

Minderung der Radonaktivitätskonzentration in denkmalgeschützten Gebäuden

Leitfaden



Projekt

Bautechnische Maßnahmen zur Minderung der Radonaktivitätskonzentration in denkmalgeschützten Gebäuden

Stand

30. November 2021

Titelbild

Denkmalgeschütztes Zentralgebäude der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (1965),
Foto: Peter Sebb, HTW Dresden

Auftraggeber

STAATSMINISTERIUM
FÜR ENERGIE, KLIMASCHUTZ,
UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT



Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft
Wilhelm-Buck-Straße 2
01097 Dresden

Projektbetreuung
Dr. Stephanie Hurst

Projektbearbeitung

Dipl.-Ing. Stefanie Kunze
Dipl.-Ing. Jakob Klever
Prof. Dr.-Ing. Thomas Naumann
Dr.-Ing. Sebastian Golz



Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Dresden
Fakultät Bauingenieurwesen
Lehrgebiet für Baukonstruktion und Bauwerkserhaltung
Friedrich-List-Platz 1
01069 Dresden

Inhaltsverzeichnis

1	Vorbemerkung	3
2	Radon als Einwirkung auf Gebäude	4
2.1	Das radioaktive Edelgas Radon.....	4
2.2	Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit.....	4
2.3	Empfehlungen, Vorschriften und Gesetze zum Radonschutz.....	4
2.4	Messung der Radonaktivitätskonzentration in Gebäuden.....	5
2.5	Mögliche Eindringwege ins Gebäude.....	6
2.6	Merkmale zur Gefährdungsbeurteilung eines Gebäudes hinsichtlich erhöhter Radonaktivitätskonzentration im Innenraum.....	7
3	Kulturdenkmale	10
3.1	Was macht ein Kulturdenkmal aus?.....	10
3.2	Vorschriften und Leitsätze zum Denkmalschutz.....	11
3.3	Beispiele charakteristischer Kulturdenkmale in Sachsen.....	12
4	Maßnahmen zur Reduzierung der Radonaktivitätskonzentration in denkmalgeschützten Gebäuden	13
4.1	Grundlegende Strategien.....	13
4.2	Konzeptionelle Maßnahmen.....	15
4.2.1	Erhöhung der Luftwechselrate durch freie Lüftung.....	15
4.2.2	Beseitigung unterdruckinduzierender Elemente.....	16
4.2.3	Räumliche Abtrennung belasteter Gebäudebereiche.....	17
4.3	Abdichtungsmaßnahmen.....	18
4.3.1	Wannenartige Abdichtung (außen liegend).....	18
4.3.2	Wannenartige Abdichtung (innen liegend).....	20
4.3.3	Abdichtung konvektiver Eintrittspfade.....	20
4.4	Lüftungstechnische Maßnahmen.....	22
4.4.1	Punktuelle Bodenluftabsaugung unter bzw. neben dem Gebäude (Radonbrunnen).....	22
4.4.2	Flächige Bodenluftabsaugung unter dem Gebäude (Radondrainage).....	23
4.4.3	Absaugung radonhaltiger Luft im Gebäude.....	24
4.4.4	Aktive Gebäudelüftung.....	25
4.5	Zusammenfassung.....	26
5	Empfohlenes Vorgehen zur Radonsanierung bei denkmalgeschützten Gebäuden	28
5.1	Übersicht.....	28
5.2	Erfassung des Ausgangszustandes.....	28

5.3	Entwicklung eines Sanierungskonzeptes.....	29
5.4	Umsetzung des Sanierungskonzeptes	30
5.5	Messtechnische Erfolgskontrolle	31
5.6	Umsetzung des schrittweisen Vorgehens an Beispielgebäuden	31
5.6.1	Beispieltyp 1 – Ländlich geprägte Wohnhäuser der Bauzeit vor 1870	31
5.6.2	Beispieltyp 2 – Schulgebäude der erweiterten Gründerzeit.....	34
6	Schlussbemerkung	36
7	Literaturverzeichnis	36

1 Vorbemerkung

Mit Inkrafttreten des Strahlenschutzgesetzes im Jahr 2018 wurde der Schutz vor erhöhten Radonaktivitätskonzentrationen an Arbeitsplätzen und in Aufenthaltsräumen in Deutschland erstmals rechtlich geregelt. Bis Ende 2020 wurden von den Bundesländern Gebiete ausgewiesen, in denen erhöhte Radonaktivitätskonzentrationen erwartet werden, die so bezeichneten Radonvorsorgegebiete. In diesen Gebieten muss an Arbeitsplätzen, die sich im Keller- oder Erdgeschoss befinden, die Radonaktivitätskonzentration bestimmt werden. Wird dabei der Referenzwert von 300 Becquerel pro Kubikmeter Raumluft als Jahresmittelwert überschritten, sind Maßnahmen zur Senkung der Radonaktivitätskonzentration zu ergreifen. Dies gilt auch für Arbeitsplätze außerhalb der Radonvorsorgegebiete, an denen derartige Messungen freiwillig durchgeführt werden.

Die Erfahrungen, welche bei der Durchführung von Radonmessprogrammen in den vergangenen Jahrzehnten gemacht wurden, zeigen, dass erhöhte Radonaktivitätskonzentration in älteren Gebäuden deutlich häufiger vorkommen als in neueren Gebäuden. Die Reduzierung der Radonaktivitätskonzentration ist in den oft sehr komplexen Altbauten und denkmalgeschützten Gebäuden generell nicht trivial. Die Komplexität eines älteren denkmalgeschützten Gebäudes kann dabei die mit der Radonsanierung beauftragten Firmen vor Probleme stellen.

Aus diesen Gründen wurde der vorliegende Leitfaden für am Sanierungsprozess Beteiligte (Architekt*innen, planenden Ingenieur*innen etc.) erarbeitet. Er gibt einen Überblick über die an denkmalgeschützten Gebäuden einsetzbaren Methoden zum Radonschutz und beschreibt mögliche Konfliktpunkte zwischen Maßnahmen des Radonschutzes und anerkannten Grundsätzen denkmalgerechter Sanierungsprozesse.

2 Radon als Einwirkung auf Gebäude

2.1 Das radioaktive Edelgas Radon

Seit Milliarden Jahren sind radioaktive Stoffe in der Erdkruste vorhanden. Unter diesen Stoffen ist Uran-238, welches in verschiedenen Gesteinen eingebunden ist, stark verbreitet. Beim Zerfall eines Uran-238-Atomkerns entstehen weitere Radionuklide, wie beispielsweise das radioaktive Edelgas Radon. Dieses Gas ist farb-, geruch- und geschmacklos und kann nicht mit den menschlichen Sinnen wahrgenommen werden. Es wird überwiegend in den Porenräumen der Böden sowie in Gesteinen freigesetzt und gelangt von dort durch Spalten und Risse im Untergrund an die Erdoberfläche.

2.2 Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit

Radon und seine kurzlebigen Zerfallsprodukte, die radioaktiven Schwermetalle Polonium (Po), Bismut (Bi) und Blei (Pb), nimmt der Mensch mit der Atemluft in den Atemtrakt auf. Die beim Zerfall entstehende energiereiche Alphastrahlung trifft auf das Lungengewebe und kann dabei eine Schädigung der Zellen bewirken. Folglich steigt das Risiko, an Lungenkrebs zu erkranken.

Erkenntnisse über die Auswirkungen von Radon auf die menschliche Gesundheit entstammen diversen europäischen epidemiologischen Studien (International Agency for Research on Cancer 1988; Kreuzer et al. 2018; Menzler et al. 2006; Darby et al. 2005; World Health Organization 2009). Einige der wichtigsten Erkenntnisse sind nachfolgend aufgeführt:

- Eine langjährige Radonbelastung – auch in niedrigeren Konzentrationen, wie sie in Wohnungen vorkommen – kann eine Ursache für das Auftreten von Lungenkrebs sein. Es gibt keine Hinweise für einen Schwellenwert, unterhalb dessen Radon ungefährlich ist.
- Mit zunehmender Radonaktivitätskonzentration in den Aufenthaltsräumen steigt das Risiko für Lungenkrebs gleichermaßen (proportional) an.
- Radon in Wohnungen gilt nach Rauchen als zweithäufigste Ursache von Lungenkrebs. Eine Studie aus dem Jahr 2006 schätzt, dass fünf Prozent der in Deutschland auftretenden Lungenkrebstodesfälle dem Radon zugeschrieben werden können.
- Radon und Rauchen verstärken hinsichtlich des Risikos wechselseitig ihre Wirkung. Deshalb haben Raucherinnen und Raucher ein besonders hohes Lungenkrebsrisiko durch Radon. Man geht davon aus, dass sich deren ohnehin hohes Lungenkrebsrisiko je 1.000 Bq/m³ verdoppelt. Dies gilt entsprechend auch für das geringere Risiko bei Nichtrauchern.

Radon stellt somit erwiesenermaßen eine Gefahr für die Gesundheit des Menschen dar. Gleichzeitig zeigen die Erkenntnisse, dass es keinen Grenzwert gibt, unterhalb dessen Radonaktivitätskonzentrationen in der Atemluft ungefährlich sind.

2.3 Empfehlungen, Vorschriften und Gesetze zum Radonschutz

Nach derzeitigem Kenntnisstand ist kein Schwellenwert für Radonaktivitätskonzentrationen in der Raumluft erkennbar, unterhalb dessen Radon ungefährlich ist. In mehreren anerkannten Publikationen werden Empfehlungswerte für Radonaktivitätskonzentrationen ausgewiesen, welche nachfolgend dargestellt sind. Diese Werte beziehen sich jeweils auf den Jahresmittelwert in intensiv genutzten Innenräumen.

Empfehlende Institution	Empfehlungswert [Bq/m ³] für Bestandsgebäude und Neubauten
Weltgesundheitsorganisation (WHO), 2009	100 - max. 300
2013/59/EURATOM	100 - 300
Strahlenschutzgesetz , 2017	300 (Referenzwert)
Bundesamt für Strahlenschutz, 2019	100 (Empfehlungswert)

Tabelle 1: Empfehlungswerte zur Radonaktivitätskonzentration in Innenräumen

Der Referenzwert für die über das Jahr gemittelte Radonaktivitätskonzentration in der Raumluft, welcher nach § 124 und § 126 StrlSchG in Deutschland festgelegt wurde, beträgt für alle Innenräume und für Arbeitsplätze 300 Bq/m³. Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) empfiehlt bereits bei einem Jahresmittelwert ab 100 Bq/m³ zunächst einfache Maßnahmen, wie beispielsweise (1) häufiges intensives Lüften, (2) die Abdichtung von Radon-Eintrittspfaden im erdberührenden Bereich oder (3) die Abdichtung von Kellertüren. Durchschnittlich beträgt der Jahresmittelwert der Radonaktivitätskonzentration in Wohnräumen in Deutschland etwa 50 Bq/m³ (Bundesamt für Strahlenschutz 2019, S. 14).

Zum Ende des Jahres 2020 wurden in den deutschen Bundesländern so bezeichnete Radonvorsorgegebiete ausgewiesen. Für Gebäude, welche in einem solchen Gebiet liegen und gleichzeitig Arbeitsplätze im Keller- oder Erdgeschoss beherbergen, ist die Messung der Radonaktivitätskonzentration in Form einer Langzeitmessung verpflichtend. Bei einer Überschreitung des Referenzwertes von 300 Bq/m³ sind Maßnahmen zu ergreifen, die zu einer Senkung der Radonaktivitätskonzentration im Jahresmittel führen. Für sämtliche Neubauten besteht die Pflicht, durch bauliche Maßnahmen weitgehend zu verhindern, dass Radon ins Gebäude eindringen kann.

Für den Radonschutz von Gebäuden wird derzeit die DIN-Norm 18117 mit dem Titel „Bauliche und Lüftungstechnische Maßnahmen zum Radonschutz“ erarbeitet. Deren erster Teil „Begriffe, Grundlagen und Beschreibung von Maßnahmen“ wurde im September 2021 als Technische Spezifikation (DIN/TS) veröffentlicht.

2.4 Messung der Radonaktivitätskonzentration in Gebäuden

Die Radonaktivitätskonzentration in der Luft wird in der Einheit Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m³) gemessen. Ein Becquerel stellt dabei den Zerfall eines Atomkerns pro Sekunde dar.

Die Messung der Radonaktivitätskonzentration in der Luft funktioniert meist nach demselben Prinzip. Die Luft gelangt in eine Messkammer, in der die Zerfälle des Radons bzw. der Folgeprodukte gezählt werden. Man unterscheidet in aktive und passive Messverfahren.

Bei passiven Messungen wird ein Messgerät über einen definierten Zeitraum (zum Beispiel 3, 6 oder 12 Monate) in einem Raum aufgestellt. Jeder Zerfall des Radons und seiner Folgeprodukte verursacht einen Materialdefekt auf einem Kunststoffplättchen. Nach Ablauf der Zeit werden die Materialdefekte im Labor gezählt und dadurch die durchschnittliche Radonaktivitätskonzentration über den Zeitraum ermittelt. Passive Messungen sind genau, günstig und einfach umzusetzen. Sie liefern jedoch lediglich einen Mittelwert über die Messdauer und eignen sich insbesondere für Langzeitmessungen.



Abbildung 1: Messgeräte zur Bestimmung der Radonaktivitätskonzentration in der Raumluft (Saphymo (jetzt Berlin) AlphaGUARD, ALTRAC Typ LD, SARAD Radon Scout, von links nach rechts)

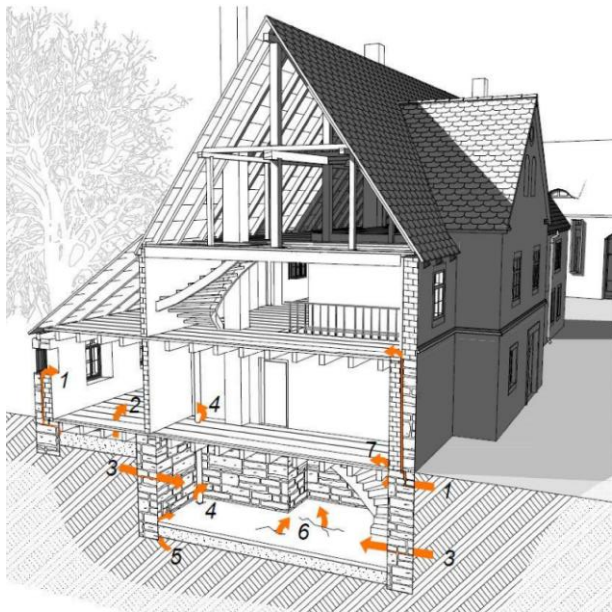
Bei aktiven bzw. elektronischen Messgeräten werden die Zerfälle von den Geräten als Impulse registriert und gezählt. Aktive Messgeräte verfügen in der Regel über ein Display und können die Messwerte in vergleichsweise kurzen Intervallen (zum Beispiel 30, 60 oder 120 Minuten) angeben. Die Messwerte können gespeichert und ausgelesen werden, wodurch Verläufe der Radonaktivitätskonzentration sichtbar werden. Da aktive Messgeräte um ein Vielfaches teurer als passive Geräte sind, bieten sie sich vor allem für Kurzzeitmessungen über eine Dauer von einigen Wochen an. Sie können außerdem für die Messung der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft verwendet werden.

