokalisieren zu können, wurden sämtliche Türen geschlossen. Danach stiegen die im Bad gemessenen Werte während der ersten zwei Tage kontinuierlich an und stabilisierten sich anschließend bei rund 14000 Bq/m^3 (Abbildung 6.44). Die Radonbelastung in den anderen Räumen ist sicherlich auch auf die hohe Radonkonzentration im Bad und im Heizraum zurückzuführen.

Massnahmen

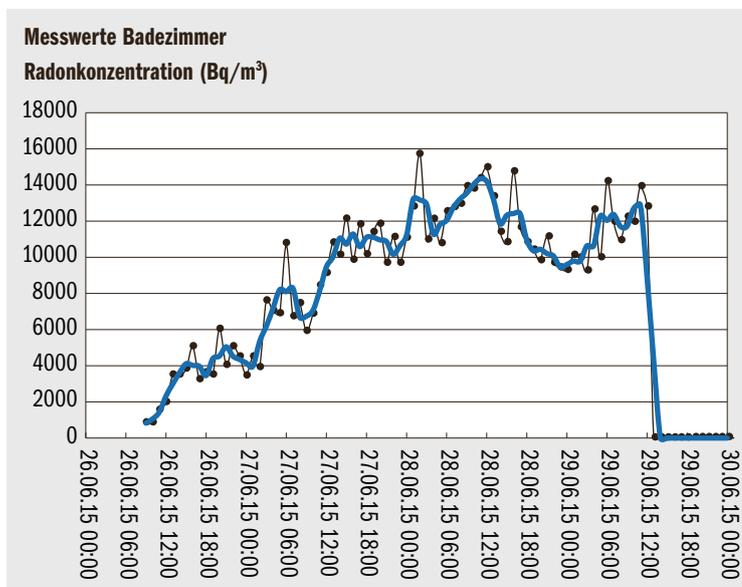
Da die beiden Radoneintrittsstellen (Heizraum und Bad) nahe beisammen lagen, war es vergleichsweise einfach, Unterdruck unter der Bodenplatte in der Nähe dieser Stellen zu erzeugen. Dazu wurde im Fundament unterhalb der Bodenplatte eine Kernbohrung gemacht und ein Radonbrunnen installiert. Dieser saugt das Radon ab, bevor es ins Haus gelangt.

Zuerst wurde der Ventilator bei 100 % Leistung (70 W) betrieben, was einen plötzlichen Abfall der Radonkonzentration zur Folge hatte. Am nächsten Tag wurde der Ventilator für Abschlussarbeiten eine Stunde ausgeschaltet und dann mit 50 % Leistung (35 W) betrieben. Trotz dieser kur-

zen Unterbrechung gab es auch beim Betrieb bei 50 % der Nenndrehzahl keine Hinweise auf eine Erhöhung der Radonkonzentration (Abbildung 6.45 und Abbildung 6.46). Folglich reicht diese Leistung aus. Die Sanierung war erfolgreich: Die mittlere Radonkonzentration beträgt in allen Räumen unter 250 Bq/m^3 .

Abbildung 6.44: Radonwerte im Badezimmer nach dem Schliessen sämtlicher Türen. Die blaue Linie zeigt den Mittelwert der zwei aufeinanderfolgenden stündlichen Radonmessungen.

Tabelle 6.3: Durchschnittliche Radonkonzentration in den Räumen im Untergeschoss.



Durchschnittliche Radonkonzentration in den Räumen im UG		
Raum (Ausrichtung)	Vor der Sanierung (Bq/m^3)	Nach der Sanierung (Bq/m^3)
Eingang (Norden)	1265	40
Wohnraum (Südosten)	900	75
Wohnraum (Nordosten)	390	nicht gemessen
Bad	9480	180
Wohnzimmer (Westen)	1300	110
Wohnzimmer (Osten)	1265	110
Waschküche	1820	230

Abbildung 6.45: Die Entwicklung der Radonkonzentrationen im Badezimmer und die Auswirkungen der eingebauten Radonabsaugung. Die blaue Linie zeigt den Mittelwert der zwei aufeinanderfolgenden stündlichen Radonmessungen.

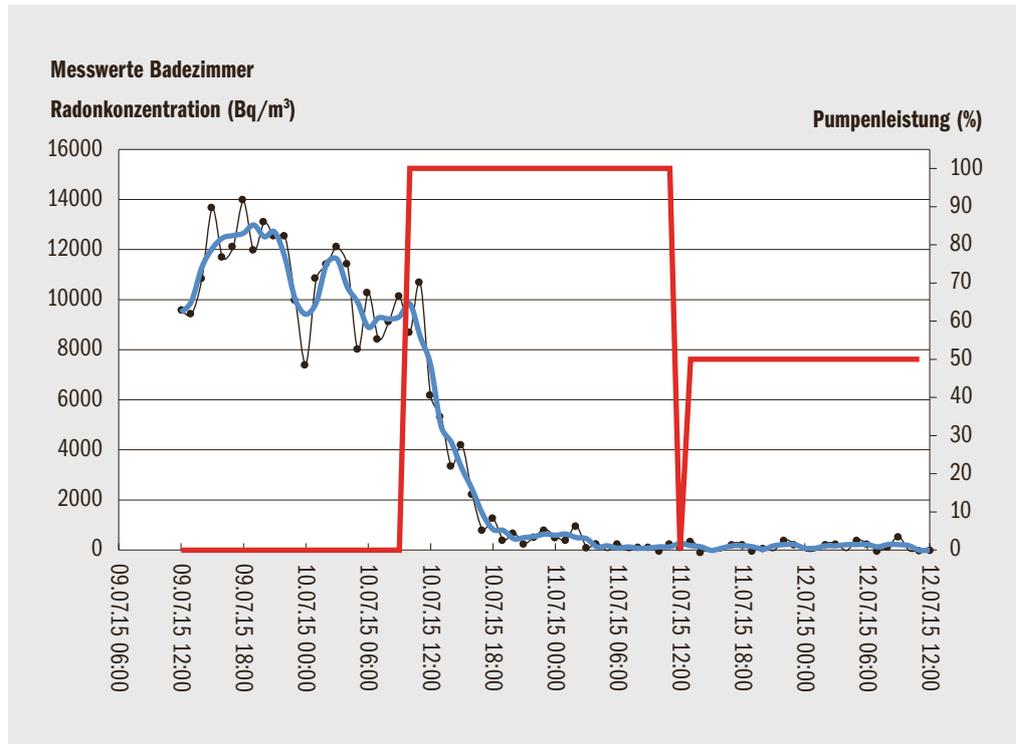
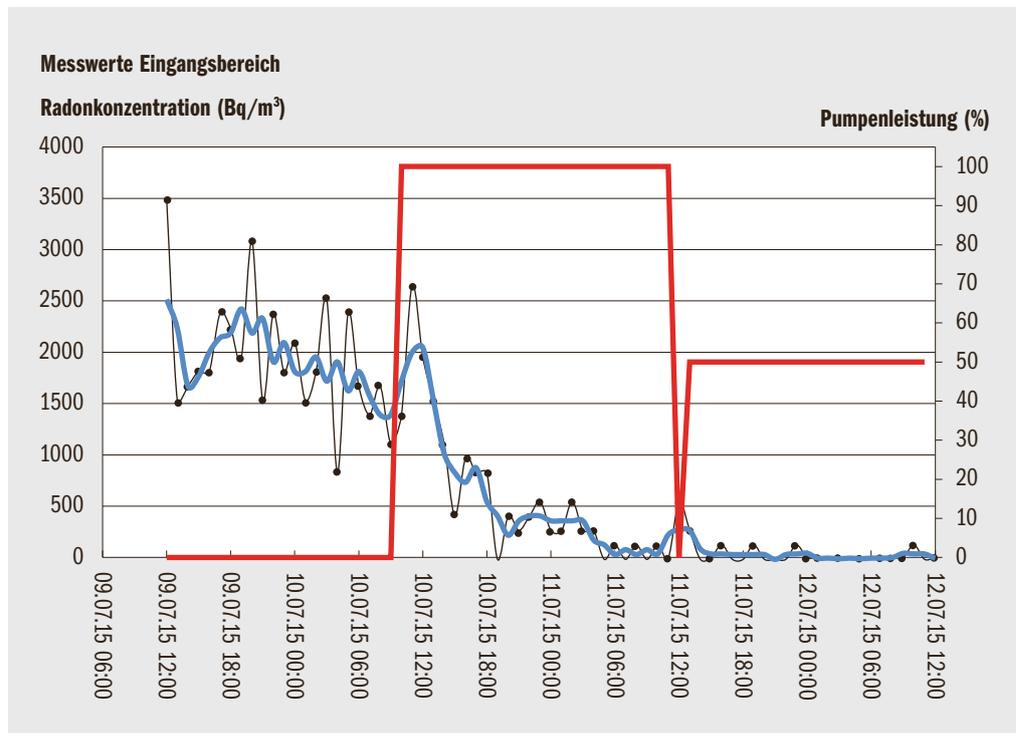


Abbildung 6.46: Die Entwicklung der Radonkonzentrationen im Eingangsbereich und die Auswirkungen der eingebauten Radonabsaugung. Die blaue Linie zeigt den Mittelwert der zwei aufeinanderfolgenden stündlichen Radonmessungen.



Schulhaus im Neuenburger Jura

Radonsituation

Das Schulgebäude, in dem Jugendliche mit einer Behinderung eine Ausbildung erhalten, wurde Ende der 1960er-Jahre in Betonbauweise erstellt. Die Radonproblematik trat im eingeschossigen Gebäudeteil auf, in dem sich Unterrichtsräume und Büros befinden. Dieser Teil ist völlig unterkellert, hat eine Fläche von etwa 1500 m² und ein Volumen von 3000 m³. Die Kellerdecke aus Beton ist zudem nicht wärmegeklämt, wodurch im Keller eine konstante Temperatur von etwa 22 °C herrscht. Mit den vorhandenen sechs Ventilationsöffnungen von jeweils 200 cm² ist im Keller jedoch keine ausreichende Belüftung möglich.

Analyse

Zwischen November 2013 und Februar 2014 wurden Schulzimmer, Technikräume, Büros und Kriechkeller mithilfe von Dosimetern auf ihre Radonbelastung geprüft. Die Erdgeschossräume wiesen Konzentrationen zwischen 1000 Bq/m³ und 8000 Bq/m³ auf, abhängig von Raumvolumen, Lüftung und Anzahl der Öffnungen im Betonboden. In den vergangenen Jahren wurden vermehrt Durchstöße für Telefon- und Kommunikationsleitungen gebohrt. Im Kriechkeller wurden Radonkonzentrationen bis 15 000 Bq/m³ gemessen.

Massnahmen

Weil im Kriechkeller hohe Radonwerte gemessen wurden und die radonhaltige Bodenluft über die Öffnungen in das Erdgeschoss drang, lag der Einbau eines Ventilators zur Absaugung der belasteten Luft und zur Erzeugung von Unterdruck im Kriechkeller nahe. Der dafür nötige Volumenstrom musste ermittelt werden. Die Dichtigkeit des Kriechkellers war nicht bekannt. Deshalb wurde mit einem Blower-Door-Test der Zusammenhang zwischen Druckdifferenz und Volumenstrom gemessen. Daraus ergab sich, dass etwa 2000 m³/h (550 l/s) notwendig sind (Abbil-

dung 6.51). Deshalb wurde ein drehzahlgesteuerter Ventilator gewählt. Aufgrund der Höhe des Gebäudes und der Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen ging man von einer idealen Druckdifferenz von rund 20 Pa zwischen Kriechkeller und Erdgeschoss aus. Intensive Messungen zeigten, dass eine Druckdifferenz von etwa 12 Pa ausreicht. Der Energiebedarf des Ventilators bei diesem Betriebspunkt entspricht einer Leistung von rund 30 Watt. Ebenfalls untersucht wurde der Einfluss der Windgeschwindigkeit auf die Druckdifferenz. Messungen bei verschiedenen Wetterlagen im Winter (Windrichtung, Sturmböen) ergaben, dass Druckfluktuationen durch stürmische Winde keine Auswirkungen haben. Messungen an zahlreichen Stellen im Erdgeschoss wiesen den Einfluss des Ventilators nach: Sobald er aktiviert wurde, sank die Radonkonzentration in Erdgeschoss und Kriechkeller signifikant ab (Abbildung 6.51). Aus ästhetischen Überlegungen wurde auf ein Ausströmröhr bis zum Dach verzichtet. Die abgesaugte Luft verlässt das Gebäude über ein Bodengitter, an einem Ort, an dem sich keine Schüler aufhalten und in dessen Nähe sich kein Fenster befindet (Abbildung 6.50). Da die abgesaugte Luft 21 °C warm ist, steigt sie auf. Während der Absaugung liegt die Radonkonzentration in diesem Bereich bei rund 4000 Bq/m³. Nach der Sanierung wurde die Konzentration mit 9 Dosimetern überprüft. Sie lag durchschnittlich bei 150 Bq/m³. In zwei Räumen wurden jedoch Werte bis 450 Bq/m³ gemessen. Die Radonkonzentration wird ständig mit einem Sensor überwacht.



Abbildung 6.47:
Das Schulgebäude wurde
Ende der 1960er-Jahre in
Betonbauweise erstellt.



Abbildung 6.48:
Der Kriechkeller.

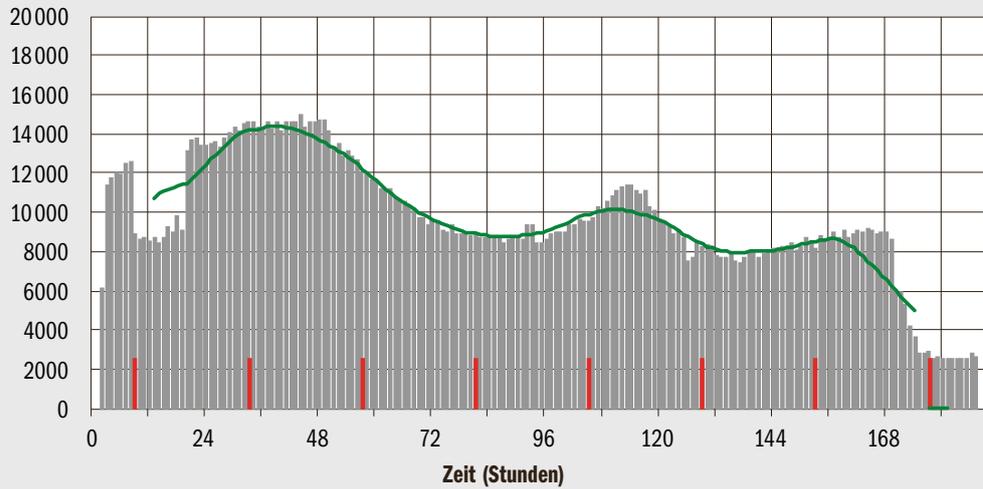


Abbildung 6.49:
Der Blower-Door-Test.