Um Eintrittspfade von Radon in ein Gebäude zu identifizieren, können so bezeichnete Sniffing-Messungen mit aktiven Messgeräten durchgeführt werden. Bei dieser Methode gibt das Gerät bei jedem Zerfall des kurzlebigen Radonfolgeproduktes Polonium einen Signalton ab. Mit einem Schlauch wird hier die Luft entlang von möglichen Eintrittspfaden, wie Leitungsdurchführungen oder Rissen überprüft. Häufen sich die Signaltöne, ist dies ein Indiz für einen konvektiven Eintrittspfad im untersuchten Bereich.

2.5 Mögliche Eindringwege ins Gebäude

Die Hauptquelle für erhöhte Radonaktivitätskonzentrationen in Gebäuden ist die am jeweiligen Gebäudestandort vorhandene Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft. Freigesetztes Radon aus Baumaterialien bzw. aus Trinkwasser ist in Deutschland in der Regel keine relevante Quelle. Ausnahmen stellen hierbei lediglich für Bauzwecke weiterverwendete Erdstoffe in Bergbaugebieten dar. Folglich sind für den Eintritt von Radon ins Gebäudeinnere insbesondere die Beschaffenheit und Ausbildung der Kontaktflächen zwischen Boden und Gebäudehülle, wie Kelleraußenwände oder erdberührte Fußbodenkonstruktionen im Keller- bzw. Erdgeschoss, entscheidend. Üblicherweise wird deshalb in den erdberührten Gebäudebereichen die höchste Radonaktivitätskonzentration festgestellt, welche sich mit zunehmender Etagezahl reduziert.

Durch Konvektion, beispielsweise im Bereich von durchlässigen Fundamentplatten, Rissen im Mauerwerk oder an Kabel- und Rohrdurchführungen, kann Radon ins Gebäude eintreten und sich in der Raumluft anreichern. Durch poröse Baustoffe hindurch kann Radon auch mittels Diffusionsvorgängen ins Gebäudeinnere gelangen. Beide Transportmechanismen werden dabei maßgeblich durch Konzentrations-, Temperatur- sowie Druckunterschiede zwischen Innenraum- und Bodenluft angetrieben. Da diese Differenzen im Winter gewöhnlich höher sind, ist der Eintrag von Radon ins Gebäude zu dieser Jahreszeit höher als im Sommer. Die Einträge infolge Konvektion sind dabei vielfach deutlich stärker als diejenigen durch Diffusion.



- 1 Hohlräume und vertikale Risse
- 2 Spalten in Holzfußböden
- 3 Außenwände
Konvektion durch Risse und Öffnungen
Diffusion durch den Wandquerschnitt
- 4 Bauteildurchführungen
- 5 Fußböden & Bodenplatten
Konvektion durch Risse und Öffnungen
Diffusion durch die Schichten des Fußbodenaufbaus
- 6 Undichte Deckenanschlüsse

Abbildung 2: Möglich Eindringwege in ein bestehendes Gebäude, Grafik: (Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft 2020)

Informationsquellen für weitere grundlegenden Informationen zu Radonschutz

Bundesamt für Strahlenschutz (2019): Radon-Handbuch Deutschland.

Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (Hg.) (2020): Radonschutzmaßnahmen. Planungshilfe für Neu- und Bestandsbauten. Unter Mitarbeit von Michael Reiter, Hannes Wilke, Walter-Reinhold Uhlig.

Humm, Othmar; Breunig, Morris; Glanzmann, Jutta; Leiva, Leonid; Kirstein, Tünde; Sidler, Christine (Hg.) (2018): Radon. Praxis-Handbuch Bau. FAKTOR Verlag AG; Bundesamt für Gesundheit BAG, Bern. 1. Auflage. Zürich: Faktor Verlag (Schriftenreihe Technik).

2.6 Merkmale zur Gefährdungsbeurteilung eines Gebäudes hinsichtlich erhöhter Radonaktivitätskonzentration im Innenraum

Die Beurteilung der Gefährdung eines Gebäudes durch Radon basiert auf verschiedenen Merkmalen. Eine Bewertung dieser Gefährdung anhand eines einzelnen Merkmals ist in der Regel nicht möglich. Deshalb sollten die betreffenden Merkmale stets in ihrer Summe betrachtet werden. Nachfolgend werden diese Merkmale aufgelistet und beschrieben.

Gründungskonstruktion

Die Art der Gründung ist ein Indiz dafür, wo konvektive Eintrittspfade ins Gebäude zu finden sein können. Ist das Gebäude auf Streifen- oder Einzelfundamenten gegründet, sollten die Anschlussbereiche zwischen erdberührtem Fußboden (betrifft Keller- oder Erdgeschoss) und aufgehenden Wänden genauer untersucht werden. An diesen Stellen treten vermehrt Fugen bzw. Risse auf, die einen konvektiven Luftstrom ins Gebäude zulassen.

Flächige Gründungen aus Stahlbeton bilden ein monolithisches Bauteil, auf dem das Gebäude errichtet wird. In Betonbauteilen bilden sich jedoch mit der Zeit planmäßig Risse, durch die Radon ins Gebäude strömen kann. Plattengründungen können aber in Verbindung mit einer wirksamen Abdichtung eine gute Radonbarriere bilden.

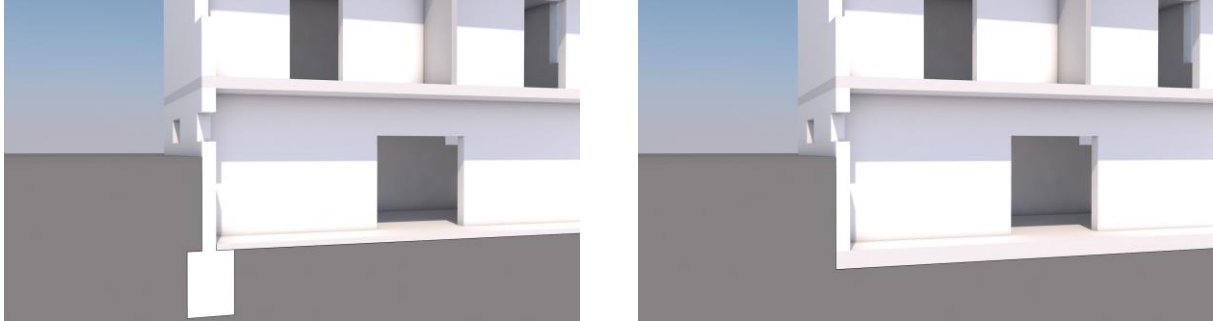


Abbildung 3: Auf Streifenfundamenten gegründetes Gebäude (links), Gebäude mit flächiger Gründung (rechts)

Plattengründungen kommen seit dem frühen 20. Jahrhundert, zunächst nur bei besonderen Anforderungen, zum Einsatz. Ab dem späten 20. Jahrhundert sind flächige Gründungen häufiger vorzufinden. Aus den Plan- und Bauunterlagen eines Gebäudes bzw. durch gezielte Schürfe lässt sich die Gründungsart sicher ableiten.

Neben den konvektiven Eintrittspfaden kann Radon durch den Querschnitt der Gründung bzw. der erdberührten Fußbodenkonstruktion ins Gebäude diffundieren. Der Effekt der Diffusion spielt gegenüber der Konvektion aber eine untergeordnete Rolle. Die Diffusionslänge einer Konstruktion gibt Auskunft über deren Diffusionswiderstand.

Unterkellerungsanteil

Mit dem Unterkellerungsanteil wächst die erdberührte Fläche eines Gebäudes und somit die Wahrscheinlichkeit, dass es konvektive Eintrittspfade ins Gebäude gibt.

Erdberührte Wandkonstruktionen

Durch Risse und Öffnungen in Wänden sowie den nicht immer homogenen Wandquerschnitt selbst kann Radon ins Gebäude gelangen. Außenwände von Bestandsgebäuden bestehen überwiegend aus Mauerwerk. Viele Fugen sowie die Nutzung verschiedener Materialien können zu Rissbildungen im Mauerwerk führen. Vor allem Wände aus unregelmäßigem Natursteinmauerwerk oder Mischmauerwerk sind daher auf konvektive Eintrittspfade zu untersuchen.

Bei mehrschaligem Mauerwerk mit Hohlraumanteil (z. B. Hohlmauerwerk, mehrschaliges Bruchsteinmauerwerk mit Steinfüllung) kann es außerdem vorkommen, dass radonhaltige Luft im Wandquerschnitt nach oben steigt und weiter oben ins Gebäude gelangt.

Art und Zustand der Abdichtung

Sind alle erdberührten Bauteile luftdicht ausgeführt, ist oftmals ein ausreichend guter Schutz gegen das Eindringen von Radon gegeben. Während diese Strategie im Neubau in den meisten Fällen verfolgt wird, ist in bestehenden Gebäuden nur selten eine luftdichte Abdichtung vorhanden.

Grundsätzlich ist es jedoch möglich, dass Teile der Abdichtung den Eintritt von Radon verhindern und die entsprechenden Bauteile nicht weiter betrachtet werden müssen. Daher sollten das Vorhandensein, die Art und der Zustand

- der Abdichtung der erdberührten Fußboden- bzw. Gründungskonstruktion,
- der Vertikalabdichtung der Außenwand,
- der Horizontalsperre im Außenwandquerschnitt,
- der Medieneinführungen sowie
- der Anschlüsse und Übergänge zwischen den benannten Abdichtungen

systematisch überprüft werden.

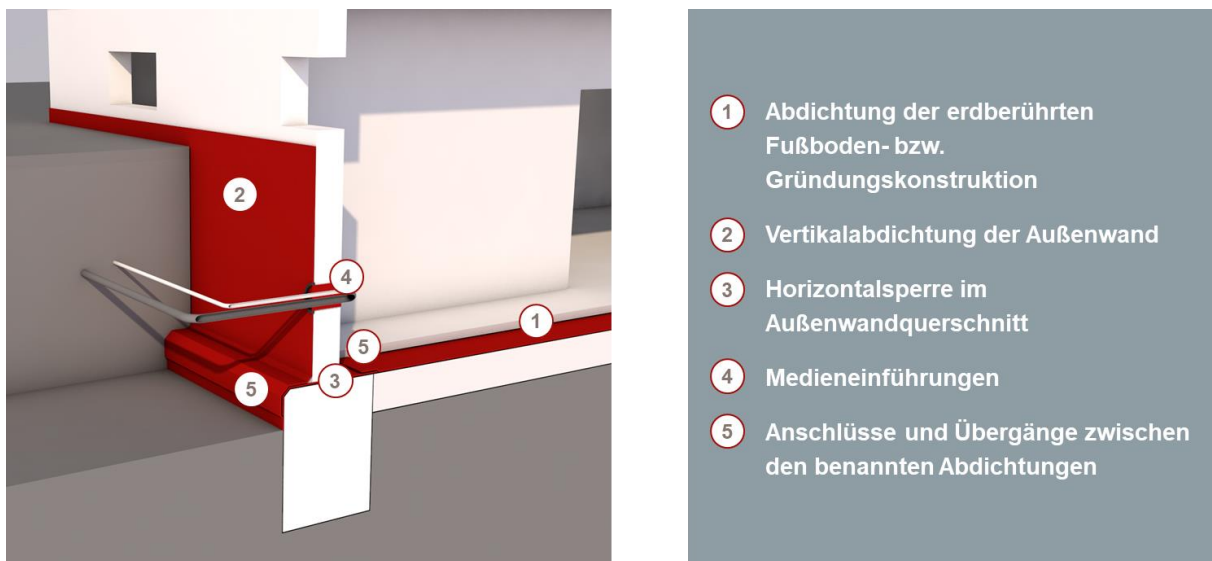


Abbildung 4: Verschiedene Arten der Bauwerksabdichtung

Medieneinführungen und andere Durchdringungen

Durchdringungen erdberührter Bauteile stellen mögliche Eintrittspfade für Radon ins Gebäude dar. Zum einen ist die luftdichte Abdichtung von Durchdringungen nicht der Standardfall. Zum anderen kann radonhaltige Luft beispielsweise auch durch Grundleitungen ins Gebäude gelangen. Durchdringungen und Leerrohre sollten daher immer als möglicher Eintrittspfad in Betracht gezogen werden.

Dichtheit der Gebäudehülle

Viele insbesondere ältere Bestandsgebäude haben aufgrund ihrer undichten Gebäudehülle auch ohne gezielte Lüftung eine hohe Luftwechselrate, die dafür sorgen kann, dass sich im Innenraum keine erhöhten Radonaktivitätskonzentrationen bilden.

Ein grundlegendes Ziel energetischer Sanierungen liegt darin, Wärmeverluste zu minimieren, indem diese sogenannte natürliche Luftwechselrate verringert wird. Bei gefährdeten Standorten muss in der Folge damit gerechnet werden, dass die Radonaktivitätskonzentration im Gebäude ansteigen kann.

Nutzung des Gebäudes

Die Nutzung selbst hat zunächst keinen direkten Einfluss auf die Gefährdung eines Gebäudes. Tritt eine Radonbelastung jedoch nur in einem Bereich des Gebäudes auf, der nicht oder nur untergeordnet genutzt wird (z. B. in einem Lager- oder Haustechnikraum im Keller), so besteht keine Gefährdung für die Nutzer*innen des Gebäudes.

Zusammenfassung

Im ungünstigen Fall kann die Art und Ausprägung der benannten sieben Merkmale auch bei einer geringen Radonbelastung der Bodenluft zu erhöhten Radonaktivitätskonzentrationen im Gebäude führen. So kann eine sehr dichte Gebäudehülle, in Verbindung mit einer fehlenden Abdichtung der erdberührten Bauteile und einer nicht ausreichenden Lüftung, dazu führen, dass die Radonaktivitätskonzentration im Gebäude trotz niedriger Werte in der Bodenluft eher hoch ist.

Gleichzeitig kann eine nutzungsbedingt starke Lüftung (z. B. in einer Fertigungshalle) ausreichen, um die Radonaktivitätskonzentration in einem akzeptablen Bereich zu halten, auch wenn eine höhere Belastung der Bodenluft und gewisse Eintrittspfade ins Gebäude vorhanden sind.

3 Kulturdenkmale

3.1 Was macht ein Kulturdenkmal aus?

Allein in Sachsen sind etwa 100.000 Kulturdenkmale klassifiziert. Mehr als 80 % davon sind Wohngebäude. Hinzu kommen etwa 6.800 Industrie- und Verkehrsbauten, etwa 1.850 Kirchen und etwa 800 Schlösser und Burgen. Somit handelt es sich bei einem Großteil der Kulturdenkmale in Sachsen um Gebäude (SMI 2013).

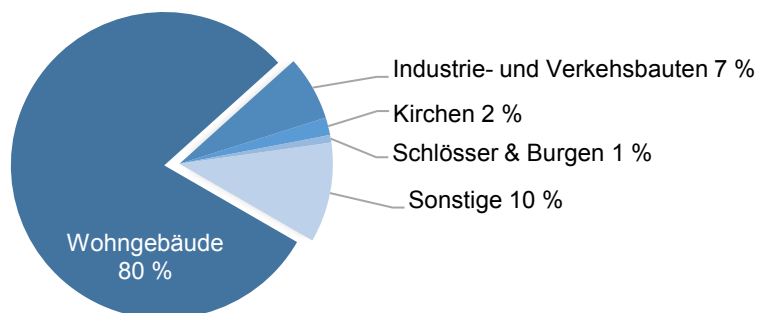


Abbildung 5: Relativer Anteil verschiedener Gebäudearten an Kulturdenkmälern in Sachsen, Datengrundlage: SMI 2013

Wesentliche Voraussetzungen für die Klassifizierung eines Gebäudes als Kulturdenkmal sind dessen Denkmalfähigkeit und Denkmalwürdigkeit.