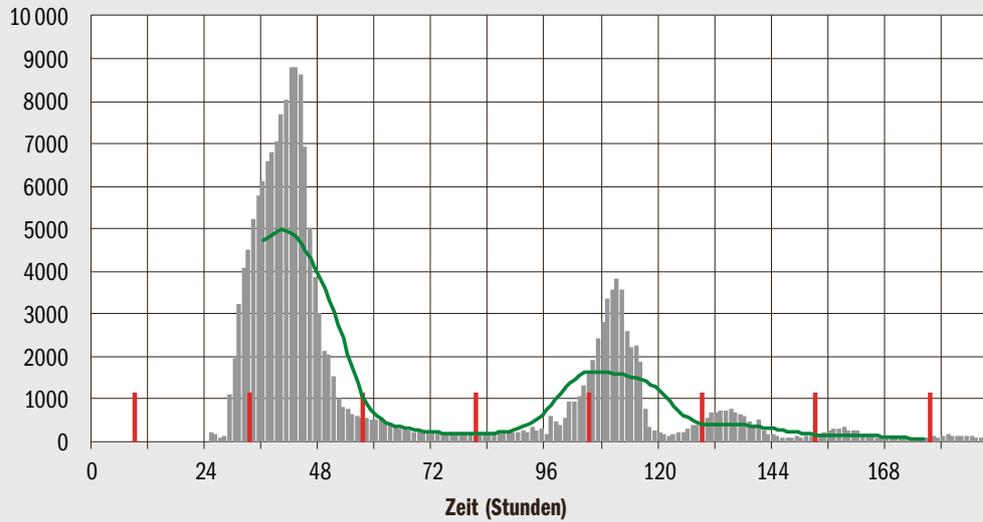


Abbildung 6.50:
Anstelle eines Ausström-
rohres bis zum Dach ge-
langt die abgesaugte Luft
über dieses Gitter ins Freie.
Während des Betriebes be-
trägt die Radonkonzentra-
tion im Bereich des Gitters
rund 4000 Bq/m^3 .

**Messwerte im Zentrum des Kriechkellers
Radonkonzentration (Bq/m³)**



**Messwerte im Concièrge-Raum
Radonkonzentration (Bq/m³)**



Druckdifferenz (Pa)

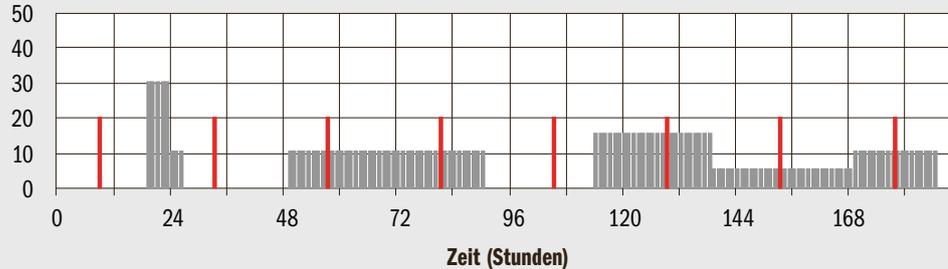


Abbildung 6.51:
Radonkonzentration in Abhängigkeit von unterschiedlichen Druckdifferenzen (unterste Grafik). Die Grafik in der Mitte zeigt deutlich, dass die Radonkonzentration bei Druckdifferenzen über 10 Pa stark sinkt. (Bedeutung der Linienfarbe: rot = Mitternacht, grün = Mittelwert einer Periode von 24 Stunden, grau = Messwerte der Radonkonzentration pro Stunde über einen Zeitraum von 168 Stunden)

Wohnhaus im Neuenburger Jura

Radonsituation

Das 1956 erbaute Einfamilienhaus im Kanton Neuenburg wurde 2008 radonsaniert. Dabei wurden Wände und Boden im Zimmer Nordwest aufgedoppelt und in den Hohlräumen ein Unterdruck erzeugt. Ein zweites ventilatorbetriebenes Abluftsystem wurde im Keller installiert. Nach verschiedenen Dosimetermessungen wurde jedoch festgestellt, dass die Radonkonzentrationen in einigen Teilen des Gebäudes zugenommen hatten. Aus diesem Grund wurde 2016 eine zweite Sanierung vorgenommen.

Analyse

Zimmer Südwest: Die höchste Radonbelastung wurde im bewohnten Teil des Hauses festgestellt: Im Zimmer Südwest erhöhte sich die Radonkonzentration auf 4500 Bq/m^3 als das Abluftsystem für zwei Tage abgeschaltet wurde. Sobald die Ventilatoren wieder eingeschaltet wurden, sank die Radonkonzentration innert zwei Tagen auf 1200 Bq/m^3 . Der Grund für diesen Rückgang ist leicht zu erklären: Sind die beiden Abluftsysteme im Keller und Raum Nordwest eingeschaltet, entziehen sie dem Untergeschoss radonhaltige Luft, folglich dringt eine kleinere Menge des Gases in den Raum Südwest. Dies zeigt, dass die Kellerräume des Hauses durchlässig sind. Wird beispielsweise im Keller ein Radonbrunnen installiert, dürfte dieser aufgrund der Durchlässigkeit einen Effekt auf die gesamte untere Etage des Hauses haben.

Keller: Im Keller sinkt die Radonkonzentration direkt nach dem Einschalten des Ventilators, weil radonhaltige Raumluft abgesaugt wird. Danach ist aber ein starker Anstieg zu verzeichnen, weil der Ventilator im Raum einen Unterdruck erzeugt und so dem Erdreich Radon entzieht.

Zimmer Nordwest: Nach Einschalten des Abluftsystems in der Doppelwand des Zimmers und im Hohlraum unter dem Boden

erhöhte sich die Radonkonzentration im Zimmer Nordwest sehr schnell. Es wurden Werte von bis zu 2000 Bq/m^3 gemessen. Dies weist auf Abdichtungsprobleme hin. Das Einschalten des Ventilators erzeugte einen Unterdruck im Raum, wodurch Radon aus dem Keller in den Wohnraum gesaugt wurde. Dieses Problem war offenbar neu, denn die dosimetrischen Messungen aus den Jahren 2008 und 2009 ergaben Radonwerte innerhalb der gesetzlichen Grenzen. Das Abluftsystem der ersten Sanierung hatte sich im Laufe der Zeit irreversibel verschlechtert und sogar zu einer erhöhten Radonkonzentration im Haus beigetragen. Um diese Lecks zu beheben, wäre eine Abdichtung der Fugen über 25 m nötig gewesen (Abbildung 6.54). Doch weil die verwendeten Materialien nicht eruiert werden konnten, wäre eine Demontage vom Boden und den Wänden unumgänglich gewesen. Als Sofortmassnahme wurde das Abluftsystem ausgeschaltet. Bereits kurz nach dem Abschalten des Entlüfters konstatierten die Besitzer starke Schimmelgerüche im Zimmer, ein weiteres Indiz für Leckagen in der Aufdoppelung von Wand und Boden. Eine zweite Reihe von Messungen bestätigte, dass das Entlüftungssystem in Boden und Wand des Zimmers Nordwest undicht war. Tatsächlich erhöhte sich nach dem Einschalten die Radonkonzentration in allen drei gemessenen Räumen sehr schnell.

Massnahmen

Eine sorgfältige Analyse der Gebäudehülle ergab, dass sich unter der Bodenplatte des Zimmers Nordwest ein Zwischenraum befindet. Eine Bohrung zeigte, dass die

Tabelle 6.4: Radonkonzentration in Abhängigkeit der Leistung des Radonbrunnens. Die letzte Spalte zeigt die Maximalwerte, wenn nur die alten Abluftsysteme eingeschaltet waren.

Radonkonzentration in Bq/m^3 in Abhängigkeit der Leistung des Radonbrunnens			
	Leistung von		ohne Radonbrunnen
	100 %	50 %	
Zimmer Südwest	60 Bq/m^3	55 Bq/m^3	1250 Bq/m^3
Keller	75 Bq/m^3	80 Bq/m^3	4500 Bq/m^3
Zimmer Nordwest	45 Bq/m^3	ohne Messung	4000 Bq/m^3

Wand aus Beton gefertigt ist und eine Dicke von 40 cm sowie einen dahinterliegenden Hohlraum aufweist. Es war die ideale Stelle für die Installation eines Radonbrunnens. Die Montage eines provisorischen Radonbrunnens zeigte die Wirksamkeit der Massnahme. Nach der definitiven Sanierung reduzierte sich die Radonkonzentration im

gesamten Untergeschoss auf Werte unter 80 Bq/m^3 . Zusätzlich arbeitet das neue System mit 50 % der Nennleistung, lediglich 25 W, und braucht nur halb so viel Energie wie die zwei Abluftanlagen vorher.



Abbildung 6.52: Um das einwandfreie Funktionieren des Systems gewährleisten zu können, müssten die Fugen auf insgesamt 25 m abgedichtet werden.

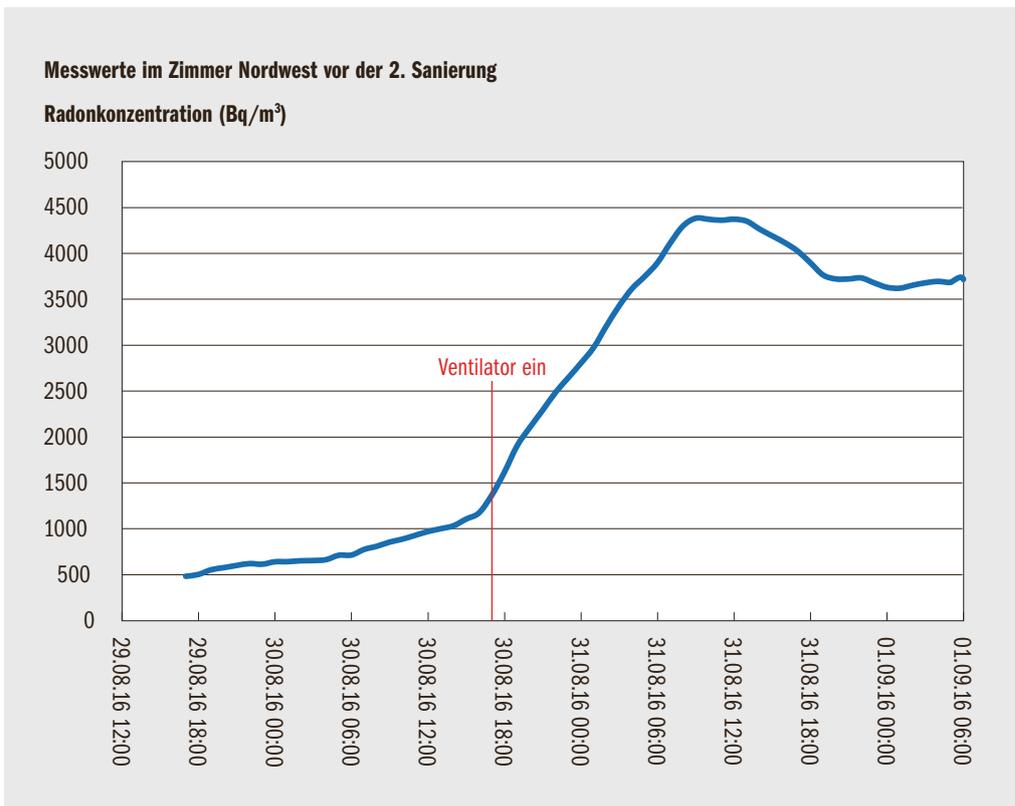


Abbildung 6.53: Die Messwerte im Zimmer Nordwest vor der Sanierung. Nach dem Einschalten des Ventilators ist ein deutlicher Anstieg der Radonkonzentration zu erkennen.

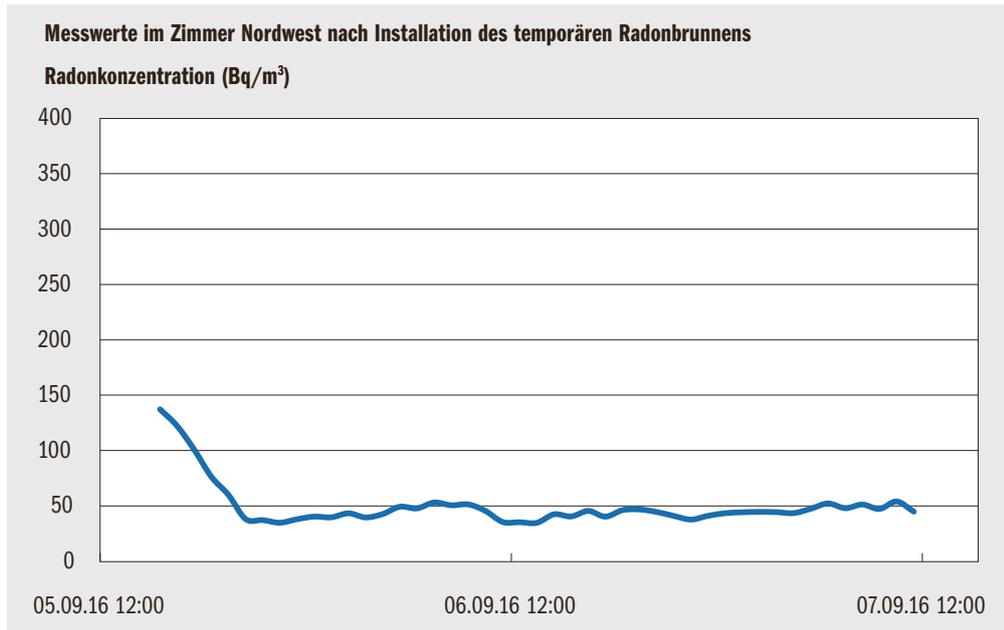


Abbildung 6.54:
 Zimmer (Nordwest):
 Der Verlauf der Radonkonzentration zeigt die Wirksamkeit des Systems.



Abbildung 6.55:
 Temporäre Installation
 eines Radonbrunnens.



Abbildung 6.56:
 Die endgültige Montage
 des Radonbrunnens.