Ein Objekt gilt als denkmalfähig, wenn es eine geschichtliche, künstlerische, wissenschaftliche, städtebauliche oder landschaftsgestaltende Bedeutung hat. Neben der Bausubstanz selbst, kann also auch eine (frühere) Nutzung des Objektes zu dessen Denkmalfähigkeit führen. Dies kann beispielsweise der Fall sein, wenn eine berühmte Persönlichkeit in einem Gebäude gewohnt, oder eine für einen Industriezweig wichtige Produktion bzw. Entwicklung in einem Gebäude stattgefunden hat.

Nicht jedes denkmalfähige Objekt wird jedoch automatisch als Denkmal eingestuft und gelistet. Neben der Denkmalfähigkeit muss ein öffentliches Interesse am Erhalt des Objektes bestehen. Sofern der diesbezügliche Bewertungsprozess der Fachbehörde eine Bestätigung erbringt, gilt das Gebäude als denkmalwürdig.

Sind diese beiden Voraussetzungen erfüllt, kann die zuständige Denkmalfachbehörde die Eigenschaft des Objektes als Kulturdenkmal feststellen.

3.2 Vorschriften und Leitsätze zum Denkmalschutz

Obwohl der Denkmalschutz international unterschiedlich gehandhabt wird, gelten allgemeine Grundsätze, die in der Regel in vom Internationalen Rat für Denkmalpflege (ICOMOS) erarbeiteten, so bezeichneten Chartas festgehalten werden. In Bezug auf Gebäude sind hier insbesondere die Charta von Venedig (1964) und die Charta von Burra (1979) von Bedeutung.

Diesbezügliche Grundsätze für die Instandsetzung von Kulturdenkmalen (Planung und Ausführung) sind

- die grundsätzliche Prüfung von Reparaturmöglichkeiten statt Austausch,
- die Nutzung von authentischen Materialien und Konstruktionen mit traditionellen Handwerks-
techniken,
- die Nutzung moderner, wissenschaftlich nachgewiesener und erprobter Konservierungs- und
Konstruktionstechniken, wenn sich traditionelle Techniken als unzureichend erweisen sowie
- die Sicherung der späteren Reversibilität von Maßnahmen.

Der Schutz von Kulturdenkmalen wird in Deutschland in den Denkmalschutzgesetzen der Länder geregelt.

Kulturdenkmale in Sachsen sind nach dem Sächsischen Denkmalschutzgesetz von 1993 „im Rahmen des Zumutbaren denkmalgerecht zu erhalten“. Sie sollen einer Nutzung zugeführt werden, „die eine möglichst weitgehende Erhaltung der Substanz auf die Dauer gewährleistet“. Außerdem sollen möglichst alle Kulturdenkmale in „öffentliche Verzeichnisse (Kulturdenkmalisten) aufgenommen werden“ (SächsDSchG, vom 03.03.1993). Instandsetzungen, Änderungen des Erscheinungsbildes, Erweiterungen sowie Abrisse von Kulturdenkmalen sind grundsätzlich genehmigungspflichtig. In Sachsen stehen als Kulturdenkmale eingestufte Gebäude stets in ihrer Gesamtheit unter Denkmalschutz.

Ansprechpartner für objektbezogene Genehmigungsverfahren (denkmalschutzrechtliche Genehmigung) und andere Fragen des Denkmalschutzes in Sachsen sind die Unteren Denkmalschutzbehörden bei den Landkreisen und kreisfreien Städten. Bei der Bearbeitung denkmalpflegerischer Vorgänge wird das Landesamt für Denkmalpflege als zuständige Fachbehörde je nach Bedarf einbezogen. Bei kleineren Reparaturen kann es ausreichen, diese bei der Unteren Denkmalschutzbehörde anzuzeigen. Eine Abstimmung ist jedoch in jedem Fall notwendig.

3.3 Beispiele charakteristischer Kulturdenkmale in Sachsen

Aufgrund der vielfältigen Gründe, die zu einer Denkmalfähigkeit eines Gebäudes führen können, sind denkmalgeschützte Gebäude in ihrem Alter, ihrer Nutzung und ihrer Bauart und Größe entsprechend verschieden.



Abbildung 6: Unterschiedliche Nutzung von Kulturdenkmalen in Dresden: Residenzschloss (Renaissance, Barock), Wohnhaus in Dresden-Klotzsche (1911), Tabak- und Zigarettenfabrik Yenidze in Dresden-Friedrichstadt (1907-1909) (Bild links: [User:Kolossos](#), lizenziert unter CC-BY-SA 3.0, Bild rechts: Franzfoto, lizenziert unter CC-BY-SA 1.0, 2.0, 2.5, 3.0)

Die aktive Nutzung von Kulturdenkmalen wird im Rahmen des Denkmalschutzes angestrebt, da sie in der Regel zum Erhalt der Objekte beiträgt. Die Möglichkeiten der Nutzung von Kulturdenkmalen sind ebenso vielfältig, wie die von solchen Gebäuden, welche nicht unter Denkmalschutz stehen.



Abbildung 7: Denkmalgeschützte Gebäude verschiedener Formen und Größen: Wolfgangskirche in Glashütte (1535), Umgebindehaus in Neustadt in Sachsen (1. Hälfte 19. Jh.), Wohn- und Bürogebäude in Dresden-Striesen (1920) (Bild Mitte: SchiDD, lizenziert unter CC-BY-SA 4.0)

Der Begriff des Denkmals wird oft mit alten Schlössern, Kirchen oder Villen assoziiert. In den sächsischen Denkmallisten finden sich jedoch Gebäude aus nahezu allen Bauphasen bis in die 1980er Jahre. Auch wenn Gebäude aus der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts derzeit nur einen geringen Anteil der Kulturdenkmale ausmachen, ist damit zu rechnen, dass ihr Anteil in den kommenden Jahrzehnten zunehmen wird. Ebenso werden ausgewählte Gebäude jüngerer und jüngster Bauzeit voraussichtlich schon in wenigen Jahrzehnten als Kulturdenkmale klassifiziert werden.



Abbildung 8: Denkmalgeschützte Mehrfamilienhäuser verschiedener Bauphasen in Dresden: links um 1910, Mitte 1958, rechts 1985

Vom Denkmalstatus eines Gebäudes kann also nicht auf das Baujahr, die Bauweise oder die Nutzung eines Gebäudes geschlossen werden. Er legt lediglich fest, dass an einem Denkmal vorgesehene Änderungen am Gebäude bzw. Eingriffe in die Bausubstanz mit der Unteren Denkmalschutzbehörde abgestimmt und von dieser genehmigt werden müssen. Sollten die Maßnahmen am Gebäude gegen denkmalrelevante Grundsätze verstoßen, müssen alternative Lösungen oder Kompromisse gefunden werden.

4 Maßnahmen zur Reduzierung der Radonaktivitätskonzentration in denkmalgeschützten Gebäuden

4.1 Grundlegende Strategien

In Abschnitt 3.3 wurde gezeigt, wie vielfältig denkmalgeschützte Gebäude in Sachsen hinsichtlich ihrer Nutzung, Größe, Bauzeit und Baukonstruktionen sind. Ebenso vielfältig sind die möglichen Eintrittspfade für radonhaltige Bodenluft in Bestandsgebäude (Abschnitt 2.5). Folglich ist es für betroffene Gebäude notwendig, in Abhängigkeit der festgestellten Radonbelastung im Innenraum geeignete Maßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen auszuwählen. Hierfür können Maßnahmen ausgewählt werden, welche drei grundlegenden Strategien folgen.

Unter der Strategie I „Konzeptionelle Maßnahmen“ werden Maßnahmen verstanden, welche ohne den Einsatz von Abdichtungsmaßnahmen an der Gebäudehülle bzw. ohne Lüftungstechnik geeignet sind, die Radonaktivitätskonzentration in der Innenraumluft zu mindern.

Die Maßnahmen, welche in der Strategie II „Abdichtungsmaßnahmen“ zusammengefasst sind, zielen darauf ab, dass die erdberührte Gebäudehülle gasdicht ertüchtigt wird, um sowohl den konvektiven als auch den diffusiven Eintritt von radonhaltiger Bodenluft zu verhindern. Neben den flächigen Abdichtungsmaßnahmen bedürfen hier insbesondere Bauteilanschlüsse und Mediendurchführungen besonderer Berücksichtigung.

Zur Strategie III „Lüftungstechnische Maßnahmen“ zählen solche Maßnahmen, bei welchen (1) durch den Einsatz von Lüftungstechnik zwecks Verdünnung der Radonaktivitätskonzentration in der Raumluft der Luftwechsel im Gebäude erhöht oder (2) gezielt auf die Druckverhältnisse zwischen Innenraum und angrenzendem Erdreich zur Verringerung des konvektiven Zustroms eingewirkt wird.

Nachfolgend werden die in Tabelle 2 dargestellten Maßnahmen zur Reduzierung der Radonaktivitätskonzentration in der Raumluft eingehend vorgestellt. Dabei wird auf die baulichen Besonderheiten im Bestand, die denkmalschutzrechtlichen Aspekte und die zu erwartende Wirksamkeit der Maßnahmen eingegangen. Vertiefende konstruktive Informationen zu den jeweiligen Maßnahmen sind in „Radon-schutzmaßnahmen – Planungshilfe für Neu- und Bestandsbauten“ (SMEKUL 2020) enthalten.

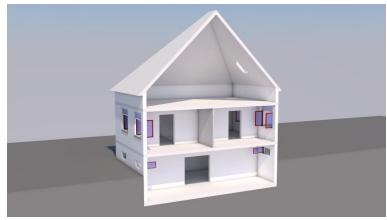
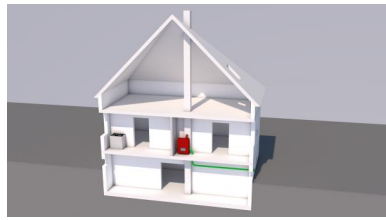
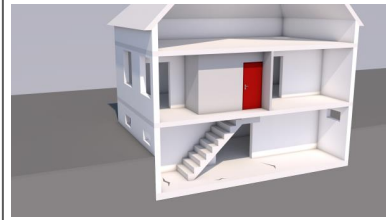
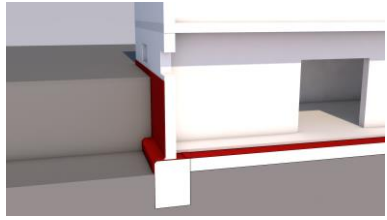
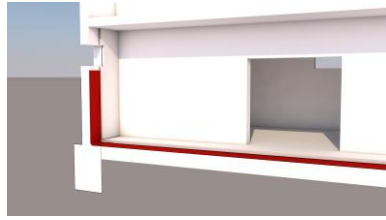
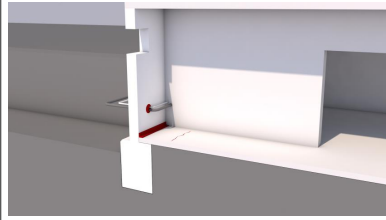
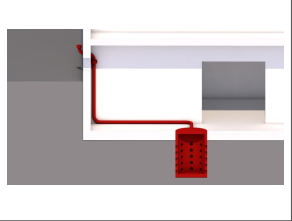
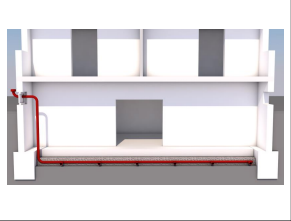
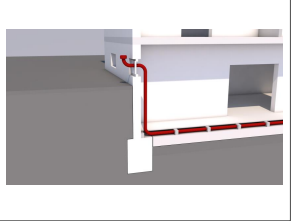
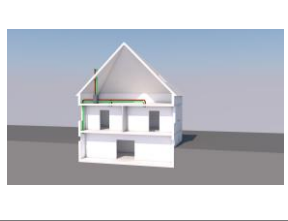
I. Konzeptionelle Maßnahmen			
			
I.1 Erhöhung der Luftwechselrate durch freie Lüftung	I.2 Beseitigung unterdruckinduzierender Elemente	I.3 Räumliche Abtrennung belasteter Gebäudebereiche	
II. Abdichtungsmaßnahmen			
			
II.1 Wannenartige Abdichtung (außen liegend)	II.2 Wannenartige Abdichtung (innen liegend)	II.3 Abdichtung konvektiver Eintrittspfade	
III. Lüftungstechnische Maßnahmen			
			
III.1 Punktuelle Bodenluftabsaugung unter bzw. neben dem Gebäude (Radonbrunnen)	III.2 Flächige Bodenluftabsaugung unter dem Gebäude (Radondrainage)	III.3 Absaugung radonhaltiger Luft im Gebäude	III.4 Aktive Gebäude-lüftung

Tabelle 2: Übersicht von Maßnahmen zur Minderung der Radonaktivitätskonzentration in Gebäuden

4.2 Konzeptionelle Maßnahmen

4.2.1 Erhöhung der Luftwechselrate durch freie Lüftung

Eine in den überwiegenden Fällen sehr einfach umsetzbare Maßnahme stellt die Erhöhung der Luftwechselrate durch freie Lüftung dar. Hierfür ist ein regelmäßiges Öffnen der vorhandenen Fenster bzw. Gebäudeöffnungen notwendig, um die radonhaltige Innenraumluft durch weniger belastete Außenluft auszutauschen. Auf diesem Wege kann die Radonaktivitätskonzentration in der Innenraumluft gesenkt werden. Als besonders effektiv hat sich dabei die Möglichkeit der Querlüftung (über Fenster in gegenüberliegenden Fassaden) erwiesen. Um die durch die Lüftung induzierten Wärmeverluste möglichst gering zu halten, sollte die Lüftung bestenfalls in Form von Stoßlüftungen (mindestens dreimal pro Tag) durchgeführt werden. Da der entstehende Luftvolumenstrom und somit die Luftwechselrate vom Temperaturunterschied zwischen Innenraum- und Außenlufttemperatur abhängt, sollte die Zeitdauer der Stoßlüftung in Abhängigkeit der Jahreszeit variieren (Sommer bis zu 10 min, Frühjahr/Herbst 5 min, Winter 3 min).



Abbildung 9: Schematische Darstellung der freien Lüftung zur Erhöhung des Luftwechsels

Die Erhöhung der Luftwechselrate hat den positiven Nebeneffekt, dass dadurch die relativen Raumluftfeuchten abgesenkt und somit in der Regel die Tauwasser- und Schimmelrisiken im Winter verringert werden. Jedoch kann es während der Sommermonate im unbeheizten Keller- bzw. Souterrainbereich zu Kondensatbildung an Bauteilen aufgrund der im Vergleich zur Innenraumtemperatur höheren Außenlufttemperatur kommen.

Unter Berücksichtigung der oben genannten Problempunkte ist davon auszugehen, dass durch diese Maßnahme keine Schäden bzw. bauliche Veränderungen am denkmalgeschützten Gebäude entstehen. Folglich ist diese Maßnahme ohne Einschränkungen an denkmalgeschützten Objekten umsetzbar.

Die Wirksamkeit der Maßnahme ist von den Druckverhältnissen im bzw. am Gebäude (Temperaturunterschied zwischen Innenraum- und Außenlufttemperatur, Winddruckverhältnisse) sowie den vorhandenen Fensteröffnungsflächen abhängig. Eine dauerhafte Wirksamkeit kann darüber hinaus nur bei konsequenter Umsetzung dieser Maßnahme durch die Nutzer*innen erzielt werden. Aus diesen Gründen stellt die Erhöhung der Luftwechselrate durch freie Lüftung in den überwiegenden Fällen lediglich eine kurzfristige Sofort- bzw. Übergangsmaßnahme bis zur Umsetzung weiterer Maßnahmen zur Reduzierung der Radonaktivitätskonzentration in der Raumluft dar.

Bauliche Belange	Denkmalpflegerische Belange	Beurteilung der Wirksamkeit
<ul style="list-style-type: none"> + Absenkung der relativen Raumlufffeuchten (i. d. R. verringerte Tauwasser- und Schimmelrisiken) - Gefährdung durch Sommerkondensation im Keller- und Souterrainbereich 		<ul style="list-style-type: none"> - hohe Nutzerverantwortung - langfristige Wirksamkeit nutzerabhängig, bei unerwünscht ansteigenden Wärmeverlusten

Tabelle 3: Beurteilung der Maßnahme „Erhöhung des Luftwechsels durch freie Lüftung“

4.2.2 Beseitigung unterdruckinduzierender Elemente

Ein konvektiver Zustrom von Radon in Gebäude erfolgt insbesondere, wenn im Gebäudeinneren im Vergleich zum Erdreich ein Unterdruck herrscht. Ein solcher Unterdruck kann beispielsweise durch den thermischen Auftrieb in Schächten und Schornsteinen, durch Dunstabzugshauben, durch zum Feuchteschutz notwendige Abluftanlagen in innen liegenden Bädern sowie durch raumluftabhängige Feuerstätten (Kamine, Heizungsthermen) entstehen. Beispielsweise wird durch die für Verbrennungsvorgänge in Heizungsthermen notwendige Frischluft ein Unterdruck im entsprechenden Raum erzeugt und so das Nachströmen von radonhaltiger Bodenluft begünstigt.

Um den dadurch bedingten Zutritt von radonhaltiger Bodenluft in ein Gebäude zu verhindern, können diese Anlagen gasdicht verschlossen bzw. entfernt werden. In Schächten ist ebenso der Einbau einer dichten Rohrklappe denkbar. Alternativ kann durch die Installation einer direkten Außenluftzufuhr bzw. einer oberirdischen Nachströmöffnung das Entstehen eines Unterdrucks im Gebäude vermieden werden.

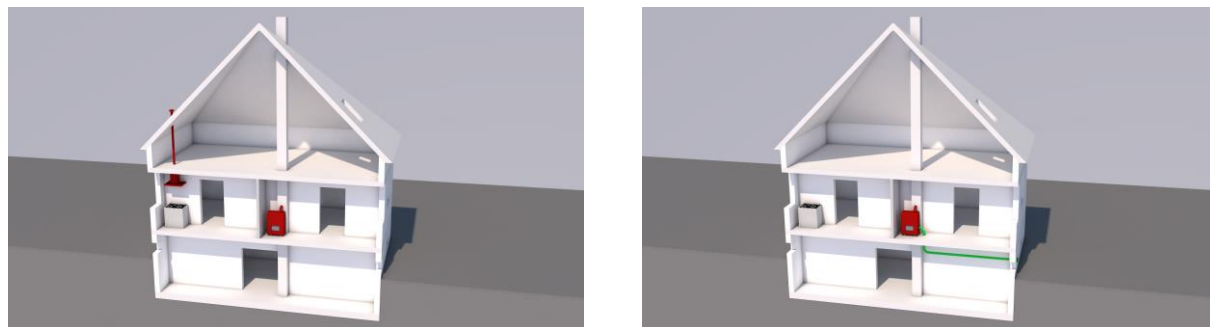


Abbildung 10: Gebäude mit unterdruckerzeugenden Elementen (links), Gebäude nach der Entfernung der unterdruckinduzierenden Elemente (rechts)

Insbesondere der Verlust von Teilen der Bausubstanz, beispielsweise durch den Rückbau eines historischen Ofens, ist aus denkmalpflegerischer Sicht kritisch zu bewerten. Die Installation einer direkten Außenluftzufuhr bzw. einer oberirdischen Nachströmöffnung stellt einen baulichen Eingriff in die denkmalgeschützte Substanz dar. Deshalb kann es notwendig sein, die genaue Leitungsführung sowie die Lage und Umsetzung von gegebenenfalls notwendigen Außenwand-/ Decken- bzw. Dachdurchbrüchen mit der Unteren Denkmalschutzbehörde abzustimmen.

Die Wirksamkeit dieser Maßnahme als Einzelmaßnahme ist in der Regel nicht ausreichend. Deshalb wird die Maßnahme überwiegend als Ergänzung zu weiteren Maßnahmen zur Reduzierung der Radonaktivitätskonzentration in der Raumlufte eingesetzt.

Bauliche Belange	Denkmalpflegerische Belange	Beurteilung der Wirksamkeit
<ul style="list-style-type: none"> - gasdichter Verschluss bzw. Entfernung der Anlagen - Einbau oberirdischer Nachströmöffnungen - ggf. Ersatzmaßnahmen notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> - evtl. Verlust von Teilen der Bausubstanz - Abstimmungsbedarf der Leitungsführung für direkte Außenluftzufuhr - ggf. sind Außenwand-/ Decken-/ Dachdurchbrüche notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> - als Einzelmaßnahme i. d. R. nicht ausreichend

Tabelle 4: Beurteilung der Maßnahme „Beseitigung unterdruckinduzierender Elemente“

4.2.3 Räumliche Abtrennung belasteter Gebäudebereiche

Eine Möglichkeit, die Luftzirkulation und somit die Verteilung radonhaltiger Raumluft innerhalb eines Gebäudes zu reduzieren, stellt die räumliche Abtrennung von Gebäudeteilen mit erhöhter Radonaktivitätskonzentration dar. Hierfür ist es notwendig, die vorhandene Gebäudestruktur sowie die vorgesehenen Nutzungen in höherwertig genutzte und untergeordnet genutzte Räume zu differenzieren. Eine bauliche Abtrennung kann beispielsweise durch die Nachrüstung von Tür- und Fensterdichtungen, den Einbau gasdichter Bauteile wie Bauteildurchführungen, Türen (ggf. selbstschließend), Trennwände oder Medienführungen umgesetzt werden. Wichtig ist dabei insbesondere, dass die vorgesehene Trennungsebene vollständig gasdicht ausgeführt wird. Das bedeutet, dass entlang der Trennungsebene keine Bauteilöffnungen mehr vorhanden sein dürfen.

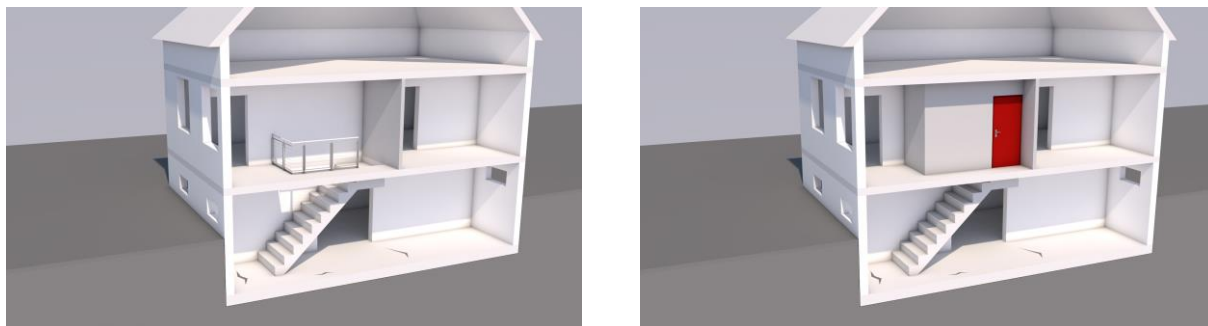


Abbildung 11: Gebäude mit einem offenen Treppenhaus zum Kellergeschoss (links), Gebäude mit einem gasdicht abgetrennten Treppenhaus zum Kellergeschoss (rechts)

Aus denkmalpflegerischer Sicht ist bei dieser Maßnahme vorteilhaft, dass das äußere Erscheinungsbild des geschützten Objekts nicht beeinträchtigt wird. Jedoch kann durch den Austausch von Türen der originalen Bausubstanz durch gasdichte Türen Originalsubstanz verloren gehen. Die andernfalls notwendige Verbesserung der Gasdichtheit bestehender Türen ist im Gebäudebestand nur selten herstellbar. Darüber hinaus sind optische Beeinträchtigungen im Gebäudeinneren durch den Einbau von notwendigen Trennwänden und Bauteilverschlüssen möglich.

Durch diese Maßnahme wird der Zutritt von radonhaltiger Bodenluft in das Gebäude nicht verhindert. Die Radonaktivitätskonzentration in höherwertig genutzten Bereichen kann durch eine strikte räumliche sowie gasdichte Trennung reduziert werden. Im abgetrennten Bereich wird jedoch eine Erhöhung der Radonaktivitätskonzentration in der Raumluft hingenommen, da der Verdünnungseffekt durch den Luftaustausch mit angrenzenden Räumen unterbunden wird. Eine besonders hohe Wirksamkeit der Maßnahme kann dann erreicht werden, wenn die höherwertige Nutzung aus dem erdberührenden Bereich hinaus verlagert und eine gasdichte Abtrennung zwischen den verschiedenen Bereichen umgesetzt wird.

Bauliche Belange	Denkmalpflegerische Belange	Beurteilung der Wirksamkeit
<ul style="list-style-type: none"> - Einbau gasdichter Türen und ggf. Zwischenwände - Verschluss von Bauteilöffnungen entlang der vorgesehenen Trennungsebenen - Umfang des Eingriffes stark von der Gebäudestruktur abhängig 	<ul style="list-style-type: none"> + keine optische Beeinträchtigung des äußeren Erscheinungsbildes - Verlust von Originalsubstanz durch Einbau gasdichter Türen - optische Beeinträchtigung durch notwendige Trennwände und Bauteilver-schlüsse 	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Radonaktivitätskonzentration in Teilbereichen des Gebäudes wird weiterhin hingenommen - hohe Wirksamkeit bei Verlagerung der höherwertigen Nutzung aus den erdberührten Bereichen hinaus, inklusive deren Abtrennung

Tabelle 5: Beurteilung der Maßnahme „Räumliche Abtrennung belasteter Gebäudebereiche“

4.3 Abdichtungsmaßnahmen

4.3.1 Wannentartige Abdichtung (außen liegend)

Mit Hilfe einer wannenförmigen, außen liegenden Abdichtung können der konvektive sowie der diffusive Zustrom von radonhaltiger Bodenluft ins Gebäudeinnere verhindert werden. Die wannenförmige Ausbildung besteht dabei aus einer flächigen Vertikalsperre auf der Außenseite der aufgehenden Wände, einer flächigen Horizontalsperre unter bzw. im Fußbodenaufbau sowie ggf. einer Horizontalsperre in den aufgehenden Wandquerschnitten. Die Ausführung kann dabei nach der aktuell gültigen DIN 18533 (07-2017) „Abdichtung von erdberührten Bauteilen“ bzw. nach WTA-Merkblatt 4-6 (11-2014) „Nachträgliches Abdichten erdberührter Bauteile“ erfolgen. Unter Einhaltung der Anforderungen an die Wassereintragsklasse „W2-E – drückendes Wasser“ sind gleichzeitig die Anforderungen an die Konvektionsdichtheit erfüllt, bei „W1-E – Bodenfeuchte und nicht drückendes Wasser“ sind hierfür Zusatzmaßnahmen, insbesondere in Bereichen von Übergängen und Anschlüssen, notwendig. Insbesondere ist darauf zu achten, dass die Verarbeitungsvorschriften hinsichtlich Überlappungsbreiten bzw. Verkleben sowie Verschweißen der Bahnenübergänge und Anschlüsse eingehalten werden. Die Diffusionsdichtheit der jeweiligen Abdichtungsmaterialien wird mit Prüfsertifikaten auf Radondichtheit nachgewiesen.

Für die flächige Vertikalabdichtung auf der Außenseite von aufgehenden Wänden ist ein Freilegen dieser Konstruktionen inklusive Schaffung eines ausreichenden Arbeitsraums notwendig. Die nachträgliche Horizontalsperre im Wandquerschnitt kann mittels Mauer säge- oder Injektionsverfahren eingebracht werden. Für die Ausbildung einer nachträglichen Flächenabdichtung ist ein Rückbau der bestehenden Fußbodenkonstruktion notwendig. Folglich ist der bauliche Aufwand für die Umsetzung dieser Maßnahme hoch. Eine Reduzierung ist jedoch durch Kombination mit einer ohnehin notwendigen Beseitigung von Feuchteschäden möglich.

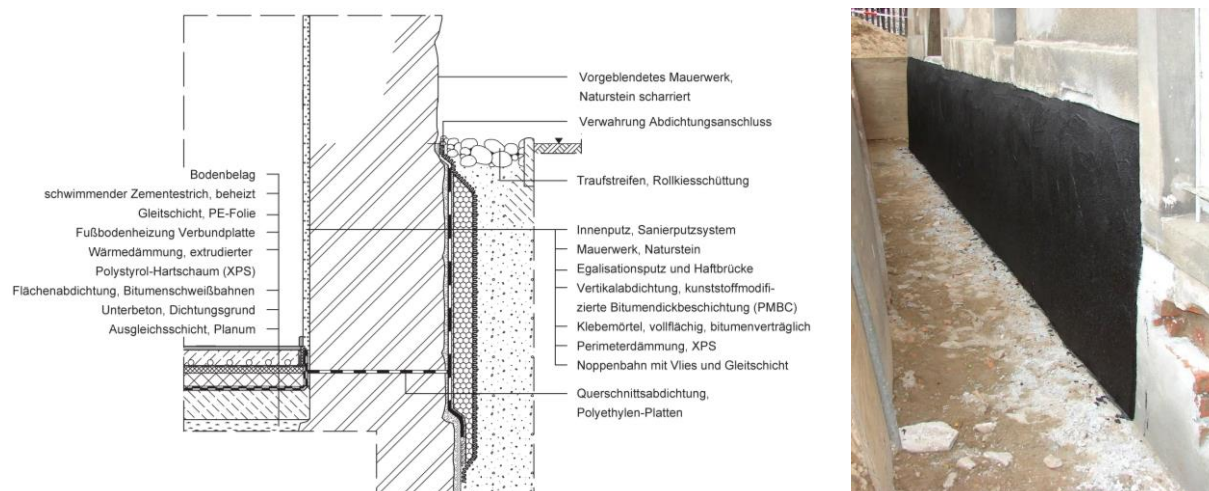


Abbildung 12: Beispielhafte Sanierungsplanung einer nachträglichen wannenartigen Abdichtungsstruktur an einem denkmalgeschützten Gebäude (links), nachträglich ausgeführte Vertikalabdichtung aus PMBC an einem denkmalgeschützten Gebäude (rechts), Quelle: GB1 Ingenieure

Die Tatsache, dass sich aus einer wannenartigen Abdichtungsstruktur keine direkte optische Beeinträchtigung des äußeren Erscheinungsbildes ergibt, ist aus denkmalpflegerischer Sicht positiv zu bewerten. Jedoch können nachträgliche Abdichtungsstrukturen in der Regel nicht mit Originalmaterialien, wie in den Grundsätzen zur Denkmalpflege laut Charta von Venedig gefordert, umgesetzt werden. Darüber hinaus wird mittels Mauersägeverfahren bzw. Rückbau der Fußbodenkonstruktion stark in die bestehende Bausubstanz eingegriffen. Infolge dieser Maßnahmen tritt eine optische Veränderung des Innenraumes ein.