Primarschulhaus im Oberwallis

Das Primarschulgebäude im Kanton Wallis wurde Mitte der 1950er-Jahre erbaut. Neben den eigentlichen Schulzimmern umfasst das Gebäude noch Lehrerzimmer, Werkraum und eine Küche. In den Jahren 1997 bis 1998 wurde der Massivbau umfassend saniert. Als eines der ersten Schulgebäude im Kanton Wallis wurde dabei der Minergie-Standard für Umbauten erreicht.

Radonsituation

Die Gemeinde St. Niklaus liegt in einem mit Radon belasteten Gebiet. Im Rahmen einer Messkampagne durch den Kanton wurden deshalb 2004 zwei Dosimeter-Messungen in einem Schulzimmer im Erdgeschoss durchgeführt. Die Messergebnisse zeigten erhöhte Radonkonzentrationen von 1081 Bq/m³ und 1089 Bq/m³.

Analyse

Die Gemeinde hat daraufhin ein Ingenieurbüro mit der Analyse der Radonproblematik beauftragt.

Im Oktober und November 2004 wurde zusammen mit dem Bundesamt für Gesundheit eine zweite, erweiterte Messkampagne mit Dosimetern und elektronischen Messgeräten durchgeführt. Die Resultate, kurz zusammengefasst, waren:

- Die Radonkonzentrationen in den Klassenzimmern waren zum Teil massiv erhöht.
- Der Südflügel des Gebäudes weist gegenüber dem Nordflügel tendenziell höhere Radonkonzentrationen auf.
- Erfahrungsgemäss nimmt die Radonkonzentration in den oberen Stockwerken ab. In den Obergeschossen sind jedoch ebenfalls erhöhte Radonkonzentrationen aufgetreten.

Im Rahmen einer visuellen Beurteilung wurden mögliche Schwachpunkte in der Gebäudehülle wie Risse und Fugen in Wänden und Böden sowie Öffnungen oder Durchdringungen erfasst. Dabei konnten keine wesentlichen Schwachpunkte festgestellt werden. Eine mögliche Leckageöffnung wurde einzig in der Bodenkonstruktion im Werkraum im Erdgeschoss des Südflügels festgestellt. Der Schachtdeckel verschliesst nicht luftdicht (Abbildung 6.57). Hier ist ein möglicher Radoneintritt aus dem Untergrund ins Gebäudeinnere denkbar. Der Einfluss der im Rahmen der Minergie-Sanierung eingebauten kontrollierten Lüftung mit Wärmerückgewinnung wurde mit elektronischen Messgeräten erfasst. In der Messperiode war das Schulhaus während zwei Wochen aufgrund von Ferien nicht belegt. Um den Einfluss der Lüftung



Abbildung 6.57:
Bodenöffnung (Schacht)
in der Bodenkonstruktion
des Werkraums im Erd-
geschoss.

auf die Radonkonzentrationen festzustellen, wurde in dieser Zeit die Lüftung ausser Betrieb genommen. Das Schulgebäude hat zwei getrennte Lüftungskreisläufe mit je einem Lüftungsgerät. Ein Erdregister ist nicht vorgeschaltet. Die Lüftung wurde während der Woche jeweils am Abend um 17.00 Uhr ausgeschaltet und am Morgen ab 5.30 Uhr wieder in Betrieb genommen. Während des Wochenendes war die Lüftung stets ausgeschaltet. Mit Inbetriebnahme der Lüftung sinken die mittleren Radonkonzentrationen während der Nutzungszeit des Klassenzimmers auf annehmbare Werte (Mittelwerte während des Tages 189 Bq/m³ bzw. 211 Bq/m³). Ohne Lüftungsbetrieb nahm die Radonbelastung in den Räumen stark zu.

Sofortmassnahmen

Als Sofortmassnahme wurde im Februar 2005 zu permanentem Lüftungsbetrieb gewechselt. Um einen minimalen Luftwechsel zu gewährleisten, befindet sich die Anlage nachts und an Wochenenden auf minimaler Stufe. Diese Massnahme zeigte Erfolg.

3. Messkampagne

Nach der Einleitung der Sofortmassnahmen wurde für die Erfolgskontrolle eine dritte Messkampagne mit Dosimetern durchgeführt. In der Tabelle 6.5 sind die Resultate (Mittelwerte) der Radonbelastung aufgeführt. Dabei zeigt sich, dass alleine durch die Anpassung der Lüftungsstrategie die Radonkonzentrationen in den einzelnen Räumen auf akzeptable Werte gesunken sind. Einzig im Zimmer 0.3 im Erdgeschoss, in welchem noch keine mechanische Lüftung installiert war, waren die Belastungen immer noch sehr hoch. Um den Einfluss der

Lüftung auf die hohen Radonkonzentrationen im gesamten Gebäude zu bestimmen, wurde während der dritten Messkampagne in den vier Lüftungskammern (Aussenluft, Zuluft, Abluft, Fortluft) der Radonwert gemessen. Die Auswertung zeigte, dass die entsprechenden Luftströme verschiedene durchschnittliche Radonkonzentrationen aufweisen. Die Abluft aus den Klassenzimmern war eindeutig am höchsten belastet. Radon wird über die Lüftung abgeführt. In der Aussenluft sind normalerweise Radonkonzentrationen von maximal 100 Bq/m³ (typischer Wert 10 Bq/m³) zu erwarten. Im Primarschulhaus wies die Aussenluftströmung eine durchschnittliche Radonkonzentration von 370 Bq/m³ auf. Dies dürfte auf die geringen Abstände zwischen den Lüftungseinlässen und -auslässen in der Fassade (Abbildung 6.59) und somit auf einen Kurzschluss zwischen den beiden Luftströmen zurückzuführen sein. Die Aussenluft wird durch die Fortluft aus dem Lüftungsgerät vermischt. Des Weiteren reicherte sich die Zuluft gegenüber der Aussenluft um 70 Bq/m³ (Mittelwert) auf 440 Bq/m³ an. Gleichzeitig fiel die Konzentration in der Fortluft gegenüber der Abluft um 230 Bq/m³ (Mittelwert) auf 460 Bq/m³. Ein undichter Rotationswärmetauscher mit daraus resultierendem Luftaustausch zwischen den einzelnen Strömen war vermutlich die Ursache. Denn systembedingt weisen diese Geräte eine grosse Leckluft auf.

Sanierungsmassnahmen

Im Rahmen der Sanierung wurden nachfolgende Punkte optimiert und mit Messungen deren Erfolg nachgewiesen:

Tabelle 6.5: Resultate der verschiedenen Messungen.

Messresultate				
	1. Messkampagne	2. Messkampagne	3. Messkampagne	Kontrollmessung
Dauer	2004	18.10. – 29.11.2004	23.03. – 24.05.2005	1.6. – 12.6.2017
Messgeräte	2 Dosimeter	10 Dosimeter, 2 elektronische Messgeräte	9 elektronische Messgeräte	7 elektronische Messgeräte
Standort	Schulzimmer EG	Schulzimmer, Werkraum, Nähzimmer	Schulzimmer, Werkraum, Lüftung	Schulzimmer, Küche, Werkraum
Tiefstwert	1081 Bq/m ³	390 Bq/m ³ (Nähzimmer)	60 Bq/m ³ (Schulzimmer 2. OG)	113 Bq/m ³ (Schulzimmer 1. OG)
Höchstwert	1089 Bq/m ³	3140 Bq/m ³ (Werkraum)	2650 Bq/m ³ (Werkraum)	783 Bq/m ³ (Schulzimmer EG)

■ Beim am stärksten belasteten Werkraum im Erdgeschoss ist entgegen den Projektplänen keine Lüftung eingebaut worden. In diesem Zimmer befindet sich mit dem Bodenschacht (Abbildung 6.57) zudem eine mögliche Leckagequelle. Um einen minimalen Luftwechsel zu gewährleisten, wurde auch dieser Raum an die Lüftung angeschlossen.

■ Die Anordnung der Luftein- und -auslässe in der Fassade war nicht optimal. Die geringen Abstände führten wahrscheinlich zu einem Kurzschluss der beiden Luftströme, weshalb die Aussenluft mit Radon angereichert wurde. Die konstruktive Verlängerung einer der Leitungen an der Fassade minimiert dies (Abbildung 6.59).

■ Die Rotationswärmetauscher in den Lüftungsgeräten weisen grundsätzlich erhöhte Leckagewerte auf. Sie wurden darum durch einen Fachmann überprüft und Dichtungsmaßnahmen wurden angeordnet.

Die eigentliche Ursache der sehr hohen Radonkonzentrationen konnte nicht abschliessend ermittelt werden. Das Auffinden der effektiven Leckagen ist aufgrund der Gebäudestruktur und -konstruktion sehr komplex.

Die Untersuchungen zeigten, dass durch den Betrieb der Lüftungsanlage die Radonkonzentration in den Räumen des Schulhauses erheblich gesenkt werden konnte.

Kontrollmessung

2007 erfolgte in Kombination mit Infrarot-Thermografie ein Luftdichtigkeitstest im Werkraum. Die Leckagen konnten jedoch dadurch nicht ermittelt werden. Der permanente Lüftungsbetrieb im Gebäude wird deshalb auch weiterhin aufrechterhalten. In der Nacht und an den Wochenenden wird dieser in einen minimalen Luftwechsel überführt. Im Juni 2017 fand eine erneute Kontrollmessung mithilfe elektronischer Messgeräte an sieben Standorten statt. Diese Messung ergab, dass die Radonkonzentrationen nachts und an den Wochenenden weiterhin stark ansteigen. Bei permanentem Lüftungsbetrieb kann der Schulbetrieb jedoch ohne Beeinträchtigung stattfinden. Darum informierte man zudem das Schulpersonal, dass der Lüftungsbetrieb zwingend erforderlich sei. Auch die Gemeinde ist ausreichend sensibilisiert, so dass im 4- bis 5-Jahres-Rhythmus weitere Kontrollmessungen stattfinden.



Abbildung 6.58:
Primarschulhaus im Kanton
Wallis, Ansicht Südflügel.



Abbildung 6.59: Die konstruktive Verlängerung der Fortluftleitung minimiert den Kurzschluss zwischen den Lüftungsströmen.

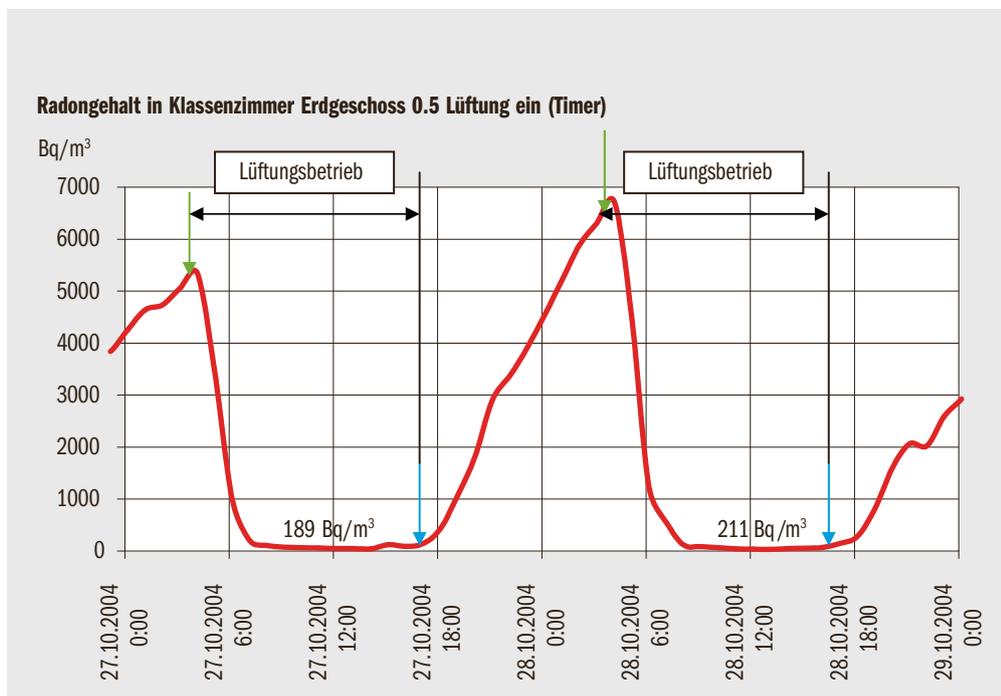


Abbildung 6.60: Zeitlicher Verlauf der Radonkonzentrationen im Klassenzimmer 0.5 mit Lüftungsbetrieb. (grün: Start Lüftungsbetrieb 4.30 Uhr, blau: Ausserbetriebnahme Lüftung 17 Uhr)

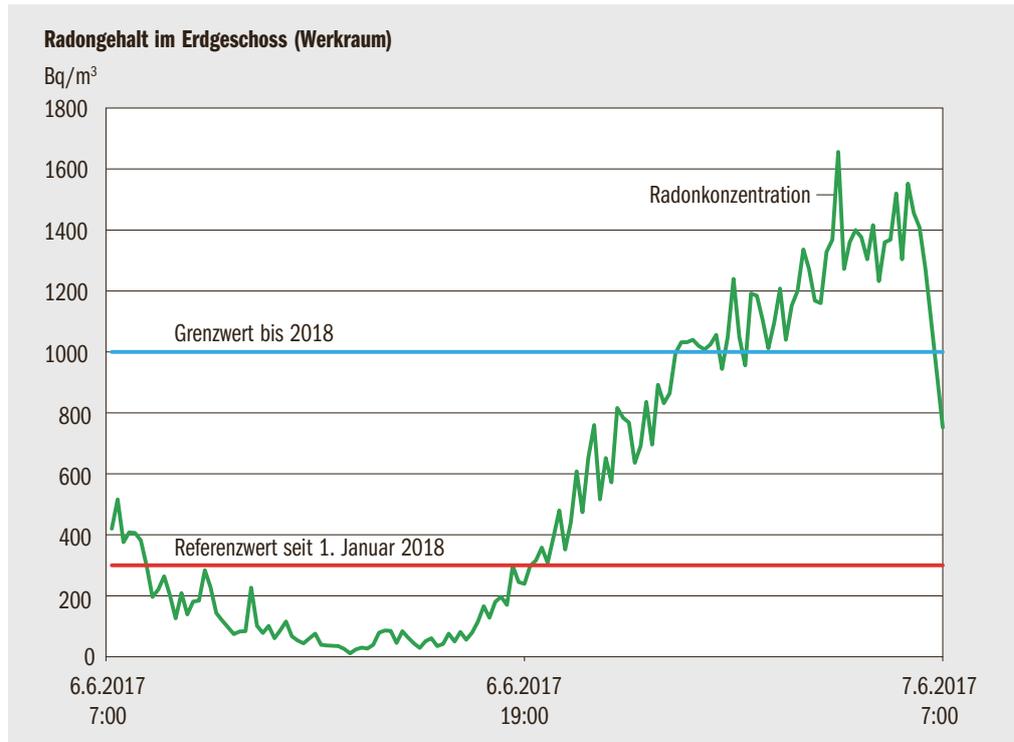


Abbildung 6.61: Resultate der Kontrollmessungen im Werkraum im Erdgeschoss. Der permanente Lüftungsbetrieb wird in der Nacht und an den Wochenenden in einen minimalen Luftwechsel überführt. Die Radonkonzentrationen steigen während dieser Zeit an.

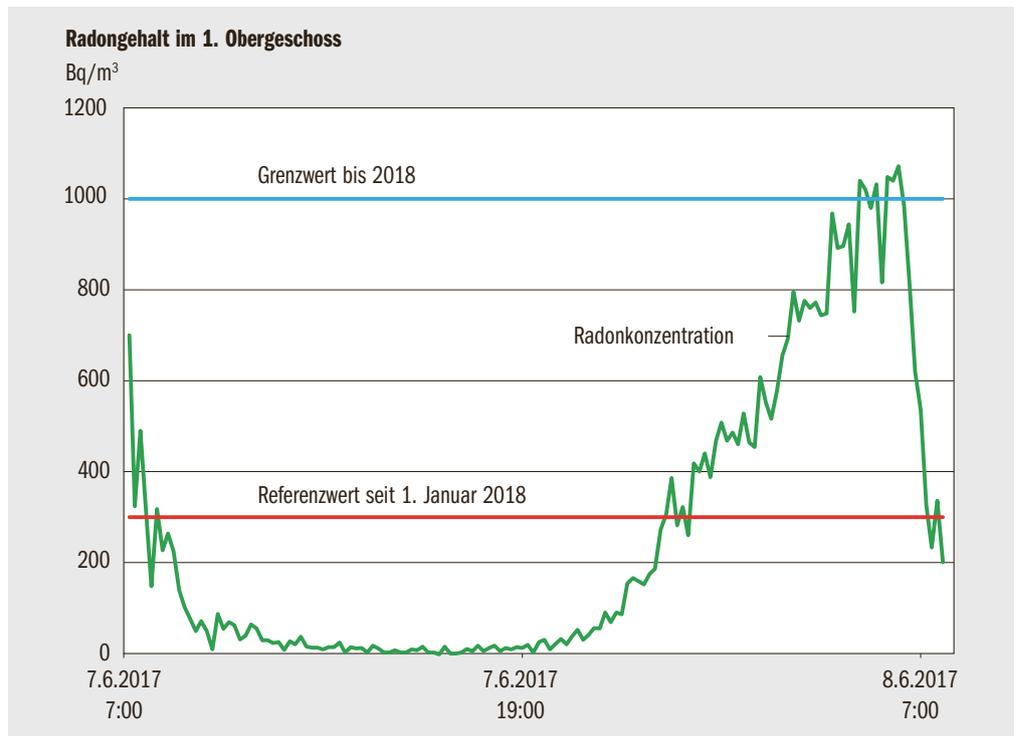


Abbildung 6.62: Resultate der Kontrollmessungen in einem Schulzimmer im 1. OG. Der permanente Lüftungsbetrieb wird in der Nacht und an den Wochenenden in einen minimalen Luftwechsel überführt. Die Radonkonzentrationen steigen während dieser Zeit an.

Kindergarten in Solothurn

Das Kindergartengebäude liegt in Solothurn am Jurasüdfuss und ist im 1970er-Jahre-Standard erbaut. Geologisch weist die Juraregion eine spezielle Bruchstruktur auf. Risse in der Felsstruktur begünstigen den Bodengastransport. Darüber hinaus haben die Gletscher der letzten Eiszeit kristalline, lockere Gesteinsschichten abgelagert. Das eingeschossige Kindergartengebäude wurde auf einem Untergrund aus festem Gestein (anstehender Fels) auf Stützen erbaut. Unter dem Gebäude befindet sich ein niedriger, nicht begehbare Hohlraum (Kriechkeller), der für Leitungen genutzt ist. Neben dem grossen, offenen Kindergartenraum sind mehrere kleine Nebenräume angeordnet, auch ein Heizungsraum.

Radonsituation

Messungen ergaben im Kindergartenraum 720 Bq/m^3 und im Heizraum rund 2700 Bq/m^3 . Da es sich beim Objekt um einen Kindergarten handelt, bestand dringender Handlungsbedarf.

Analyse

Untersuchungen zeigten, dass Radon aus dem Hohlraum unter dem Gebäude durch Ritzen und Leckagen in die Räume dringt. Der höhere Radonwert im Heizungsraum liegt vermutlich an undichten Leitungsführungen vom Heizungsraum in den Kriechkeller, sowie an der Thermik, die besonders im Bereich der Heizung eine Sogwirkung erzeugt.

Massnahmen

Zunächst wurde versucht, die Radonwerte mit Bodenabdichtungen zu senken. Ausserdem wurde ein Überdruckventilator im Hauptraum getestet. Beide Massnahmen konnten die Situation nicht entschärfen. Ein Problem war die Grösse des Hauptraumes von 77 m^2 . Übliche Überdruckventilatoren wirken nicht auf einer so grossen Fläche.

Das Sanierungskonzept beinhaltete den Einbau einer Unterbodenabsaugung. Dabei handelt es sich um ein Rohr mit mehreren Öffnungen, das unter der Bodenplatte im Kriechkeller installiert und an einen Ventilator angeschlossen wurde. Die Abluft wird in einem Rohr an der Hauswand nach oben geführt. Der kantonale Radonverantwortliche hat mittels Kurzzeitmessung mit einem elektronischen Messgerät geprüft, welchen Einfluss der Ventilatorbetrieb auf die Radonsituation hat. So konnte ein optimaler und auch wirtschaftlicher Intervallbetrieb festgelegt werden. Mit diesen Massnahmen wurden Radonwerte unter 100 Bq/m^3 erreicht.



Abbildung 6.63: Unter dem Kindergartengebäude (oben) befindet sich ein Hohlraum (Kriechkeller).

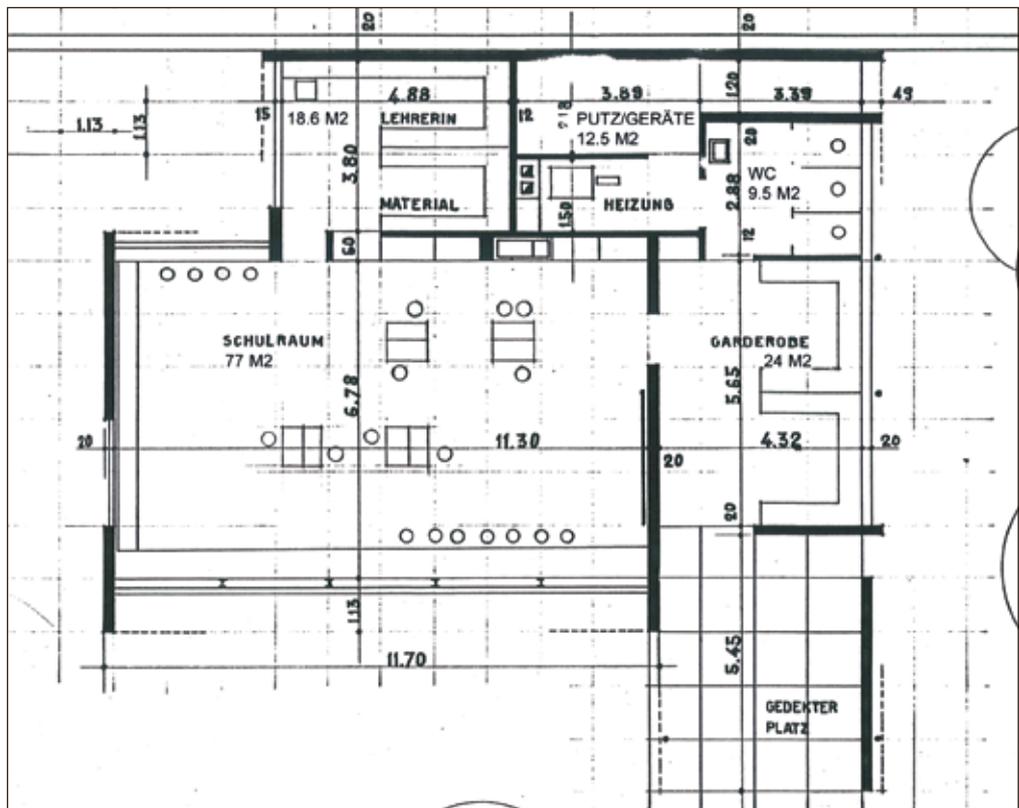


Abbildung 6.64: Für den Radonschutz war die Grösse des Kindergartenraumes von 77 m² eine Herausforderung.

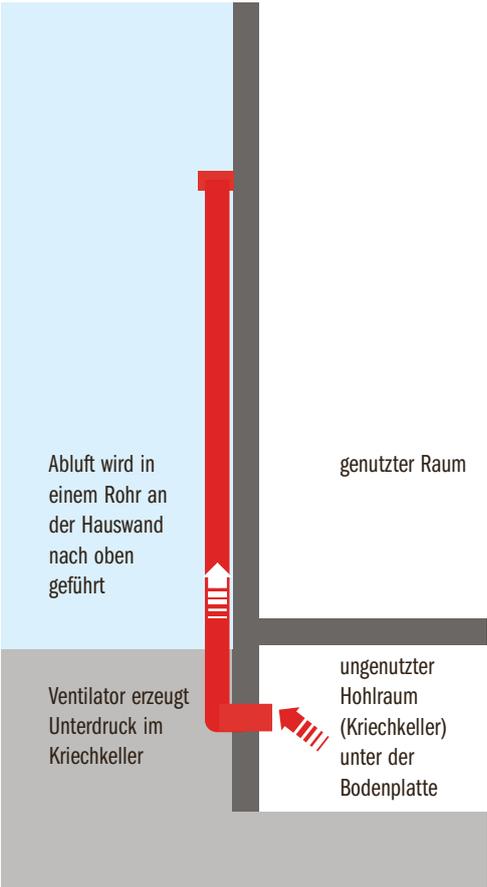


Abbildung 6.65: Im Kriechkeller wurde eine Unterbodenabsaugung installiert.

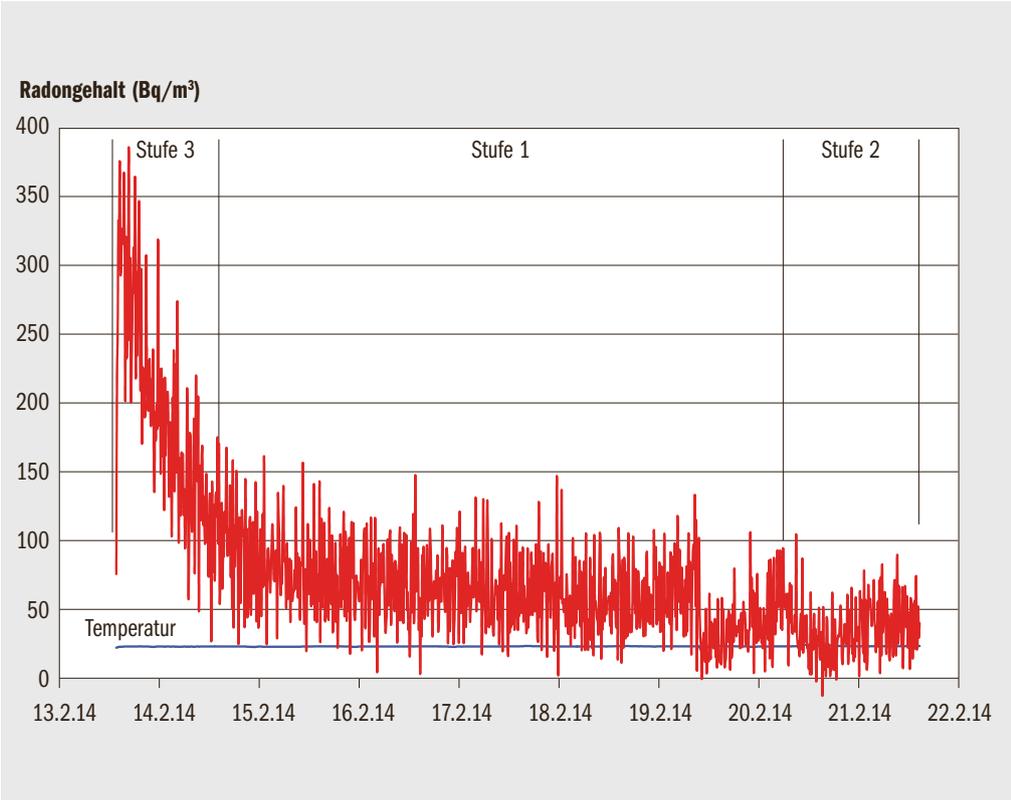


Abbildung 6.66: Der Ventilator der Unterbodenabsaugung wurde mit verschiedenen Leistungen betrieben und die Absenkung des Radonwertes ermittelt.

Wohnhaus im Bezirk Olten

Das 1950 erbaute dreigeschossige Wohnhaus am Jurasüdfuss wurde 2009 hinsichtlich seines Erscheinungsbildes und teilweise auch energetisch saniert. Der Keller teilt sich auf in einen Vorratsraum mit Naturboden (mit Lochsteinen abgedeckt), zwei Räume, die als Hobbykeller genutzt werden, sowie eine Waschküche. Der ehemalige Kohlekeller unter der Kellertreppe hat ebenfalls einen Naturboden. Im Haus ist ein starker Dampfzug installiert.

Radonsituation

Die gemessenen Radonwerte betragen im Naturbodenkeller bis zu 4500 Bq/m^3 , nach einer Stosslüftung etwa 2000 Bq/m^3 . Auch im ehemaligen Kohlekeller wurden erhöhte Radonbelastungen bis zu 3400 Bq/m^3 gemessen, die nach dem Lüften auf 1300 Bq/m^3 sanken. Im Erdgeschoss erreichte der Radonwert im Flur 1800 Bq/m^3 . In den Wohnräumen stieg der Radonwert bis auf 1000 Bq/m^3 , was auf einen Radontransport aus dem Keller in die Wohnräume hinweist.