Bei vollständig gasdichter Ausführung stellt die außenliegende wannenartige Abdichtung eine sehr wirksame Maßnahme zur Reduzierung der Radonaktivitätskonzentration in der Raumluft dar. Im Bestand ist der komplett gasdichte Anschluss der einzelnen Abdichtungsebenen untereinander jedoch mit hohem Aufwand verbunden. Wie bereits beschrieben, ist insbesondere bei wannenartiger Ausbildung die Wirksamkeit optimal. Jedoch kann die Umsetzbarkeit durch die örtlichen Gegebenheiten am bestehenden Objekt stark eingeschränkt sein.

Bauliche Belange	Denkmalpflegerische Belange	Beurteilung der Wirksamkeit
<ul style="list-style-type: none"> - hoher baulicher Aufwand (ggf. Reduzierung durch Kombination mit ohnehin notwendiger Beseitigung von Feuchteschäden) - Freilegung der erdberührenden Wände muss möglich sein - Austausch der Fußbodenkonstruktion - teilweise Nutzungsunterbrechung erforderlich - Nachträgliche Einbindung von Durchdringungen in die Abdichtungsebene 	<ul style="list-style-type: none"> + Keine optische Beeinträchtigung des äußeren Erscheinungsbildes - i. d. R. nicht mit Originalmaterialien umsetzbar - Optische Veränderungen im Innenraum - Eingriffe in die bauliche Substanz durch Mauersägeverfahren bzw. Rückbau der Fußbodenkonstruktion 	<ul style="list-style-type: none"> + Bei gasdichter Ausführung sehr wirksam - Komplett gasdichte Ausführung der Anschlüsse zwischen verschiedenen Abdichtungsebenen im Bestand schwierig

Tabelle 6: Beurteilung der Maßnahme „Wannenartige Abdichtung (außen liegend)“

4.3.2 Wannenartige Abdichtung (innen liegend)

Im Vergleich zu der zuvor beschriebenen Maßnahme wird in diesem Fall die wannenförmige Abdichtung raumseitig auf die erdberührenden Bauteile aufgebracht, um den konvektiven sowie diffusiven Eintritt von radonhaltiger Bodenluft in des Gebäudeinnere zu unterbinden. Hierfür können nach WTA-Merkblatt 4-6 (11-2014) nachgewiesene Systeme verwendet werden.

Jedoch sind mit dieser Ausführungsvariante sowohl baukonstruktive und denkmalpflegerische als auch wirksamkeitsbezogene Problempunkte verbunden.

Mit der raumseitigen Anordnung der Abdichtungsebene wird grundsätzlich eine dauerhafte Durchfeuchtung der erdberührenden Bauteile hingenommen. Durch den dadurch bedingten kapillaren Wasseranstieg in den Außenwandquerschnitten kann es zu Feuchteschäden in weiter oben liegenden Wandbereichen kommen. Darüber hinaus wird der für das Raumklima wichtige Feuchteausgleich zwischen Raumluft und umgebenden Bauteilen behindert.

Nach Fertigstellung dieser Maßnahme ist die Originalsubstanz der erdberührenden Bauteile nicht mehr sichtbar und die Reversibilität der Maßnahme wäre nur mit einer Schädigung der Originalsubstanz möglich. Da es sich darüber hinaus um eine schadensanfällige Konstruktion, insbesondere hinsichtlich angrenzender Bauteile handelt, ist diese Maßnahme aus denkmalpflegerischer Sicht kritisch zu bewerten.

Die Wirksamkeit dieser Maßnahme ist vor allem bei vollständig gasdichter Ausführung gegeben. Diese Anforderung ist jedoch im Bestand nur mit erhöhtem Aufwand herstellbar. Zudem handelt sich um eine sehr schadensanfällige Konstruktion, welche beispielsweise leicht durch Bohrungen oder anderen Installationen perforiert werden kann.

Bauliche Belange	Denkmalpflegerische Belange	Beurteilung der Wirksamkeit
<ul style="list-style-type: none"> - mittlerer baulicher Aufwand - eingeschränkte Nutzbarkeit der Räume während der Baumaßnahmen - dauerhafte Durchfeuchtung der erdberührenden Bauteile kaum zu vermeiden 	<ul style="list-style-type: none"> + keine optische Beeinträchtigung des äußeren Erscheinungsbildes - Originalsubstanz der erdberührenden Bauteile nicht mehr sichtbar 	<ul style="list-style-type: none"> + bei gasdichter Ausführung sehr wirksam - komplett gasdichte Ausführung im Bestand schwierig - sehr schadensanfällig (z. B. durch Perforationen)

Tabelle 7: Beurteilung der Maßnahme „Wannenförmige Abdichtung (innen liegend)“

Beachte: Innenliegende Abdichtungen können Feuchteschäden aufgrund von kapillarem Wasseranstieg in den Außenwandquerschnitten zur Folge haben und werden daher nur für entsprechend vertretbare Einzelfälle empfohlen!

4.3.3 Abdichtung konvektiver Eintrittspfade

Das Abdichten von konvektiven Eintrittspfaden hat zum Ziel, den Eintritt von radonhaltiger Bodenluft in ein Gebäude mittels Konvektion zu verringern bzw. zu verhindern. Mögliche Eintrittspfade sind dabei überwiegend im Übergangsbereich zwischen unterschiedlichen Bauteilen zu finden, beispielsweise zwischen Bodenplatten und aufgehenden Wänden bzw. Bauteildurchführungen. Es können aber auch Risse bzw. Fehlstellen innerhalb einer Konstruktion vorliegen, welche den konvektiven Transport der Bodenluft begünstigen.

Diese Undichtheiten sollten im Zusammenhang mit der notwendigen baulichen Diagnose messtechnisch festgestellt und anschließend verschlossen werden. Punktuelle oder linienförmige Eintrittspfade können mittels Injektionen eines Abdichtungstoffes (drucklos bzw. unter Druck) verschlossen werden. Dabei ist auf die Fähigkeit des verwendeten Materials zur Rissüberbrückung bei Rissrandbewegungen zu achten. Zur gasdichten Abdichtung von Bauteildurchführungen kann auf eine Vielzahl an Produktlösungen, wie beispielsweise Fest-Los-Flansch-Konstruktionen, Ringraumdichtungen oder Mehrsparten-Bauteildurchführungen, zurückgegriffen werden. Der nachträgliche Einbau einer solchen gasdichten Bauteildurchführung ist jedoch nur in Ergänzung zu flächigen Abdichtungsmaßnahmen sinnvoll.

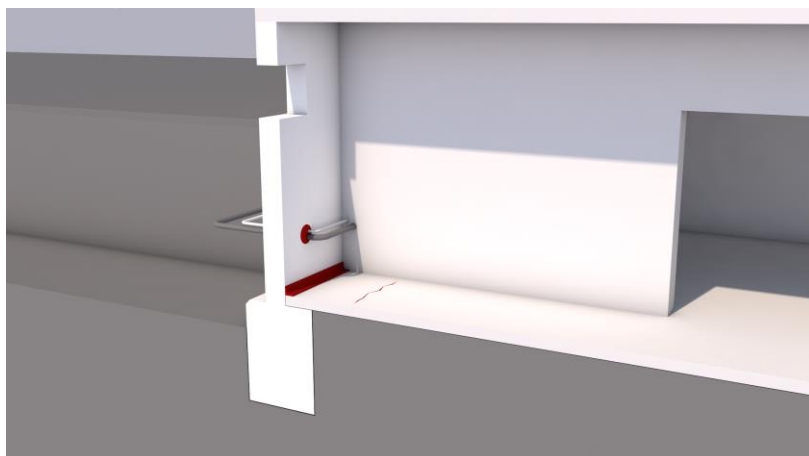


Abbildung 13: Abdichtung konvektiver Eintrittspfade

Ein Vorteil dieser Maßnahme liegt darin, dass für punktuelle bzw. lineare Abdichtungsmaßnahmen kein baulicher Eingriff notwendig ist und das äußere Erscheinungsbild optisch nicht beeinträchtigt wird. Jedoch ist diese Maßnahme bei höherwertigen Bodenbelägen (z. B. Parkett) nicht umsetzbar. Aus denkmalpflegerischer Sicht ist zudem negativ zu bewerten, dass diese Maßnahmen in der Regel nicht mit Originalmaterialien umgesetzt werden können und der gegebenenfalls geschützte Innenraum in Teilbereichen optisch verändert bzw. beeinträchtigt wird.

Da die Wirksamkeit dieser Maßnahmen auf einen sehr geringen Teilbereich begrenzt ist, sind sie in der Regel als Einzelmaßnahmen nicht ausreichend. Jedoch bilden sie in den meisten Fällen eine sinnvolle Ergänzung zu weiteren Radonschutzmaßnahmen im Bestand.

Bauliche Belange	Denkmalpflegerische Belange	Beurteilung der Wirksamkeit
<ul style="list-style-type: none"> + kein baulicher Eingriff / schnelle Umsetzbarkeit - Umsetzbarkeit nur bei untergeordneter Nutzung möglich (keine hochwertigen Bodenbeläge) 	<ul style="list-style-type: none"> + keine optische Beeinträchtigung des äußeren Erscheinungsbildes - optische Veränderung / Beeinträchtigung des Innenraumes in Teilbereichen - i. d. R. nicht mit Originalmaterialien umsetzbarer 	<ul style="list-style-type: none"> + als Einzelmaßnahme in der Regel nicht ausreichend

Tabelle 8: Beurteilung der Maßnahme „Abdichtung konvektiver Eintrittspfade“

4.4 Lüftungstechnische Maßnahmen

4.4.1 Punktuelle Bodenluftabsaugung unter bzw. neben dem Gebäude (Radonbrunnen)

Eine Möglichkeit, den konvektiven Zustrom von radonhaltiger Bodenluft ins Gebäudeinnere zu verringern bzw. zu verhindern, ist die Erzeugung eines Unterdrucks im gebäudenahen Erdreich, da so das Druckgefälle zwischen Innenraum und Erdreich verringert oder bestenfalls umgekehrt wird. Ein Unterdruck im gebäudenahen Erdreich kann durch punktuelle Absaugung der Bodenluft, einen so bezeichneten Radonbrunnen, in der Regel mit mechanischer Unterstützung eines Rohrventilators erzielt werden. Dieser kann unterhalb des Gebäudes, aber auch außerhalb der Gebäudehülle angeordnet werden. Mögliche Varianten der Anordnung und deren wahrscheinliche Wirksamkeit sind in SMEKUL 2020 enthalten.

Da es sich hierbei um einen punktuellen baulichen Eingriff handelt, kann diese Maßnahme mit relativ moderaten baulichen Aufwendungen und Kosten hergestellt werden. Auch bereits vorhandene Schächte, beispielsweise Pumpen- oder Sickerschächte, lassen sich zu einem Radonbrunnen umfunktionieren. Besonderes Augenmerk muss jedoch auf der gasdichten Abdichtung der möglicherweise notwendigen Bauteildurchführungen geachtet werden.

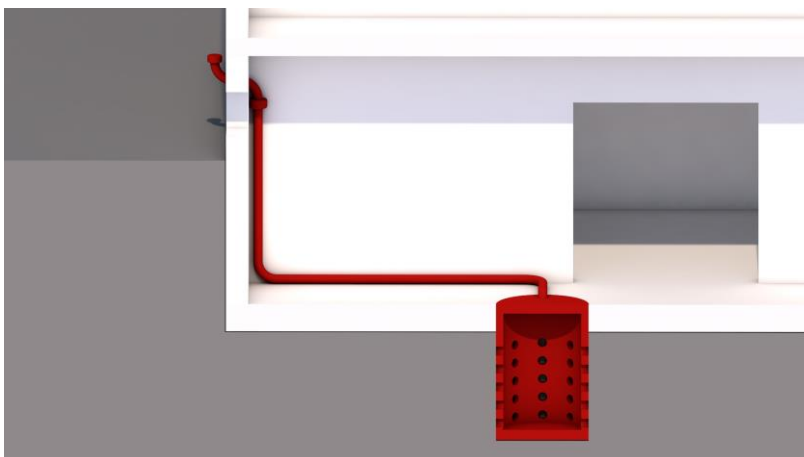


Abbildung 14: Darstellung eines Radonbrunnens unter dem Gebäude

Die Möglichkeit, einen solchen Radonbrunnen neben dem Gebäude auszuführen, bietet aus denkmalpflegerischer Sicht den Vorteil, dass die Maßnahme ohne bzw. mit geringem Eingriff in die Bausubstanz umgesetzt werden kann. Bei einer Ausführung unterhalb eines Gebäudes ist es jedoch notwendig, die bestehende Fußbodenkonstruktion punktuell aufzubrechen. Darüber hinaus wird die angesaugte, radonhaltige Bodenluft über Rohrleitungen an die Außenluft abgegeben. Hierfür sind eventuell Außenwand-/ Decken- sowie Dachdurchbrüche nötig und die Leitungsführung kann das optische Erscheinungsbild des Innenraums beeinträchtigen. Durch eine geschickte Anordnung des Radonbrunnens können diese unerwünschten Eingriffe in die Denkmalsubstanz reduziert werden.

Die Wirksamkeit dieser Maßnahme wird maßgeblich von der Permeabilität des Bodens bestimmt. Ist der vorhandene Boden ausreichend permeabel, so stellt sich ein hoher Unterdruck im Erdreich ein und es wird eine sehr hohe Wirksamkeit erreicht. Bei weniger permeablen Böden kann durch die Anordnung weiterer Radonbrunnen ebenso eine hohe Wirksamkeit erzielt werden. Jedoch ist zu beachten, dass es bei schwach wasserdurchlässigen Böden infolge reduzierter Bodenfeuchte aufgrund der Absaugung zu Setzungsprozessen kommen kann. Darüber hinaus kann die Wirksamkeit auch durch zeitweiliges Stauwasser reduziert werden.