Analyse

Der Naturbodenkeller wurde eindeutig als Quelle des Radoneintrags identifiziert, da die anderen Räume im Untergeschoss mit versiegelten Böden, wie die Werkstatt und die Waschküche, deutlich niedrigere Radonwerte aufwiesen. Die Bewohner führten während der Messung ein ausführliches Protokoll zu ihrem Lüftungsverhalten und zum Wetter. Der Abgleich mit den Messprotokollen zeigt, dass regelmässiges Lüften die Radonbelastung der Wohnräume sehr effektiv verringert: Die Werte sanken unter 300 Bq/m^3 . Bei gelegentlichem Lüften stiegen die Werte allerdings wieder bis auf 600 Bq/m^3 . Der Betrieb des Dampfzugs in der Küche führt zu einem nicht klar erkennbaren Effekt. Es war kein verstärktes Ansaugen von radonhaltiger Bodenluft in die oberen Geschosse erkennbar.

Da die Resultate aber nur bei intensivem Lüften gut waren und die Radonwerte bei geschlossenen Fenstern rasch anstiegen, bestand Handlungsbedarf.

Massnahmen

Bereits die provisorische Abdichtung mit Dachlatten und Plastikfolie beim offenen Durchgang von Keller zur Treppe zeigte nach zwei Wochen Erfolg. Nach diesem Test entschloss sich die Bauherrschaft für den Einbau einer dichten Türe, um den Aufstieg von Radon ins Erdgeschoss zu verringern. Mit einem elektronischen Messgerät wird die Radonbelastung laufend überprüft. Sie liegt nun in den Wohnräumen im Jahresdurchschnitt bei 300 Bq/m^3 . So konnte mit einer einfachen und kostengünstigen Massnahme eine gute Wirkung erreicht werden.

Abbildung 6.67: Grundriss des Kellergeschosses, rot eingezeichnet die neu eingebaute Tür.

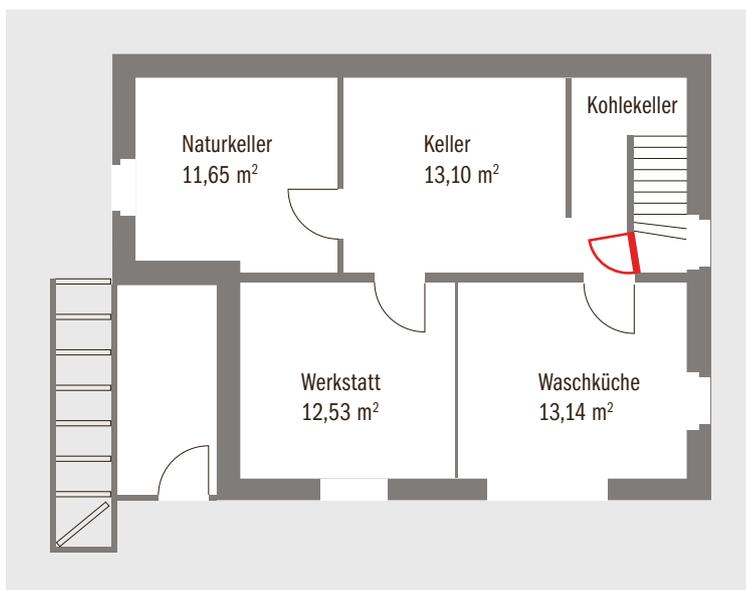




Abbildung 6.68: Das Gebäude wurde 2009 saniert.



Abbildung 6.69 (links): Der Naturboden des Vorratskellers ist mit luftdurchlässigen Lochsteinen abgedeckt.



Abbildung 6.70 (rechts): Die neue, dichte Tür verringert das Aufsteigen von Radon vom Keller ins Erdgeschoss.

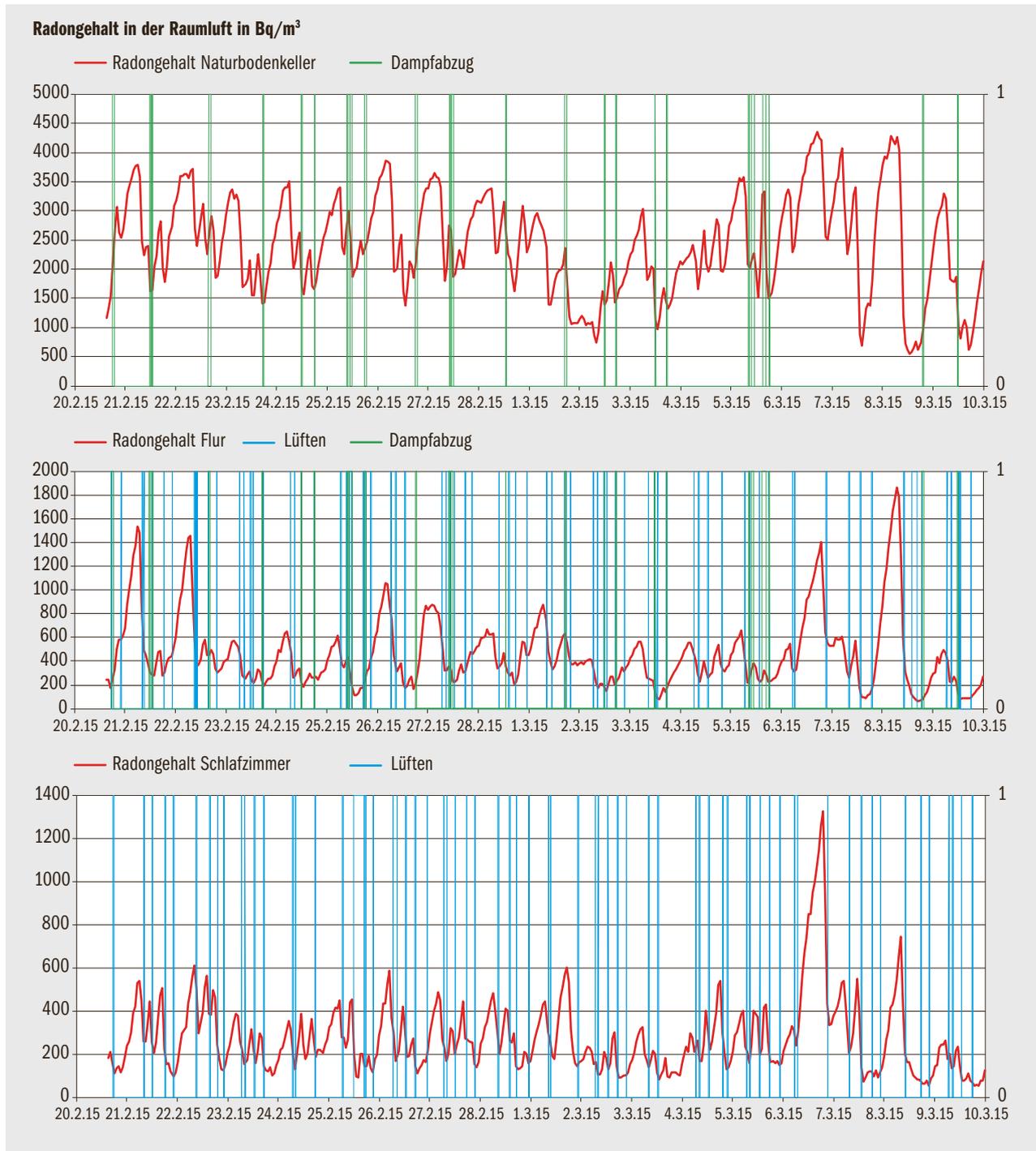


Abbildung 6.71: Die Lüftungsprotokolle zeigen den positiven Einfluss des Lüftens (blaue senkrechte Striche). Der Betrieb des Dampfabzugs (grüne senkrechte Striche) verstärkt die Radonbelastung nicht.

Verwaltungsgebäude in Basel

Der Hauptsitz der kantonalen Fachstelle Archäologische Bodenforschung des Kantons Basel-Stadt befindet sich in einem historischen Spitalgebäude am Rande der Grossbasler Altstadt. Der zweigeschossige Bau wurde 1903 erstellt und in den 1980er-Jahren renoviert und für die Fachstelle Archäologische Bodenforschung umgebaut.

Radonsituation

Laut Radonkarte des Geoportals des Kantons Basel-Stadt ist diese Region nur geringfügig radonbelastet. Trotzdem äusseren Mitarbeitende vor einigen Jahren den Verdacht, dass die Radonkonzentration in den Räumen im Keller erhöht sein könnten. Daraufhin wurden 2011 vom kantonalen Labor Basel-Stadt Radonmessungen durchgeführt.

Analyse

Die Messungen ergaben zwischen 250 und 1500 Bq/m³ in Räumen im Kellergeschoss des Gebäudes. Einer der radonbelasteten Räume wird regelmässig als Arbeitsraum zum wissenschaftlichen Inventarisieren von archäologischen Funden genutzt. Aus diesem Grund waren Massnahmen zum Schutz der Mitarbeitenden nötig.

Massnahmen

Zur Verminderung der Radonbelastung wurde im Arbeitsraum eine mechanische Lüftung mit separat steuerbarem Zu- und Abluftvolumenstrom mit Wärmerückgewinnung und Stufenregelung eingebaut. Der maximale Zuluftvolumenstrom liegt bei 170 m³/h, der maximale Abluftvolumenstrom bei 150 m³/h. Die Lüftung wird mit etwa halber Leistung betrieben, was einem Luftwechsel von rund 0,4 pro Stunde entspricht.

Im Raum befindet sich ein Dolendeckel zum Abwasserschacht. Der Deckel ist mit dem Bodenbelag verklebt. Der Boden ist flächig und ohne Stösse mit PVC-Belag versehen. Es gibt einige Ablauföffnungen für

Abwasserleitungen, die sorgfältig verklebt sind. Die Wandanschlüsse sowie die Unterboden-Konstruktion konnten nicht bewertet werden.

Die Radonkonzentration im Raum wird mit einem elektronischen Messgerät kontinuierlich überwacht. Es erfolgt eine regelmässige Datenauswertung, um die Notwendigkeit von weiteren Interventionen zu prüfen. Mit der aktuellen Lüftungseinstellung wurden Radonwerte von etwa 100 Bq/m³ erreicht, sodass zurzeit keine weiteren Massnahmen notwendig sind.



Abbildung 6.72: Das historische Gebäude wurde 1903 erbaut.



Abbildung 6.73: Die Räume im Untergeschoss werden zum Teil als Arbeitsräume benutzt (links). Rechts ist die Punktabsaugung der installierten Lüftung zu sehen.



Abbildung 6.74: Quellausschluss der Lüftung (links), Volumenstromregelung der Abluft (rechts).



Einfamilienhaus in Riehen

Ein für die Siedlungsstruktur der Schweiz typisches Gebäude mit Baujahr 1921 wurde im Laufe der Zeit durch verschiedene bauliche Massnahmen energetisch erneuert. So wurden Ende der 1990er-Jahre sehr dichte Wärmeschutzfenster eingebaut, was zur Verschlechterung der Radonsituation im Haus führte.

Radonsituation

Wie bereits in vorangegangenen Messungen festgestellt, ist ein Kellerraum mit unversiegeltem Boden stark radonbelastet. Der Mittelwert liegt bei 1930 Bq/m^3 , maximal werden bis zu 2700 Bq/m^3 gemessen. Die Radonwerte schwanken stark, bei warmen Aussentemperaturen sinkt der Wert unter 1000 Bq/m^3 . Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass sich der Boden ums Haus erwärmt und so austrocknet. Dadurch tritt mehr Radongas aus dem umgebenden Erdreich aus und weniger aus dem Kellerboden. Eine zweite Möglichkeit ist, dass der Kamineffekt durch Undichtigkeiten im Gebäude den Luftwechsel so stark erhöht, dass er das Radon in den Räumen verdünnt und ins Freie transportiert.

Die Werte der neusten Messreihe sind niedriger als im Winter 2015. Der Mittelwert lag damals bei 3400 Bq/m^3 . Im Wohnzimmer ist die Radonbelastung geringer. Im Mittel werden über die 14 Tage 290 Bq/m^3 gemessen. Bei kühlen Aussentemperaturen und in den frühen Morgenstunden (1 Uhr bis 3 Uhr nachts) treten gelegentlich Spitzenwerte von bis zu 590 Bq/m^3 auf. Gegenüber den Messungen von 2015 sind auch die Radonwerte im Wohnzimmer gesunken. Das Schlafzimmer im Obergeschoss ist nur gering mit Radon belastet: Der Mittelwert liegt bei 130 Bq/m^3 . An kühlen Tagen steigt er auf rund 300 Bq/m^3 an.

Analyse

Die Radonbelastung im Wohnzimmer liegt nur sehr knapp unterhalb des Referenzwertes von 300 Bq/m^3 . Formal sind keine weiteren Massnahmen nötig, jedoch ist es empfehlenswert, die Radonwerte von Zeit zu Zeit durch eine länger laufende Dosimetermessung zu überprüfen.

Massnahmen

Insbesondere der Warmluftkamin führte zu einer starken Verteilung radonhaltiger Luft in alle Geschosse des Gebäudes. Bei der Sanierung der Heizungsanlage in 2016 wurde er entfernt und gleichzeitig bewusst auf den Bau einer Erdsonde verzichtet. Stattdessen wurde eine Luft-Wasser-Wärmepumpe installiert. Als nächste Massnahme ist die Abdichtung des Naturbodenkellers geplant.



Abbildung 6.77: Beim Gebäude aus den 1920er-Jahren führte der Einbau von dichten Wärmeschutzfenstern zu einer Verschlechterung der Radonsituation.



Abbildung 6.78: Radonmessung im Keller mit undichtem Boden.

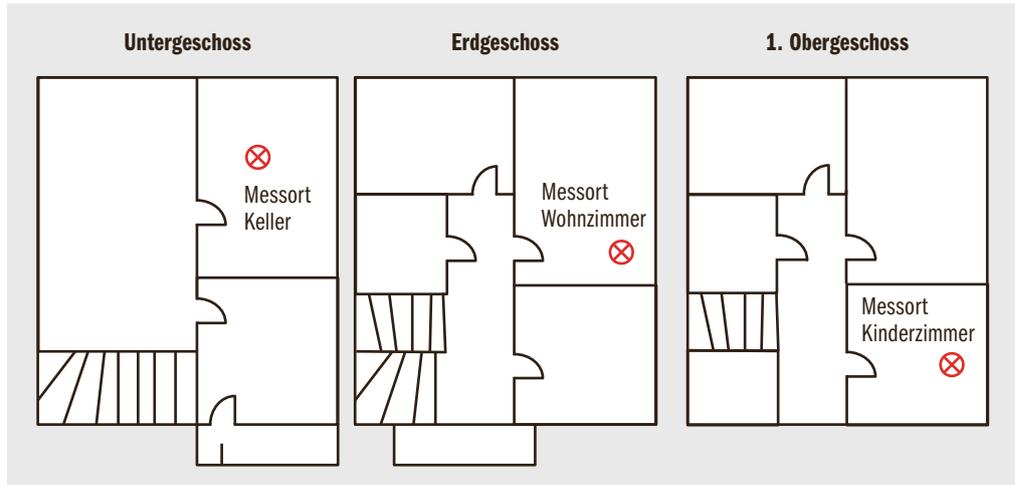


Abbildung 6.79: Grundrisse mit den drei Messpunkten.

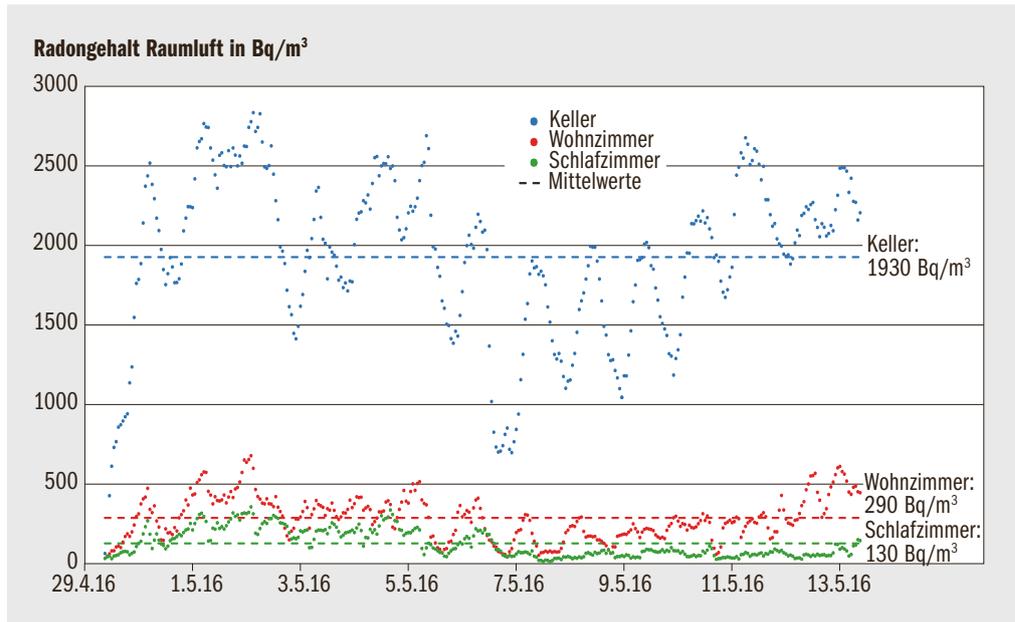


Abbildung 6.80: Radonkonzentrationen an den drei Messpunkten.

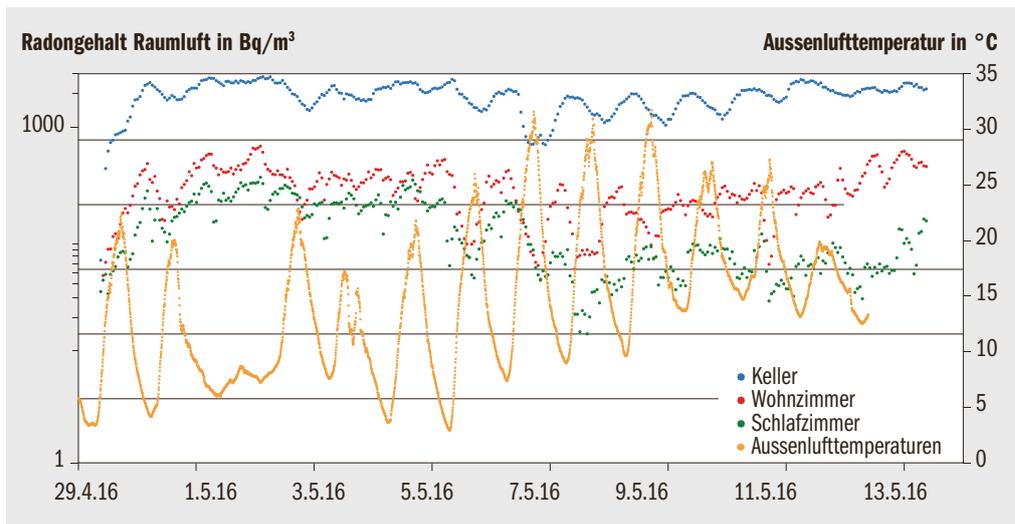


Abbildung 6.81: Radonkonzentrationen in Abhängigkeit von der Aussenemperatur.

Wohnhaus mit sehr hohen Radonwerten

Das freistehende dreigeschossige Einfamilienhaus steht auf klüftigem, kristallinen Material eines Felsturzes. Auf dem Grundstück gab es tiefe Felsspalten im Boden, die beim Hausbau aufgefüllt wurden. Das Untergeschoss wird als Ferienwohnung genutzt. An dem hoch radonbelasteten Gebäude wurden im Laufe der vergangenen Jahre verschiedene Radonenschutzmassnahmen realisiert. Im Boden des Kellergeschosses wurde eine Unterbodendrainage eingebaut, die jedoch nicht in Betrieb ist. In der Ferienwohnung im Untergeschoss des Hauses wurde eine mechanische Lüftungsanlage installiert. Im Vorratskeller, der an die hangseitige Aussenwand grenzt, ist ein Abluftventilator eingebaut. Die zum Erdreich grenzende Wand des Kellers besteht aus Natursteinen und ist unverputzt. Der Boden im gesamten Untergeschoss ist betoniert. Die Geschossdecke zwischen Unter- und Erdgeschoss ist mit einer aluminiumbeschichteten Sperrfolie versehen.

Radonsituation

Trotz der getroffenen Massnahmen wurden in den Nebenräumen des Untergeschosses bis zu 55 000 Bq/m³ gemessen. In der Ferienwohnung im Untergeschoss lagen die Werte zwischen 2500 und 3500 Bq/m³. In den Wohnräumen im EG und OG erreichten die Radonwerte 9000 Bq/m³.

Analyse

Ein vielfacher Luftwechsel im Keller senkte die Radonwerte auf 8000 bis 12 000 Bq/m³, führte aber zum Nachströmen von Luft aus den oberen Etagen. Die Radongehalte im Erdgeschoss und Obergeschoss zeigten einen anderen Verlauf als im Keller. Die im Wohnzimmer des Erdgeschosses gemessenen Radonwerte wiesen einen wiederkehrenden Verlauf mit Tagesminima und Tagesmaxima auf. Dies kann auf eine ausgeprägte Berg-Tal-Thermik zurückzuführen sein. Eine von aussen beeinflusste Gebäudethermik ist schwierig zu kontrollieren, was

den geringen Erfolg der bisherigen Massnahmen erklärt. Darüber hinaus besteht der Verdacht, dass Radon in Hohlräumen der Innenwände aufsteigt.

Massnahmen

Alle bisher am Gebäude getroffenen Radonenschutzmassnahmen führten zu keiner anhaltenden Verminderung der Radonbelastung in den bewohnten Räumen des Hauses. Generell wird aber von einer Sanierungsfähigkeit des Gebäudes ausgegangen. Folgende Massnahmen sollten ergriffen werden:

- Unterbodendrainage aktiv absaugen und nach aussen führen (Unterdruck erzeugen).
- Mechanische Lüftung in der Ferienwohnung besser abstimmen (leichten Überdruck erzeugen).
- Zusätzliche mechanische Lüftung im Erdgeschoss sowie in den Schlafzimmern im Obergeschoss installieren und auf leichten Überdruck einstellen.
- Hangseitige Natursteinwand im Keller verputzen.
- Radonsensoren im Treppenhaus installieren.

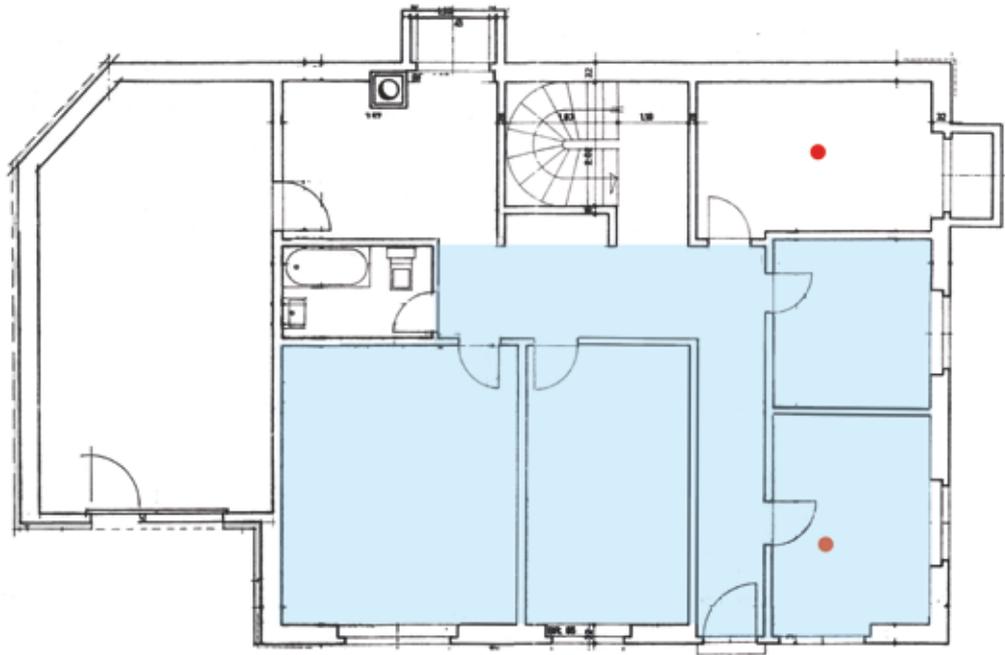


Abbildung 6.82: Im Grundriss des Untergeschosses ist die Ferienwohnung blau und die Platzierung der Radondosimeter rot markiert.

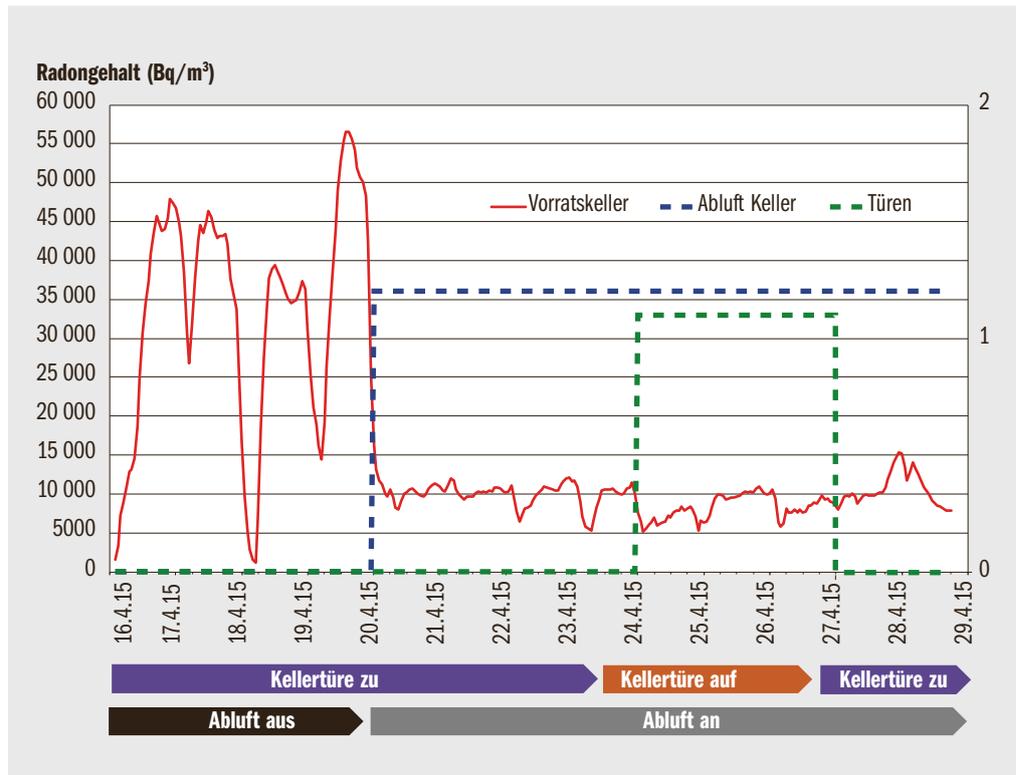


Abbildung 6.83: Der im Keller installierte Abluftventilator senkt die Radonwerte auf 8000 bis 12000 Bq/m³, was immer noch zu hoch ist.

6.3 Neubauten

Wohnhaus im Bezirk Bellinzona

Das Einfamilienhaus besteht aus einem Erd- und Obergeschoss. Ein grosszügiges Wohnzimmer mit Küche und Bad befinden sich im Obergeschoss. Das Erdgeschoss beinhaltet drei Schlafräume, Bad und Waschküche. Bis auf die strassenseite Fassade hat das Erdgeschoss überwiegend direkten Kontakt zum Erdreich.

Radonsituation

Das Gebäude steht in einer Region mit erhöhtem Radonrisiko. Die geologische Situation vor Ort ist gekennzeichnet durch eine drei bis fünf Meter hohe Schicht aus sandigen Ablagerungen mit Kies und Schlamm. Darunter befindet sich ein felsiges Substrat aus Gneis-Gestein.

Analyse

Da das Grundstück ein erhöhtes Radonrisiko hat und darüber hinaus Aufenthaltsräume im Keller geplant wurden, war eine umfassende Prävention notwendig, bestehend aus Basismassnahmen, ergänzenden Massnahmen und zusätzlichen Massnahmen (Bestimmung der notwendigen Vorsorgemassnahmen siehe Kapitel 3).

Massnahmen

■ **Basismassnahmen:** Die Durchgangslöcher der Rohrleitungen der Zonen des Gebäudes mit Erdkontakt wurden mit Rohrmanschetten oder Rohrdurchführungssystemen RDS versiegelt.

■ **Ergänzende Massnahmen:** Die Bodenplatte und Wände mit Erdkontakt wurden mit Beton der Klasse XC2 realisiert.

■ **Zusätzliche Massnahmen:** Unterhalb des Gebäudefundaments wurde ein präventives Unterdrucksystem installiert. Die Drainagerohre haben einen Durchmesser von 16 cm und sind in einem Schotterbett von 30 cm Höhe verlegt. Die flexiblen Drainagerohre unterhalb des Gebäudefundaments wurden

mit einem starren PVC-Rohr verbunden, welches senkrecht aus dem Boden bis auf die Höhe der ersten Etage ansteigt.