Bauliche Belange	Denkmalpflegerische Belange	Beurteilung der Wirksamkeit
<ul style="list-style-type: none"> + punktueller baulicher Eingriff - ausreichend luftdurchlässige Bodenschicht am Standort erforderlich 	<p><u>Bei Ausführung neben Gebäude</u></p> <ul style="list-style-type: none"> + Umsetzung ohne bzw. mit geringen Eingriffen im Gebäude möglich <p><u>Bei Ausführung im Gebäude</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Punktueller Aufbrechen der Fußbodenkonstruktion im Kellergeschoss - Abführung der Bodenluft notwendig, daraus resultieren evtl. Außenwand-/ Decken-/ Dachdurchbrüche oder Veränderungen der vorhandenen Fensteröffnungen 	<ul style="list-style-type: none"> + bei ausreichend permeablen Böden sehr wirksam - stark abhängig von der Permeabilität des Bodens (bestimmt die Anzahl notwendiger Radonbrunnen) - Stauwasser im Baugrund kann Effektivität reduzieren

Tabelle 9: Beurteilung der Maßnahme „Punktueller Bodenluftabsaugung unter bzw. neben dem Gebäude“

4.4.2 Flächige Bodenluftabsaugung unter dem Gebäude (Radondrainage)

Bei der flächigen Bodenluftabsaugung unterhalb des Gebäudes wird derselbe Wirkmechanismus wie beim Radonbrunnen genutzt: mit Hilfe der Absaugung von Bodenluft wird ein Unterdruck im angrenzenden Erdreich erzeugt. Jedoch wird bei dieser Maßnahme die Bodenluft flächig unterhalb des Fußbodenaufbaus über perforierte Sammelrohre aus einer Schotterschicht abgesaugt. Für den Einbau dieser Maßnahme ist folglich der Rückbau des Fußbodenaufbaus bis zum Planum notwendig. Dies stellt einen erheblichen baulichen Aufwand dar, welcher nur in kombinierter Ausführung mit weiteren notwendigen Sanierungsmaßnahmen reduziert werden kann. Bei einer vorhandenen Plattengründung im Bestand ist die Ausführung dieser Maßnahmen mit vertretbarem Aufwand nicht umsetzbar.

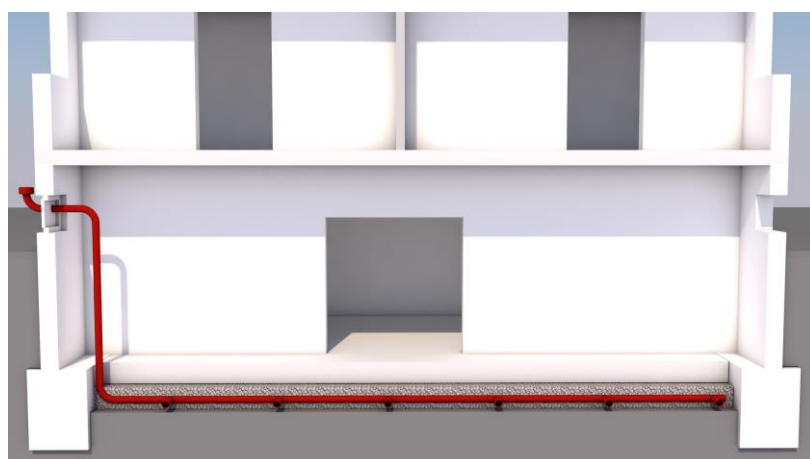


Abbildung 15: Prinzipskizze einer Radondrainage

Insbesondere der Abbruch und der Verlust der bestehenden Fußbodenkonstruktion ist aus denkmalpflegerischer Sicht als kritisch zu bewerten. Wie bei einem Radonbrunnen bestehen negative Aspekte hinsichtlich der Rohrführung zum Abführen der angesaugten, radonhaltigen Bodenluft (siehe Abschnitt 4.4.1).

Insgesamt handelt es sich hierbei um eine effektive Maßnahme, auch bei sehr hohen Radonaktivitätskonzentrationen in der Bodenluft. Im Vergleich zum Radonbrunnen ist es hierbei vorteilhaft, dass die Bodenluft aus der eingebrachten Schotterschicht abgesaugt wird und somit die Wirksamkeit nicht von der Permeabilität des Bodens abhängt. Jedoch kann auch hier die Wirksamkeit durch zeitweises Stauwasser eingeschränkt sein.

Bauliche Belange	Denkmalpflegerische Belange	Beurteilung der Wirksamkeit
<ul style="list-style-type: none"> - hoher baulicher Aufwand - Nutzungsunterbrechung erforderlich - ggf. in Kombination mit weiteren notwendigen Sanierungsmaßnahmen ausführbar - Luftabführung im oder außerhalb des Gebäudes 	<ul style="list-style-type: none"> - Abbruch und Verlust der bestehenden Fußbodenkonstruktion - Abführung der Bodenluft notwendig, daraus resultieren evtl. Außenwand-/ Decken-/ Dachdurchbrüche oder Veränderungen der vorhandenen Fensteröffnungen 	<ul style="list-style-type: none"> + sehr effektive Maßnahme - Stauwasser im Baugrund kann Effektivität reduzieren

Tabelle 10: Beurteilung der Maßnahme „Flächige Bodenluftabsaugung unter dem Gebäude“

4.4.3 Absaugung radonhaltiger Luft im Gebäude

Eine weitere Maßnahme, welche das Wirkprinzip der Druckdifferenzen zwischen Innenraum und angrenzenden Bereichen nutzt, ist die Absaugung radonhaltiger Luft im Gebäude. Im Vergleich zu den beiden vorher beschriebenen Maßnahmen befindet sich hier jedoch die durchgängige, erdberührende Luftschicht, aus welcher radonhaltige Luft abgesaugt wird, innerhalb des Gebäudes. Beispielsweise können hierfür vorhandene Hohlräume (z. B. Kriechkeller) oder Lufträume innerhalb der Fußbodenkonstruktion (z. B. bei Dielung auf Lagerhölzern) genutzt werden. Durch die Absaugung der radonhaltigen Luft entsteht im Vergleich zur Innenraumluft ein Unterdruck in dieser Schicht. Um ein Einströmen radonhaltiger Luft in die genutzten Räume zu verhindern, ist ein ausreichend luftdichter Abschluss zwischen der Luftschicht und dem Innenraum notwendig. Dabei sollte der Luftvolumenstrom am Ventilator gering gewählt werden, um eine übermäßige Auskühlung im Winter zu vermeiden und möglichen Kondensatschäden an Bauteilen (Fußboden kühlt durch Luftabsaugung aus, Feuchtigkeit der warmen Innenraumluft fällt an kühlen Bauteiloberflächen als Kondensat aus) zu verhindern.

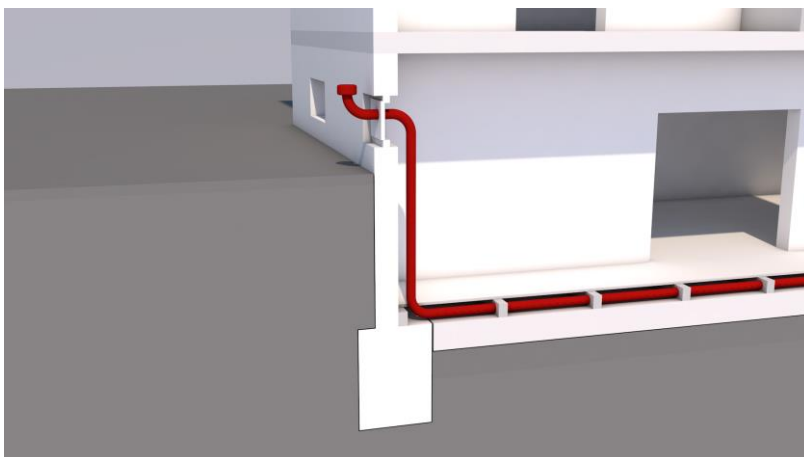


Abbildung 16: Schematische Darstellung einer Unterbodenabsaugung

Da für diese Maßnahme wiederum radonhaltige Luft abgeführt werden muss, ist auch hier die notwendige Leitungsführung mit der Denkmalpflege abzustimmen. Darüber hinaus sind gegebenenfalls bauliche Veränderungen in Form von Außenwand-, Decken- bzw. Dachdurchbrüchen oder Veränderungen an den vorhandenen Fensteröffnungen notwendig.

Auch diese Maßnahme kann sehr wirksam sein, um die Radonaktivitätskonzentration in Gebäuden zu reduzieren. Jedoch ist die Wirksamkeit stark von den jeweiligen Gegebenheiten am Gebäude, wie Größe und Lage der zu aktivierenden Hohlräume, abhängig. Vorteilhaft im Vergleich zu den beiden zuvor beschriebenen Maßnahmen ist ihre Anwendbarkeit auch beim zeitweiligen Vorliegen von Stauwasser.

Bauliche Belange	Denkmalpflegerische Belange	Beurteilung der Wirksamkeit
<ul style="list-style-type: none"> - Nutzung von vorhandenen Hohlräumen im Gebäude (Zwischenböden oder ungenutzte, erdberührte Räume) - Erhöhung der Schadensanfälligkeit der Bauteile durch Kondensatproblematik - Luftabführung im Gebäude notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> - Abstimmungsbedarf der Leitungsführung - ggf. sind Außenwand-/ Decken-/ Dachdurchbrüche oder Veränderungen der vorhandenen Fensteröffnungen notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> - stark abhängig von der Größe und Lage der vorhandenen Hohlräume

Tabelle 11: Beurteilung der Maßnahme „Absaugung radonhaltiger Luft im Gebäude“

4.4.4 Aktive Gebäudelüftung

Neben den bereits beschriebenen Maßnahmen können Lüftungsanlagen zur aktiven Gebäudelüftung zum Schutz vor zu hohen Radonaktivitätskonzentrationen im Gebäude beitragen. Durch das Erzeugen eines geringen Überdrucks im Gebäude mittels Zuluftanlage, wird dem konvektiven Eintritt radonhaltiger Luft in ein Gebäude entgegengewirkt. Hierfür ist jedoch die Einhaltung von Mindestanforderungen hinsichtlich der Gebäudedichtheit notwendig. Bei Bestandgebäuden mit offensichtlichen Undichtigkeiten sind deshalb zur Erfüllung dieser Anforderungen weitere Maßnahmen notwendig. Durch die Verwendung eines Lüftungssystems mit Zu- und Abluft wird mittels Gleichdrucksystem die Luftwechselrate im Gebäude erhöht und somit die Radonaktivitätskonzentration in der Raumluft durch Verdünnung reduziert. Diese Anlagen können entweder zentral im Gebäude oder dezentral in einzelnen Räumen installiert werden. Aus energetischen Gründen sind dabei immer Anlagen mit Wärmerückgewinnung zu bevorzugen. Insgesamt ist für diese Maßnahme stets der Einbau von Anlagen der technischen Gebäudeausstattung notwendig, deren Komplexität und Umfang insbesondere bei zentralen Anlagen mit der Größe bzw. der Komplexität des Gebäudes ansteigen.

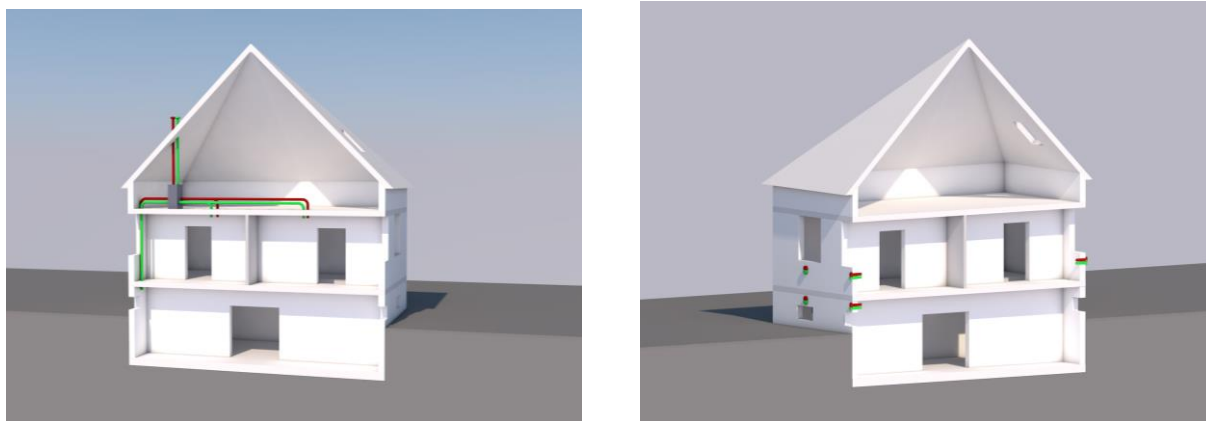


Abbildung 17: Schematische Darstellung einer zentralen Lüftungsanlage mit Zuluftsystem (links) bzw. raumweise dezentrale Lüftungsanlagen mit Zu- und Abluft

Wie bei allen anderen Lüftungstechnischen Maßnahmen ist auch bei dieser Maßnahme die notwendige Leitungsführung mit der Unteren Denkmalschutzbehörde abzustimmen. Darüber hinaus benötigen die Großgeräte für zentrale Lüftungsanlagen einen Aufstellort. Die erforderlichen Außenwand-, Decken- sowie Dachdurchbrüche stellen ernsthafte bauliche Eingriffe in die denkmalgeschützte Substanz dar.

Die Wirksamkeit dieser Maßnahme kann ja nach Ventilatorleistung als hoch bewertet werden. Jedoch sind mit dieser hohen Wirksamkeit bei Anlagen ohne Wärmerückgewinnung gleichzeitig Wärmeverluste und zunehmender Stromverbrauch verbunden. Darüber hinaus sind die laufenden Betriebs- sowie erforderlichen Wartungskosten und die eventuelle Geräuschbelästigung durch die Lüftungsanlage zu berücksichtigen.

Bauliche Belange	Denkmalpflegerische Belange	Beurteilung der Wirksamkeit
<ul style="list-style-type: none"> - Einbau von TGA-Anlagen notwendig - Integration von Wärmerückgewinnung aus energetischer Sicht sinnvoll - Komplexität und Umfang der TGA-Anlagen wächst mit Größe bzw. Komplexität des Gebäudes 	<ul style="list-style-type: none"> - denkmalpflegerischer Abstimmungsbedarf der Leitungsführung sowie der Aufstellung von Großgeräten - Außenwand-/ Decken-/ Dachdurchbrüche oder Veränderungen der vorhandenen Fensteröffnungen sind notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Wirksamkeit bei gleichzeitig ansteigenden Wärmeverlusten und zunehmendem Stromverbrauch

Tabelle 12: Beurteilung der Maßnahme „Aktive Gebäudelüftung“

4.5 Zusammenfassung

Um für das jeweilige denkmalgeschützte Gebäude eine aus radonschutztechnischer und denkmalpflegerischer Sicht sinnvolle Maßnahme bzw. Maßnahmenkombination auszuwählen, sind vielfältige Aspekte, wie beispielsweise die Gefährdungssituation bezüglich Radon, die baulichen Gegebenheiten, denkmalpflegerische Belange sowie die zu erwartende Wirksamkeit, zu berücksichtigen und abzuwägen. Grundsätzlich stellen sowohl nachträgliche Abdichtungen als auch der nachträgliche Einbau von Lüftungsanlagen in denkmalgeschützten Objekten eine gängige Praxis dar.