Es wurde eine Komfortlüftung eingebaut. Die Aussenluftfassung muss bei Einzelwohnungsanlagen gemäss Merkblatt SIA 2023 mindestens 70 cm über dem Boden liegen, wenn das Grundstück nur privat zugänglich ist.

Falls spätere Kontrollmessungen eine hohe Konzentration von Radon ergeben, wird empfohlen, einen Ventilator an ein Ende der Drainage anzufanschen, um einen Unterdruck im Boden zu erzeugen und radonhaltige Luft abzusaugen. Es ist unbedingt auf eine eventuelle Kondensation von Wasserdampf im Rohrsystem und dem durch das Gebläse erzeugten Lärm zu achten. Das Ausströmrohr des Ventilators muss mindestens 2 Meter von Türen und Fenstern entfernt liegen.

Abbildung 6.84: Das Erdgeschoss des Einfamilienhauses ist überwiegend von Erdreich umgeben.





Abbildung 6.85: Einbau der Radondrainage.



Abbildung 6.86 (links):
Detail der Radondrainage.



Abbildung 6.87 (rechts):
Installation gasdichter
Rohrhülsen.

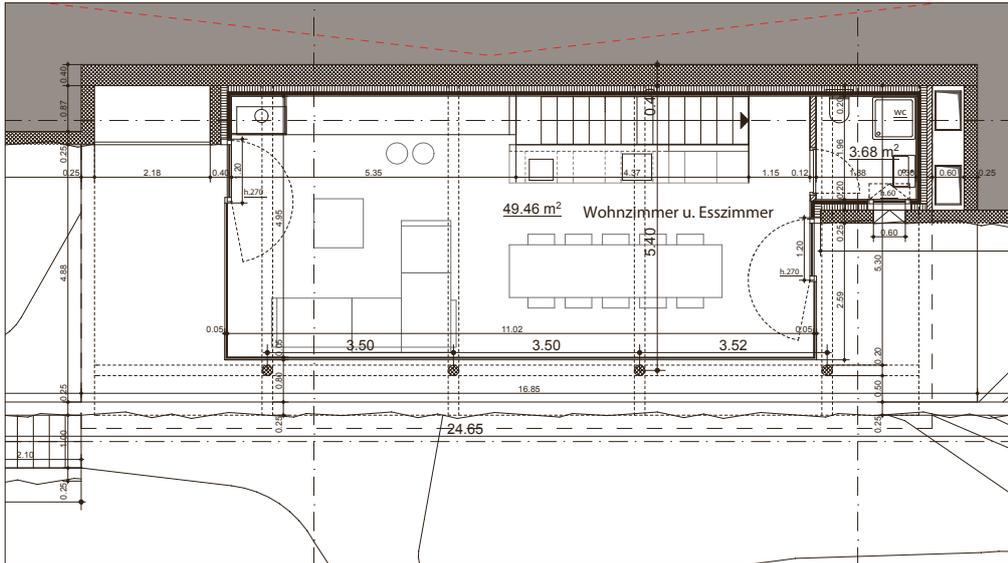


Abbildung 6.88: Grundriss Obergeschoss.

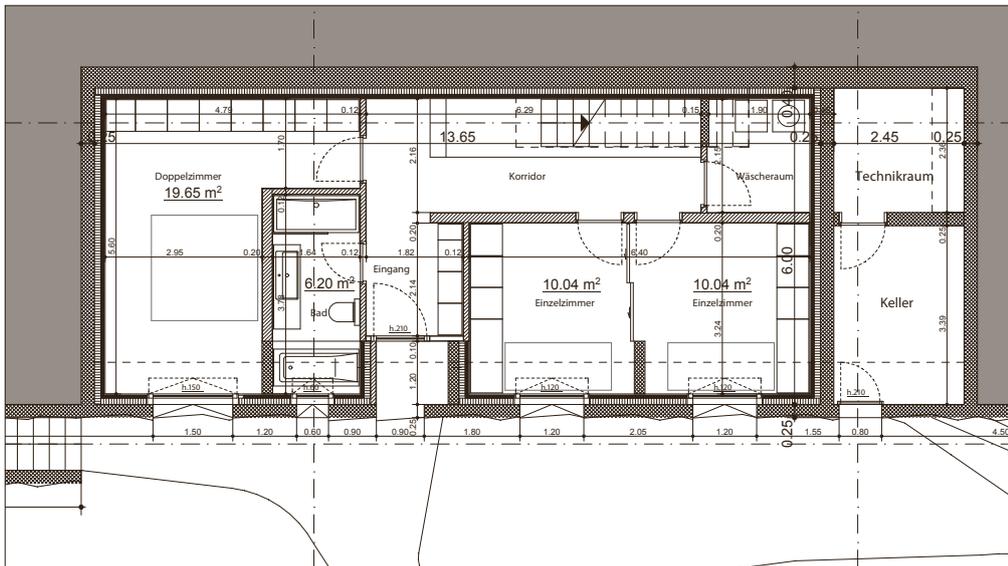


Abbildung 6.89: Grundriss Erdgeschoss.

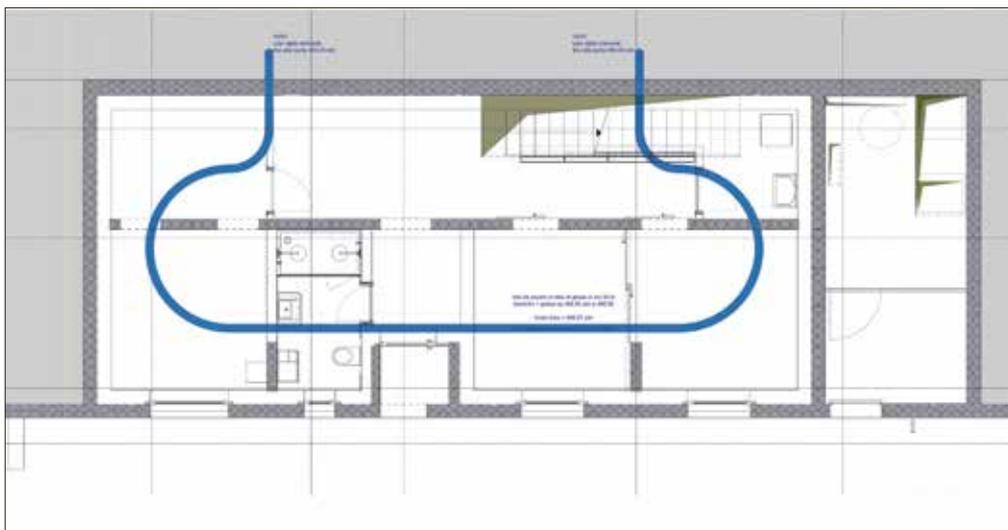


Abbildung 6.90: Plan für die Radondrainage.

Wohnhaus in den Freibergen

Das ältere Landwirtschaftsgebäude mit Wohnteil befindet sich im flachen Gelände ausserhalb einer Gemeinde im Kanton Jura. Im Jahr 2015 wurde das Haus nach Minergie-Standard komplett erneuert. Ein Teil der Gebäudehülle wurde neu erstellt, der Innenausbau ist zum Grossteil völlig neu. Die Gebäudehülle ist zur Vermeidung von Lüftungsverlusten abgedichtet worden. Alle Fenster entsprechen den aktuellen Anforderungen an Wärmeschutz und Luftdichtheit. Eine Pelletheizung und eine Komfortlüftungsanlage für alle bewohnten Räume sorgen für thermischen Komfort und gute Luft. Im Erdgeschoss befindet sich eine Einliegerwohnung, die unsaniert geblieben ist, aber an die Komfortlüftungsanlage angeschlossen wurde. Etwa ein Fünftel des Hauses ist unterkellert. Die unsanierten Kellerräume haben einen dünnen, schadhaften Magerbetonboden und befinden sich unter der Einliegerwohnung.

Radonsituation

Dosimetermessungen in der Vergangenheit haben hohe Radongehalte im Keller nachgewiesen. Aus diesem Grund wurde Anfang

2016 eine Radon-Kurzzeitmessung veranlasst. Dabei wurden im Schlafzimmer der Einliegerwohnung im EG Messwerte von bis zu 2100 Bq/m³ dokumentiert.

Analyse

Durch intensives Stosslüften konnte die Radonbelastung gesenkt werden, nach kurzer Zeit stiegen die Werte wieder an. Es war zu erkennen, dass die mechanische Lüftungsanlage die Radonbelastung nicht absenkt. Auf Nachfrage gab der Bewohner an, dass er die kontrollierte Lüftung aus akustischen Gründen abgeschaltet hatte und dadurch kein ausreichender Luftwechsel zu Stande kam.

Im Schlafzimmer im 1. OG des Neubauteils war die Radonbelastung unkritisch. Der maximale Minuten-Messwert lag zwar bei 850 Bq/m³, der Wert war jedoch ein Ausreisser. Der über 60 Minuten gemittelte Wert betrug 100 Bq/m³. Der Mittelwert über den gesamten Messzeitraum lag bei 45 Bq/m³.

Ein ähnliches Bild zeigte sich in der Waschküche EG im neuen Gebäudeteil. Auch hier gab es einige Ausreisser mit Werten bis



Abbildung 6.91: Das Haus wurde nach Minergie-Standard komplett erneuert.

zu 870 Bq/m^3 . Der über 60 Minuten gemittelte Wert lag bei 210 Bq/m^3 . Über den ganzen Zeitraum gemittelt wurden 90 Bq/m^3 gemessen.

Massnahmen

Die beim Neubau getroffenen Massnahmen reichten aus, um die Radonproblematik in den neu erstellten Gebäudeteilen zu beheben. Für die unsaniert gebliebenen Räume

des Hauses wurden die folgenden Massnahmen empfohlen:

- Neuer Boden in Räumen des EG (innerhalb der Einliegerwohnung).
- Wiederinbetriebnahme der mechanischen Lüftungsanlage mit kontrollierter Zu- und Abluftführung und Wärmerückgewinnung in der Einliegerwohnung.
- Dichte Türen im Erdgeschoss.

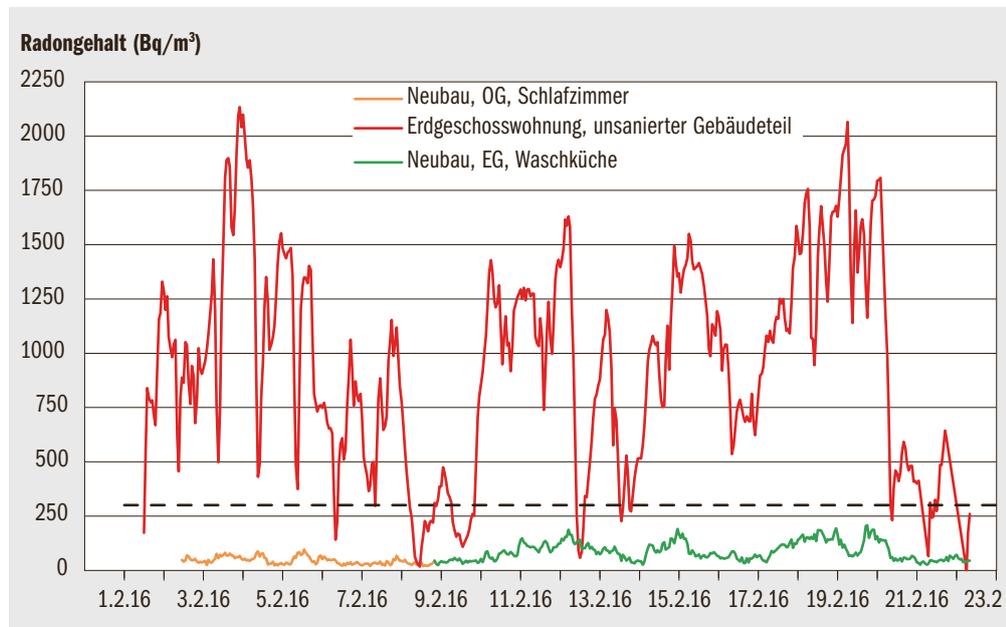


Abbildung 6.93: Die gemessenen Radonwerte liegen im Neubau unter dem Grenzwert, im unsanierten Gebäudeteil deutlich darüber.

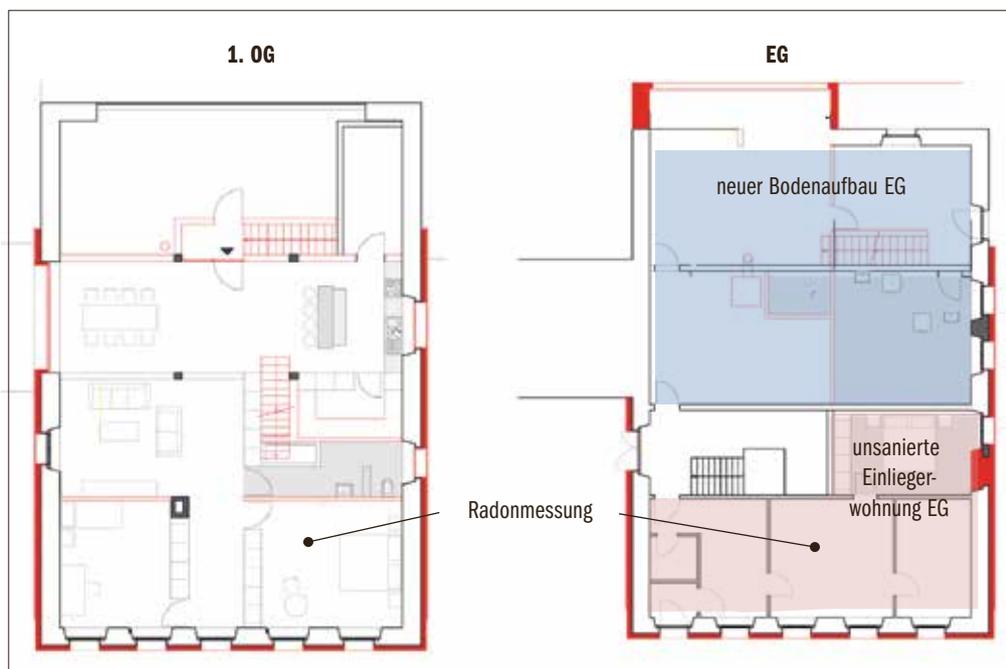


Abbildung 6.92: Blau markiert ist der erneuerte Teil des Hauses, rot markiert die unsanierte Einliegerwohnung.