Der Großteil der beschriebenen Maßnahmen ist mit Eingriffen in die Bausubstanz verbunden, weshalb sie im Zuge einer denkmalrechtlich Genehmigung zu prüfen sind. Darüber hinaus ist grundsätzlich eine planerische Abstimmung mit der Unteren Denkmalschutzbehörde notwendig, um objekt-konkrete Ausführungsdetails der Maßnahmen festzulegen. Eine grundlegende Ablehnung von einzelnen Maßnahmen zur Reduzierung der Radonaktivitätskonzentration im Gebäudeinneren aus Gründen des Denkmalschutzes ist zunächst nicht zu erwarten.

In Tabelle 13 sind nochmals alle beschriebenen Maßnahmen bezüglich der notwendigen Eingriffe in die Bausubstanz, der Effektivität der Maßnahmen und der zu erwartenden Kosten gegenübergestellt. Für die Bewertung der Kosten der einzelnen Maßnahmen zur Reduzierung der Radonaktivitätskonzentration wurden verschiedene Studien ausgewertet (KORA e.V.; Hodgson et al. 2011; Bühlow 2016; Köhne 2017).

Maßnahme		Eingriff in die Bausubstanz	Effektivität der Maßnahme	Kosten	Denkmalverträglichkeit
Konzeptionelle Maßnahmen	Erhöhung der Luftwechselrate durch freie Lüftung	-		-	-
	Beseitigung unterdruckinduzierender Elemente	✗		€	
	Räumliche Trennung von Gebäudebereichen	✗ - ✗✗		€€	
Abdichtungsmaßnahmen	Wannenartige Abdichtung (außen)	✗✗✗		€€€	
	Wannenartige Abdichtung (innen)	✗✗		€€	
	Abdichtung konvektiver Eintrittspfade	✗		€	
Aktive Gebäudelüftung	Punktueller Bodenluftabsaugung unter / neben dem Gebäude (Radonbrunnen)	✗	-	€	
	Flächige Bodenluftabsaugung unter dem Gebäude (Radondrainage)*	✗✗✗		€€€	
	Absaugung von radonhaltiger Luft im Gebäude (Hohlraum-, Unterbodenabsaugung)	✗ - ✗✗		€€	
	Aktive Gebäudelüftung	✗ - ✗✗		€€	

* in Verbindung mit einer Flächenabdichtung in der Fußbodenkonstruktion

Tabelle 13: Zusammenfassende Bewertung der vorgestellten Maßnahmen, geringer (✗) bis hoher (✗✗✗) baulicher Eingriff, geringe () bis hohe () Effektivität, geringe (€) bis hohe Kosten (€€€), denkmalverträglich () bis denkmalverträglich mit hohem Abstimmungsbedarf mit der Unteren Denkmalschutzbehörde ()

5 Empfohlenes Vorgehen zur Radonsanierung bei denkmalgeschützten Gebäuden



5.1 Übersicht

Im folgenden Abschnitt wird ein systematisiertes, schrittweises Vorgehen zur Radonsanierung bei denkmalgeschützten Gebäuden vorgestellt.

Das Schema soll als Hilfestellung dienen, alle relevanten Schritte im Hinblick auf die richtige Einschätzung der Randbedingungen, die korrekte Auswahl und Umsetzung der Maßnahmen und die Beachtung denkmalpflegerischer Grundsätze bei der Radonsanierung von denkmalgeschützten Gebäuden zu beachten.

In Einzelfällen ist es möglich, dass weitere Untersuchungsschritte erforderlich sind.

5.2 Erfassung des Ausgangszustandes

Baukonstruktive und haustechnische Bestandsaufnahme	Messtechnische Erfassung des Ausgangszustandes	Erfassung der Nutzung
Wie ist das Gebäude gegründet?	Analyse bereits vorhandener Messreihen zur Radonaktivitätskonzentration	Wie wird das Gebäude aktuell genutzt?
Wie ist der bauliche Zustand der erdberührten Bauteile?	Durchführung von weiteren, zeit-aufgelösten Messreihen mittels aktiver Messverfahren	Welche Nutzungen sind zukünftig geplant?
Welche Lüftungsmöglichkeiten bestehen?	Erkundung möglicher Radoneintrittspfade mittels Radon-Sniffing	
Welche Abdichtungsstrukturen sind vorhanden? Wie ist der bauliche Zustand dieser? Wie sind Durchdringungen ausgeführt?		
Sind weitere Sanierungsmaßnahmen mit mittelfristigem Horizont geplant?		
Was sind die wesentlichen Denkmaleigenschaften des Gebäudes?		

Zu Beginn der Analyse von Bestandsgebäuden sollten zu Anfang Messungen der Radonaktivitätskonzentration in Innenräumen vorgenommen werden. Oftmals werden Radonexperten zu Rate gezogen, nachdem Nutzer*innen oder Eigentümer*innen eigene Messungen in einem Objekt durchgeführt haben. Um die Messwerte richtig auszuwerten, muss zunächst in Erfahrung gebracht werden, unter welchen Bedingungen gemessen wurde. Dabei sind folgende Fragen zu klären:

- Nach welcher Methode wurde gemessen und welches Messgerät wurde verwendet?
- Über welchen Zeitraum hinweg wurde gemessen?
- Wurde in den gemessenen Räumen ein besonderes Lüftungsregime angewandt?
- Fand während der Messphase eine alltägliche Nutzung der Räume statt?

Sind noch keine Radonmessungen vorhanden oder reichen die Informationen zu bereits durchgeführten Messungen nicht aus, um die Radonbelastung ausreichend einschätzen zu können, müssen eigene Messungen durchgeführt werden. Hierfür bieten sich vor allem zeitaufgelöste Messungen mittels aktiven Messverfahren an, da aus ihnen bereits nach kurzer Zeit (ca. 2-4 Wochen) erste Erkenntnisse gewonnen werden können. Darüber hinaus können mittels Sniffing-Messungen konvektive Eintrittspfade ins Gebäude entdeckt werden. Wird eine erhöhte Radonaktivitätskonzentration festgestellt, ist das Gebäude genauer zu untersuchen.

Bei der baukonstruktiven und haustechnischen Bestandsaufnahme sollte grundsätzlich ein Fokus auf die in Abschnitt 2.6 aufgelisteten Gebäudemerkmale gelegt werden. Außerdem ist es ratsam, zu überprüfen, inwieweit mittelfristig andere Sanierungsmaßnahmen am Gebäude geplant sind und sich dabei ggf. Synergieeffekte erzielen lassen.

Bei Kulturdenkmalen ist es sinnvoll bereits zu Beginn des Sanierungsplanungsprozesses in Erfahrung zu bringen, welche wesentlichen Denkmaleigenschaften des Objektes ggf. zu Einschränkungen bei der Abgrenzung tauglicher Sanierungsmaßnahmen führen können.

5.3 Entwicklung eines Sanierungskonzeptes



Festlegung eines Schutzziels

Radon ist, in geringen Mengen, auch in der Außenluft vorhanden. Da sich die Ansammlung gewisser Radonaktivitätskonzentrationen im Innenraum nicht vermeiden lässt und es keinen absoluten Schutz vor Radon gibt, muss zu Beginn des Sanierungskonzeptes ein Schutzziel definiert werden.

Für Arbeitsplätze legt das Strahlenschutzgesetz den Referenzwert von 300 Bq/m³ als Jahresmittelwert fest. Es ist jedoch zu empfehlen, soweit möglich, einen niedrigeren Wert als Schutzziel anzustreben.

Für Räume, die keine Arbeitsplätze beherbergen oder eine geringe Nutzungszeit aufweisen, kann das Schutzziel auch höher definiert werden. Darüber hinaus kann für solche Fälle auch festgelegt werden, dass es sich bei dem Schutzziel nicht um den Jahresmittelwert, sondern um den Mittelwert während der Nutzungszeit oder um einen nicht zu überschreitenden Maximalwert handelt.

Auswahl geeigneter Maßnahmen

Der Ausgangspunkt für die Auswahl von Maßnahmen zur Reduzierung der Radonaktivitätskonzentration sollte die zu erzielende Wirksamkeit sein. Diese ergibt sich aus der Belastungssituation (Ist-Zustand) im Gebäude und dem definierten Schutzziel (Soll-Zustand).

Darüber hinaus sind einschränkende Randbedingungen am Objekt zu beachten. Bei impermeablen Böden ist damit zu rechnen, dass ein Radonbrunnen oder eine Radondrainage nicht den erhofften Effekt erzielen. Um nachträglich eine außenliegende Abdichtung am Gebäude herzustellen, müssen die Randbedingungen für eine Ausschachtung gegeben sein.

Die Kosten verschiedener Maßnahmen hängen stark von den Randbedingungen am Objekt ab. Der Bau eines Radonbrunnens oder die Installation einer dezentralen Lüftungsanlage sind in der Regel günstiger, als der Einbau einer Radondrainage oder eine nachträgliche Bauwerksabdichtung. Auch bei diesen Maßnahmen kann jedoch eine starke Kostenreduzierung erzielt werden, wenn sie im Zuge anderer Sanierungsmaßnahmen durchgeführt werden.

Für den Vergleich verschiedener Maßnahmen in Hinblick auf Kosten, Wirksamkeit und weitere Parameter kann Tabelle 13 genutzt werden.

Frühzeitige Abstimmung mit der Denkmalschutzbehörde

Nach einer Vorauswahl geeigneter Maßnahmen kann eine erste Abstimmung mit der zuständigen Unteren Denkmalschutzbehörde stattfinden. Dabei ist grundlegend zu klären, inwieweit die vorgeschlagene Maßnahme eine denkmalpflegerische Genehmigung erhält. Sollte es seitens der Denkmalschutzbehörden Einwände geben, die zu Einschränkungen der Maßnahme führen, muss überprüft werden, ob dadurch die Wirksamkeit der Maßnahme beeinträchtigt wird bzw. die Kosten drastisch erhöht werden. So kann es sein, dass die für eine aktive Lüftung des Gebäudes notwendigen Durchdringungen der Gebäudehülle nur auf der Rückseite eines Gebäudes hergestellt werden dürfen, um eine optische Veränderung der Fassade zu vermeiden. Dies kann dazu führen, dass ein dezentrales Lüftungskonzept nicht oder nur mit erheblichem Mehraufwand funktioniert.

Stimmt die Denkmalschutzbehörde den vorgeschlagenen Sanierungsmaßnahmen zu, kann mit deren Vorbereitung und Umsetzung begonnen werden.

5.4 Umsetzung des Sanierungskonzeptes

Qualitätssicherung der Baumaßnahme

Klare Kommunikation der denkmalpflegerischen Anforderungen an die ausführenden Gewerke

Denkmalgerechte Dokumentation der umgesetzten Maßnahmen

Die Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen sollte zur Sicherung der gewünschten Bauqualität überwacht und begleitet werden.

Bei nachträglichen Abdichtungen an Bestandsgebäuden ist ein hohes Maß an planerischer Vorarbeit und Sorgfalt erforderlich, um eine Gasdichtheit der Abdichtung zu erreichen. Bei Lüftungstechnischen Maßnahmen bietet es sich an, den Effekt der Lüftung mit einer provisorischen Anlage zu erproben, bevor Bauteile geöffnet und Leitungen verlegt werden.

Zu den Grundsätzen der Denkmalpflege gehört die systematische Dokumentation von Änderungen, die am Denkmal vorgenommen werden. Dazu gehören unter anderem die Beschreibung der Maßnahmen, eine Fotodokumentation der Vor-, Zwischen- und Endzustände sowie Planunterlagen, die eine Lokalisierung der Maßnahmen ermöglichen. Genaue Anforderungen an die Dokumentation sind mit der Unteren Denkmalschutzbehörde abzustimmen. Darüber hinaus ist es Aufgabe der beteiligten Planer*in, die denkmalpflegerischen Anforderungen an die ausführenden Gewerke zu kommunizieren.

5.5 Messtechnische Erfolgskontrolle

Messtechnischen Erfolgskontrolle nach Abschluss der Sanierungsarbeiten unter üblichen Nutzungsbedingungen

Wiederholung der messtechnischen Erfolgskontrolle nach festgelegter Nutzungsphase

Nach Abschluss der Sanierungsmaßnahmen ist eine Erfolgskontrolle hinsichtlich der reduzierten Radonaktivitätskonzentrationen unerlässlich. Handelt es sich hierbei um einen Raum mit Arbeitsplatz, ist eine zwölfmonatige Validierungsmessung der Maßnahme zwingend erforderlich. Anderenfalls bietet sich eine Langzeitmessung über 6 – 12 Monate mittels Dosimeter unter üblichen Nutzungsbedingungen in den betroffenen Räumen an.

Es ist ratsam, die Erfolgskontrolle nach einem festgelegten Zeitraum (z. B. 3/5/10 Jahre) zu wiederholen, um die dauerhafte Wirksamkeit der Maßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen zu überprüfen.

5.6 Umsetzung des schrittweisen Vorgehens an Beispielgebäuden

Anhand von zwei Beispielgebäuden wird nachfolgend auf die Arbeitsschritte „Baukonstruktive und haustechnische Bestandsaufnahme“ und „Auswahl geeigneter Maßnahmen“ des schrittweisen Vorgehens zur Minderung der Radonaktivitätskonzentration in denkmalgeschützten Gebäuden eingegangen. Es handelt sich hierbei um anonymisierte Gebäude, in welchen eine deutlich erhöhte Radonaktivitätskonzentration im Innenraum vorliegt.

5.6.1 Beispieltyp 1 – Ländlich geprägte Wohnhäuser der Bauzeit vor 1870



Abbildung 18: Ländlich geprägte Wohnhäuser der Bauzeit vor 1870, Bild links: Jörg Hempel, lizenziert unter [CC BY-SA 2.0 de](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/de/)

Beim ersten Beispieltyp handelt es sich um freistehende Umgebinderhäuser mit einer Doppelstubenkonstruktion im Erdgeschoss und einer Fachwerkkonstruktion im Obergeschoss. Das Objekt wurde in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts errichtet. Unter der nördlichen Blockstube befindet sich ein Teilkeller mit Natursteingewölbe. Im Erdgeschoss bestehen die Wände aus den originalen Blockbohlen. Diese wurden im Innenraum des Gebäudes und am südlichen Giebel mit einer vorgesetzten Holzschalung versehen. Die Blockstuben werden von den Umgebinder umrandet. Weitere baukonstruktive Besonderheiten sind in Tabelle 14 zusammengefasst. Die beiden Vollgeschosse und die Hälfte des Dachgeschosses werden als Wohnraum genutzt.

Baukonstruktion

Außenwände	KG: Natursteinmauerwerk EG: Blockbohlen, teilweise mit Holzschalung bekleidet, Wandstärke ~ 23 cm
Gründung	Einzelfundamente unter Umgebinder, historisch
Fußboden KG	Offene Fußbodenkonstruktion, Vollziegel in Sand- / Splittbett
Fußboden EG (erdberührend)	Schwimmender Zementestrich mit verschiedenen Bodenbelägen
Geschossdecken	Decke über KG: Natursteingewölbe Ecke über EG: Holzbalkendecke als Windelboden oder Einschubdecke
Fenster	Zweiflügelige Holzfenster mit Isolierverglasung
Dach	Satteldach, Biberschwanzdeckung
Abdichtung erdberührter Bauteile	im Kellergeschoss keine Abdichtungsstruktur erkennbar, flächige Horizontalabdichtung in Fußbodenkonstruktion im EG vorhanden
Kellerzugang	Zugang zur Teilunterkellerung über Treppe im Flur
Heizung	Gasbrennwerttherme mit Warmwasserbereitung im Erdgeschoss

Tabelle 14: Übersichtstabelle zu baukonstruktiven Besonderheiten des Beispielgebäudes

Maßnahme		Bauliche Umsetzbarkeit		Erwartete Effektivität	Kosten	Denkmalpflegerische Belange
I. Konzeptionelle Maßnahmen	I.1 Erhöhung der Luftwechselrate durch freie Lüftung	ja	ausreichend Fensterflächen vorhanden, Querlüftung möglich		-	-
	I.2 Beseitigung unterdruckinduzierender Elemente	ja	Einbau einer direkten Zuluft für Erdgasheizung im EG		€	Durchdringung der Gebäudehülle für Zuluft nötig, unauffällige Anordnung an der Gebäuderückseite möglich
	I.3 Räumliche Trennung von Gebäudebereichen	ja	Großteil der Nutzfläche im EG erdberührend, nur Abtrennung der Teilunterkellerung sinnvoll		€	Einbau einer zusätzlichen gasdichten Tür/Luke zum Keller erforderlich
II. Abdichtungsmaßnahmen	II.1 Wannenartige Abdichtung (außen)	nein	Im Bereich der Teilunterkellerung			
		ja	Rückbau des bereits wärmetechnisch ertüchtigten Fußbodens im EG notwendig, Kombination mit Maßnahme I.3 sinnvoll		€€€	Erneuerung des Fußbodens unproblematisch, da keine Originalsubstanz mehr vorhanden
	II.2 Wannenartige Abdichtung (innen)	Nicht zu empfehlen				
	II.3 Abdichtung konvektiver Eintrittspfade	ja	Fokus auf Boden-Wandanschlüsse, Durchdringungen sowie Risse		€	Umfang des zu erwartenden baulichen Eingriffs gering Optische Beeinträchtigung des Innenraums gering
III. Aktive Gebäudelüftung	III.1 Punktuelle Bodenluftabsaugung unter bzw. neben dem Gebäude (Radonbrunnen)	ja	Anordnung neben oder vorzugsweise unter dem Gebäude		€	Leitungen und Durchdringung der Gebäudehülle zur Abführung der radonhaltigen Luft notwendig (Radonbrunnen unter Gebäude) Öffnungsanordnung unauffällig an Giebelseite
	III.2 Flächige Bodenluftabsaugung unter dem Gebäude (Radondrainage)	ja	Rückbau des bereits wärmetechnisch ertüchtigten Fußbodens im EG notwendig, Kombination mit Maßnahme I.3 sinnvoll		€€€	Erneuerung des Fußbodens unproblematisch, da keine Originalsubstanz mehr vorhanden Leitungen und Durchdringung der Gebäudehülle zur Abführung der radonhaltigen Luft notwendig Öffnungsanordnung unauffällig an Giebelseite
	III.3 Absaugung von radonhaltiger Luft im Gebäude (Hohlraum-, Unterbodenabsaugung)	ja	Unterdruckerzeugung in Teilunterkellerung, nur in Kombination mit Maßnahme I.3 und II.3		€	Leitungen und Durchdringung der Gebäudehülle zur Abführung der radonhaltigen Luft notwendig Öffnungsanordnung unauffällig an Giebelseite
	III.4 Aktive Gebäudelüftung	ja	Dezentral		€€	Durchdringungen der Gebäudehülle zur Abführung der radonhaltigen Luft, unauffällige Anordnung schwer umsetzbar

Tabelle 15: Bewertung der Maßnahmen zur Reduzierung der Radonaktivitätskonzentration für das Beispielgebäude des Gebäudetyps „Landwirtschaftlich geprägtes Wohnhaus der Zeit vor 1870“, Vorzugsvarianten hinsichtlich baulicher Umsetzbarkeit, erwarteter Effektivität, Kosten und denkmalpflegerischen Belangen fett markiert

5.6.2 Beispieltyp 2 – Schulgebäude der erweiterten Gründerzeit



Abbildung 19: Schulgebäude der erweiterten Gründerzeit

Der zweite Beispieltyp bildet den Gebäudetyp „Schulgebäude der erweiterten Gründerzeit“ ab, welche zwischen 1870 und um 1900 in Massivbauweise errichtet worden und vollständig unterkellert sind. Die Kelleraußenwände bestehen aus regional verfügbaren Natursteinen. Die Außen- und Innenwände bestehen überwiegend aus Vollziegelmauerwerk. Die Wandstärke nimmt vom Kellergeschoss zum Dachgeschoss hin ab. Das Mindestmaß für die Außenwände beträgt 43 cm. Die Kellerdecke wird durch preußische Kappen gebildet. Die Außenfassade ist unter Einbeziehung historisierender Stilelemente verputzt oder mit Verblendklinker ausgeführt. Weiter baukonstruktive Besonderheiten sind in Tabelle 16 zusammengefasst. Im heutigen Zustand bietet das Schulhaus 12 Unterrichtsräume. Das Souterrain wird als Schulküche mit Speisesaal und Werkraum genutzt.

Baukonstruktion

Außenwände	Massiv, Mauerwerk KG: Natursteinmauerwerk, regional verfügbare Gesteinsarten EG: Vollziegelmauerwerk, beiseitig verputzt (ohne WDVS, keine Innendämmung), ggf. mit Verblendklinker
Gründung	Streifenfundamente aus Naturstein, Mauerwerk bzw. Beton
Fußboden KG	Estrich mit oberseitigem Fliesenbelag
Geschossdecken	Decke über KG: flach gewölbte Massivdecke (Kappendecke) Decke über EG: Holzbalkendecke als Einschubdecke, teilweise Massivdecke
Fenster	Isolierverglasung (2 Scheiben) mit Holzfensterrahmen, Sprossenfenster
Dach	Walmdach, Schieferdeckung
Abdichtung erdberührter Bauteile	Flächenabdichtung innerhalb der Fußbodenkonstruktion im KG i. d. R. nicht vorhanden, wirksame Vertikalabdichtung der erdberührten Kelleraußenwände (PMBC) oft vorhanden, mehrere Medieneinführungen (Wanddurchführung)
Kellerzugang	KG meist über offene Treppenhäuser erschlossen, teilweise Kelleraußenzugänge vorhanden
Heizung	Fernwärmeübergabestation und Warmwasserbereitung im KG

Tabelle 16: Übersichtstabelle zu baukonstruktiven Besonderheiten des Beispielgebäudes

Maßnahme		Bauliche Umsetzbarkeit		Erwartete Effektivität	Kosten	Denkmalpflegerische Belange
I. Konzeptionelle Maßnahmen	I.1 Erhöhung der Luftwechselrate durch freie Lüftung	ja	ausreichend Fensterflächen vorhanden, Querlüftung eingeschränkt möglich		-	-
	I.2 Beseitigung unterdruckinduzierender Elemente	nein	Abluftanlage in Schulküche zwingend erforderlich			
	I.3 Räumliche Trennung von Gebäudebereichen	nein	Hochwertige Nutzung im Großteil des Kellergeschosses			
II. Abdichtungsmaßnahmen	II.1 Wannenartige Abdichtung (außen)	ja	hoher baulicher Aufwand (Mauersägeverfahren, vollständige Erneuerung des Fußbodenaufbaus)		€€€	Eingriff in die Bausubstanz durch Mauersägeverfahren Erneuerung des Fußbodens unproblematisch, da keine Originalsubstanz mehr vorhanden
	II.2 Wannenartige Abdichtung (innen)	Nicht zu empfehlen				
	II.3 Abdichtung konvektiver Eintrittspfade	ja	Fokus auf Boden-Wandanschlüsse, Durchdringungen sowie Risse		€	Umfang des zu erwartenden baulichen Eingriffs gering Optische Beeinträchtigung des Innenraums gering
III. Aktive Gebäudelüftung	III.1 Punktueller Bodenluftabsaugung unter bzw. neben dem Gebäude (Radonbrunnen)	ja	Anordnung neben oder vorzugsweise unter dem Gebäude Mehrere Radonbrunnen aufgrund Grundrissfläche erforderlich		€	Leitungen und Durchdringung der Gebäudehülle zur Abführung der radonhaltigen Luft notwendig (Radonbrunnen unter Gebäude) Öffnungsanordnung unauffällig an Gebäuderückseite
	III.2 Flächige Bodenluftabsaugung unter dem Gebäude (Radondrainage)	ja	Erneuerung des Fußbodenaufbaus erforderlich (in Synergie mit Flächenabdichtung und wärmetechnischer Erhöhung möglich)		€€€	Erneuerung des Fußbodens unproblematisch, da keine Originalsubstanz mehr vorhanden Leitungen und Durchdringung der Gebäudehülle zur Abführung der radonhaltigen Luft notwendig Öffnungsanordnung unauffällig an Gebäuderückseite
	III.3 Absaugung von radonhaltiger Luft im Gebäude	nein				
	III.4 Aktive Gebäudelüftung	ja	Dezentral		€€	Mehrere Durchdringungen der Gebäudehülle zur Abführung der radonhaltigen Luft, möglichst unauffällige Anordnung
ja		Zentral¹ (Gleichdrucksystem)		€€€	Aufstellfläche für TGA nötig Leitungsführung im Gebäude	

¹ v.a. bei nachträglichen Maßnahmen am bereits sanierten Objekt

Tabelle 17: Bewertung der Maßnahmen zur Reduzierung der Radonaktivitätskonzentration für das Beispielgebäude des Gebäudetyps „Schulgebäude der erweiterten Gründerzeit“, Vorzugsvarianten hinsichtlich baulicher Umsetzbarkeit, erwarteter Effektivität, Kosten und denkmalpflegerischen Belangen fett markiert

6 Schlussbemerkung

Mit Inkrafttreten des Strahlenschutzgesetzes und der Ausweisung von Radonvorsorgegebieten bestehen erstmals rechtliche Regelungen für die Messung von Radon in Gebäuden sowie ggf. für die Ergreifung von Maßnahmen zum Radonschutz. Denkmalgeschützte Gebäude bleiben von diesen Regelungen nicht unberührt.

Eine besondere Herausforderung bildet der Radonschutz bei der Erhaltung, Instandsetzung und Veränderung von (historischen) Bestandsgebäuden. Insbesondere beim radonsicheren Sanieren von denkmalgeschützten Gebäuden sind meist vielfältige objektbezogene Randbedingungen zu beachten.

Da sowohl die nachträgliche Bauwerksabdichtung als auch der Einbau von Lüftungstechnik im denkmalgeschützten Bereich bereits gängige Praxis sind, lassen sich prinzipiell alle anerkannten Maßnahmen zur Senkung der Radonaktivitätskonzentration auch in denkmalgeschützten Gebäuden umsetzen. Neben baulichen Gegebenheiten, Kosten und der zu erwartenden Wirksamkeit sind zusätzlich denkmalpflegerische Aspekte bei der Wahl der geeigneten Maßnahme bzw. Maßnahmenkombination zu beachten. Letztere können dazu führen, dass einzelne Maßnahmen an bestimmten Objekten nicht oder nur mit deutlich höherem Aufwand als üblich umgesetzt werden können. Es ist unerlässlich, jegliche Maßnahmen, die einen Eingriff in die Bausubstanz oder eine optische Veränderung des Gebäudes zur Folge haben, mit der Unteren Denkmalschutzbehörde abzustimmen.

Es ist davon auszugehen, dass für einen Großteil der denkmalgeschützten Gebäude, in denen eine zu hohe Radonbelastung im Innenraum festgestellt wird, geeignete Maßnahmen zur Senkung der Radonaktivitätskonzentration gefunden und umgesetzt werden können.

7 Literaturverzeichnis

Bühlow, Philip (2016): Kosten von Radonschutzmaßnahmen im Neubau und der Gebäudesanierung. Diplomarbeit. HTW Dresden, Dresden. Bauingenieurwesen.

Bundesamt für Strahlenschutz (2019): Radon-Handbuch Deutschland.

Darby, S.; Hill, D.; Auvinen, A.; Barros-Dios, J. M.; Baysson, H.; Bochicchio, F. et al. (2005): Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. In: *BMJ* 330 (7485), S. 223. DOI: 10.1136/bmj.38308.477650.63.

SächsDSchG, vom 03.03.1993 (1993): Gesetz zum Schutz und zur Pflege der Kulturdenkmale im Freistaat Sachsen.

Hodgson; Zhang; Bradley; Green; McColl (2011): An Analysis of Radon Remediation Methods: Health Protection Agency - Centre for Radiation, Chemical and Environmental Hazards.

International Agency for Research on Cancer (1988): Man-made mineral fibres and radon. This publication represents the views and expert opinions of an IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, which met in Lyon, 16 - 23 June 1987. Lyon: IARC (IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, 43).

Köhne, Katharina (2017): Kostenermittlung und Kostenoptimierung von Radonschutzmaßnahmen im Neubau und bei der Gebäudesanierung. Diplomarbeit. Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Dresden. Bauingenieurwesen.

KORA e.V.: Fallbeispiel-Datenbank zum radonsicheren Bauen und Sanieren. Online verfügbar unter <http://www.koraev.de/html/datenbank1.html>.

Kreuzer, M.; Sobotzki, C.; Schnelzer, M.; Fenske, N. (2018): Factors Modifying the Radon-Related Lung Cancer Risk at Low Exposures and Exposure Rates among German Uranium Miners. In: rare 189 (2), S. 165–176. DOI: 10.1667/RR14889.1.

Menzler, Susanne; Schaffrath-Rosario, Angelika; Wichmann, H.-Erich; Kreienbrock, Lothar (2006): Abschätzung des attributablen Lungenkrebsrisikos in Deutschland durch Radon in Wohnungen. Landsberg: ecomed (Fortschritte in der Umweltmedizin).

Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (Hg.) (2020): Radonschutzmaßnahmen. Planungshilfe für Neu- und Bestandsbauten. Unter Mitarbeit von Michael Reiter, Hannes Wilke, Walter-Reinhold Uhlig.

Sächsisches Staatsministerium des Innern (SMI) (2013): Denkmale in Sachsen. Hinweise für Denkmaleigentümer I: Was ist Denkmalschutz? Dresden.

World Health Organization (2009): WHO handbook on indoor radon. A public health perspective. Geneva, Switzerland: World Health Organization. Online verfügbar unter <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK143216/>.

Herausgeber:

Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL)

Postfach 10 0510, 01075 Dresden

Bürgertelefon: +49 351 564-20500

E-Mail: info@smekul.sachsen.de

www.smekul.sachsen.de

Autoren:

Stefanie Kunze, Jakob Klever, Prof. Dr. Thomas Naumann, Dr. Sebastian Golz

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden

Friedrich-List-Platz 1, 01069 Dresden

Redaktion:

Referat Strahlenschutz, Gentechnik, Chemikalien

Telefon: +49 351 564-25430

Telefax: +49 351 564-25440

Dr. Michael Kirsten, Dr. Udo Lorenz, Dr. Ralf-Peter Pinkwart

Landesamt für Denkmalpflege, Abteilung Gebietsdenkmalpflege

Schlossplatz 1, 01067 Dresden

Gestaltung, Satz, Abbildungen:

Jakob Klever, Stefanie Kunze

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden

Titelfoto:

Peter Sebb, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden

Redaktionsschluss:

19. November 2021