Hochschul-Campus in Olten

Das Gebäude des FHNW-Campus in Olten entstand 2013 nach den Anforderungen von Minergie-P-Eco. Gestützt auf die Norm SIA 180 wurden im Neubau folgende Massnahmen umgesetzt:

- Durchgehende Bodenplatte
- Abdichtung der Bodenplatte
- Aussenluftzufuhr über das Dach
- Keine dauerhaften Nutzungen wie Schulungsräume im Untergeschoss.



Abbildung 6.94: Fassadenansicht der FHNW Olten.

Radonmessung

Die getroffenen Basismassnahmen wurden im Jahr 2015 nach Rücksprache mit den Architekten und der Bauherrschaft durch die Radonfachstelle überprüft. Über einen Zeitraum von 100 Tagen wurden zwischen November 2015 und Februar 2016 in 11 Räumen des FHNW-Campus die Radonkonzentrationen gemessen. Die Dosimeter wurden entsprechend der Aufstellungsempfehlung zentral im Raum an zugluftfreien Orten positioniert.

Fazit

Die Resultate zeigen, dass im Gebäude kein Radonproblem besteht. Im Grundwasserbrunnenraum (A 142 UG) wurden die höchsten Werte gemessen, die jedoch unterhalb des Schwellenwertes für radonexponierte Arbeitsplätze (1000 Bq/m^3) lagen. Der Wert von 170 Bq/m^3 im Archiv A130 ist für ein Minergie-Eco-Gebäude etwas erhöht, liegt aber deutlich unterhalb des gemäss Strahlenschutzverordnung empfohlenen Referenzwertes von 300 Bq/m^3 . Mit den vorliegenden Messresultaten sind am Gebäude keine Massnahmen zum Radonenschutz erforderlich.

Messergebnisse			
Aufstellort der Dosimeter	Besonderheiten	Gemittelter Radongehalt Raumlufte (Bq/m^3)	Messunsicherheit ($\pm \text{Bq/m}^3$)
A 130 Veloraum	auf Kabeltrasse, neben Kamera	21	6
A 284 2.OG	hinter Lamellentüre, auf Holzrahmen	83	8
A 236 Behinderten-WC 2.OG	im Schaltschrank Lift	26	6
UG Flur zur Umkleide Küche	auf Kabeltrasse	30	6
B 015 EG	auf der Tresenabtrennung	13	5
A 142 Grundwasserbrunnen UG	auf dem Kabeltrasse an der Wand	789	48
B 140 Lüftungszentrale	auf Kabeltrasse	20	5
EG Hausseite Ost	Steigzone Elektroverteilung	10	5
Parkhaus UG1	Raummitte, zentral auf Kabeltrasse	13	5
Archiv UG	Raummitte, auf Kabeltrasse	43	6
A 130 UG Archiv	neben Leitungskanal auf Kabeltrasse	171	15

Doppelkindergarten Riehen

Der pavillonartige Baukörper fasst Doppelkindergarten und Räume für Tagesstruktur zusammen und Anfang 2018 fertiggestellt. Der L-förmige Neubau fügt sich an der nordwestlichen Parzellenecke harmonisch in die umgebende Gartenstadtstruktur ein. Nischenbildende Fassadenelemente verleihen dem Gebäude Identität. Aufgesetzte Oberlichter bilden die einprägsame Dachstruktur. Das Gebäude ist in drei Kernzonen mit angegliederten Nebenräumen unterteilt. Hohe Räume mit Oberlichtern und Schiebefenstern eignen sich optimal zur natürlichen Belichtung und Belüftung. In den Dachräumen sind neben Spiel- und Büroflächen auch Rückzugsräume angeordnet.

Präventive Massnahmen

Für den Doppelkindergarten wurden präventive Radonschutzmassnahmen getroffen:

- Das fensterlose Untergeschoss befindet sich innerhalb des Dämmerimeters. Im Fall einer erhöhten Radonkonzentration kann es über bereits eingebaute Rohre mechanisch über Dach belüftet werden.
- Die Leitungsführung durch Bodenplatte und Wände des Untergeschosses wurden mithilfe von Manschetten- und Rohrdurchführungssystemen wasserdicht ausgebildet.
- Die Erdgeschoss-Bodenplatte und die erdberührenden Wände wurden in wasserundurchlässigem Beton (Dichtigkeitsklasse 1 nach Norm SIA 272) ausgeführt.
- Unter der Erdgeschoss-Bodenplatte wird aus bauphysikalischen Gründen und als Radondrainageschicht eine 45 cm dicke Misaporschicht eingebaut. Sollten während des Betriebs zu hohe Radonkonzentrationen auftreten, kann die Misaporschicht mittels Ventilator und Abluftrohr über das Dach aktiv entlüftet werden. Es wurden unterhalb der Bodenplatte zwei Leerrohre verlegt, welche durch eine Dichtmanschette abgedichtet sind und die Bodenplatte bis in das Gebäudeinnere durchdringen. Sie werden ab dem Erdgeschoss innerhalb der Holzständerwände bis über das Dach geführt.

■ Die Zugangstür vom Erdgeschoss in das Untergeschoss wurde abgedichtet und mit einem Sicherheitsschloss versehen.

Vorgehen in der Betriebsphase

Unter der Bodenplatte des als unbeheiztem Lagerraum genutzten Untergeschosses war keine Misaporschicht erforderlich. Die in wasserundurchlässigem Beton ausgeführten Wände mit aussenliegender Wärmedämmung waren dafür ausreichend. Im Vergleich zum darunterliegenden Terrassenschotter werden in der Misaporschicht unter der Erdgeschoss-Bodenplatte keine erhöhten Radonkonzentrationen erwartet. Daher waren keine punktuellen, passiv wirkenden Öffnungen in den Frostriegeln entlang der Erdgeschoss-Bodenplatte erforderlich. Während des Betriebs sind zudem Messungen der Radonkonzentrationen im Gebäudeinnern geplant.



Abbildung 6.95 (rechts):
Weite Dachlandschaft über
dem neuen Doppelkinder-
garten von Riehen.

Abbildung 6.96 (unten):
Grundriss Erdgeschoss.

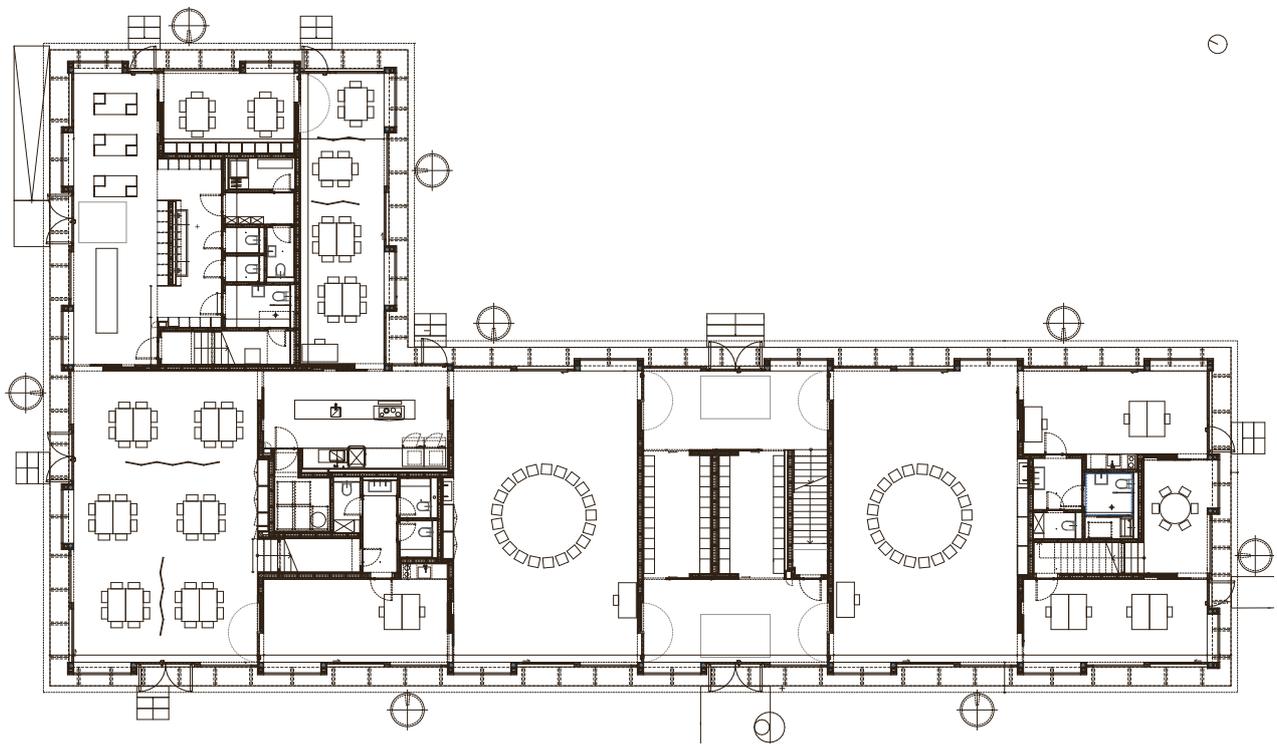




Abbildung 6.97: Eine Misaporschicht dient als Radondrainage.



Abbildung 6.98: Eine Splitlage unter der Bodenplatte dient als Ausgleichsschicht.



Abbildung 6.99: Feuchte- und Radonschutzmassnahmen auf der Kellerdecke.



Abbildung 6.100: Eine radondichte Rohrdurchführung mit Flanschabdeckung.



Abbildung 6.101: Radondicht durch die Betondecke.

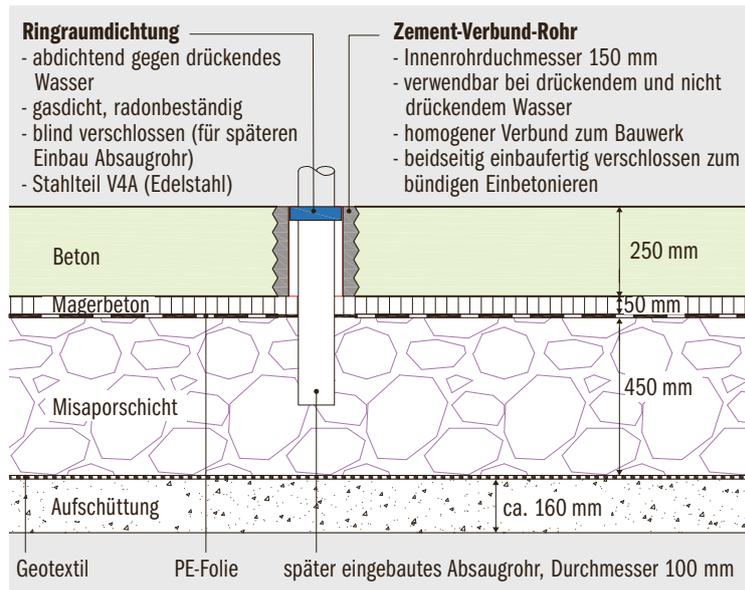


Abbildung 6.102: Detail Radonabsaugung in der Misaporsicht.

Kapitel 7

Anhang

Anlaufstellen

Regionale Radonfachstellen

Ansprechpartner bei Sanierungen und präventiven Massnahmen sind die regionalen Radonfachstellen. Sie vermitteln Messstellen sowie anerkannte Radonfachpersonen.

■ Deutschschweiz: Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Energie am Bau, Muttenz, www.fhnw.ch. Delegierter: Franco Fregnan, Stv.: Falk Dorusch. radon@fhnw.ch, 061 228 55 48.

■ Französische Schweiz: Haute école d'ingénierie et d'architecture, Pérolles 80, CP 32, 1705 Fribourg, www.heia-fr.ch, Delegierte: Joëlle Goyette Pernot, joelle.goyette@hefr.ch, 026 429 66 65.

■ Italienische Schweiz: Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana, Campus Trevano SUPSI, 6952 Canobbio, www.radon.supsi.ch. Delegierter: Luca Pampuri, 058 666 62 98, luca.pampuri@supsi.ch. Stv.: Claudio Valsangiacomo, claudio.valsangiacomo@supsi.ch, 058 666 63 51.

Bundesamt für Gesundheit BAG

Auf der Webseite www.ch-radon.ch stellt das Bundesamt für Gesundheit BAG Informationen zum Thema Radon zur Verfügung. Hier finden Sie auch einen Link zur Radonkarte sowie Listen von Fachleuten, die eine vom BAG anerkannte Radonausbildung absolviert haben und von anerkannten Messstellen.

Gesetzliche und normative Vorgaben

■ Strahlenschutzverordnung vom 1. Januar 2018 (StSV), abrufbar unter www.admin.ch

■ Norm SIA 180 «Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden», 2014

■ Norm SIA 262/1 «Betonbau – Ergänzende Festlegungen», 2013

■ Norm SIA 272 «Abdichtungen und Entwässerungen von Bauten unter Terrain und im Untertagbau», 2009

■ Norm SIA 382/5 2023 «Lüftung in Wohnbauten», 2018

■ SN EN 206:2013 (2. Auflage) «Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität» (SN EN 206-1). Die Norm SN EN 206 ist eine Produktnorm und beschreibt die Anforderungen an Beton, die Klasseneinteilung und die entsprechenden Nachweisverfahren. Es wird aufgeführt, wie Beton auszuschreiben, zu liefern, zu kontrollieren und auf Konformität zu prüfen ist.

■ Vorgabenkatalog Minergie-Eco, abrufbar unter www.minergie.ch

Quellen

■ «Radonschutzmassnahmen – Planungshilfe für Neu- und Bestandsbauten», Herausgeber: Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL), Gestaltung: Michael Reiter, 2016

■ «Radon: Vorsorgemassnahmen bei Neubauten», Herausgeber: Gemeinsame Veröffentlichung von Radonfachstellen aus Österreich, Schweiz, Süddeutschland, Südtirol, 2012

- Georgescu, D.P.: Influence of Concrete Characteristics on Radon Transport, Bukarest, 2012
- Hoffmann, B.: Experimentelle und theoretische Untersuchungen über die Emanation und Migration von Radon in Baustoffen und Bauwerksabdichtungen; Dissertation, Saarbrücken, 2004
- Keller, G.; Hoffmann, B. (2002): Durchlässigkeit von Baumaterialien. In: BMU (Hrsg.): Forschung zum Problemkreis Radon; Vortragsmanuskripte des 14. Statusgespräches, Berlin 23. und 24. Oktober 2001. www.radontest.de
- Keller, G.: Die Strahleneinwirkung durch Radon in Wohnhäusern. Bauphysik 15, 1993, Heft 5
- Keller, G., Schütz, M.: Radonsanierung in Häusern. Institut für Biophysik, Homburg