



Bundesamt  
für Strahlenschutz

**Ressortforschungsberichte zum Strahlenschutz**

# Erarbeitung von DIN-Normen bzgl. baulicher Maßnahmen für den Radonschutz

**Vorhaben 3617S12250**

Dr. Joachim Kemski Sachverständigenbüro

Dr. J. Kemski  
Prof. Dr. W.-R. Uhlig

Das Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) und im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) durchgeführt.

Dieser Band enthält einen Ergebnisbericht eines vom Bundesamt für Strahlenschutz im Rahmen der Ressortforschung des BMU (Ressortforschungsplan) in Auftrag gegebenen Untersuchungsvorhabens. Verantwortlich für den Inhalt sind allein die Autoren. Das BfS übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte Dritter. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung ganz oder teilweise vervielfältigt werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der des BfS übereinstimmen.

### **Impressum**

Bundesamt für Strahlenschutz  
Postfach 10 01 49  
38201 Salzgitter

Tel.: +49 30 18333-0

Fax: +49 30 18333-1885

E-Mail: [ePost@bfs.de](mailto:ePost@bfs.de)

De-Mail: [epost@bfs.de-mail.de](mailto:epost@bfs.de-mail.de)

[www.bfs.de](http://www.bfs.de)

BfS-RESFOR-180/21

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokumentes immer auf folgende URN:

urn:nbn:de:0221-2021050526831

Salzgitter, Mai 2021

## **Abschlussbericht**

**Erarbeitung von DIN-Normen bzgl. baulicher Maßnahmen für den Radonschutz**

### **Los 1 „Radon“**

**(BfS-Forschungsvorhaben 3617S12250)**

**Kemski, J.; Uhlig, R.**

Forschungsnehmer: Dr. Joachim Kemski  
Sachverständigenbüro  
Euskirchener Straße 54  
53121 Bonn

unter Mitarbeit von: Prof. Dr. Walter-Reinhold Uhlig  
Freischützstraße 42  
01259 Dresden

Laufzeit: 01.12.2017 bis 30.11.2018

Berichtsdatum: 09.11.2019

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der Meinung der Auftraggeberin übereinstimmen.

## Zusammenfassung

Der Bericht umfasst vier Arbeitspakete:

- AP 1: Bewertung spezieller Fachinformationen (Normen i.e.S.)
- AP 2: Publikationen ohne normativen Charakter
- AP 3: Dauerhaftigkeit von Radonschutzmaßnahmen
- AP 4: Radondichtheit

Im **Arbeitspaket 1** wird zu Beginn ein Überblick über die Situation der aktuell gültigen Regelungen zum Radonschutz in europäischen Ländern gegeben. Dabei werden sowohl allgemeine Bauvorschriften mit Bezügen zum baulichen Radonschutz, Radonnormen als auch sonstige Veröffentlichungen aus dem öffentlichen Bereich erfasst. Ergänzt wird diese Zusammenstellung durch einen Überblick der Situation in Nordamerika.

Lediglich in drei Ländern (Österreich, Tschechien und Kanada) sind radonspezifische Baunormen eingeführt. In allen anderen betrachteten Ländern sind zumeist Regelungen zur Bestimmung des Radonbodenpotentials (in der Regel über sogenannte Radonkarten) für konkrete Örtlichkeiten eingeführt. Mehrere Länder (Belgien, Dänemark, England, Finnland, Irland, Norwegen, Schweiz, Tschechien) haben zudem mehr oder weniger ausführliche behördliche Veröffentlichungen zum baulichen Radonschutz herausgegeben, die zum Teil die fehlenden Baunormen kompensieren.

Im zweiten Teil des AP 1 werden die Radonnormen aus Österreich, Tschechien und Kanada ausführlich beschrieben und ausgewertet. Abschließend werden Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Erarbeitung der deutschen Radonnorm formuliert und wird auf nicht oder noch nicht befriedigend geklärte Aspekte hingewiesen.

Im **Arbeitspaket 2** werden ausgewählte nichtnormative Veröffentlichungen aus europäischen Ländern vorgestellt und ausgewertet. Dabei wurde die umfangreiche Fachliteratur zum Radonschutz gesichtet und hinsichtlich Relevanz für die DIN-Normenarbeit bewertet. Nicht in die Auswertung aufgenommen wurden Fachveröffentlichungen zu Teilfragen (z.B. zu gesundheitlichen Fragen, geologischen Einzelaspekten, regionalen Besonderheiten usw.) sowie zur Beispielvorstellung.

Es wurden für die Auswertung solche Veröffentlichung herangezogen, die für die Normungsarbeit besonders relevante Ergebnisse beinhalten. Die folgende Zusammenstellung gibt einen Überblick über die ausgewerteten Veröffentlichungen:

- Radonhandbuch Deutschland (2019)
- Radonhandbuch Schweiz (2000)
- Publikation BR 211 „Radon – Guidance on protective measures for new buildings“ (England, 2015)

- Broschürenreihe der Technischen Universität Prag (Tschechien) zum Radonschutz (2017)

Zum Thema der Dauerhaftigkeit von Radonschutzmaßnahmen, welches im **Arbeitspaket 3** untersucht wurde, konnten nur wenige europäische Ausarbeitungen herangezogen werden. So standen lediglich zwei umfangreiche Studien aus England (2011) und Schweden (2002) sowie eine Untersuchung zu speziellen Fallsituationen aus Österreich (1994) zur Verfügung. In den hier ausgewerteten Untersuchungen wurden verschiedene bauliche und Lüftungstechnische Sanierungslösungen betrachtet. Durch Radonmessungen vor und direkt nach der Sanierung sowie in Abständen von mehreren Jahren danach kann die Wirksamkeit der verschiedenen Lösungen sowie deren Dauerhaftigkeit beurteilt werden.

Bezüglich der Effizienz verschiedener Maßnahmen zeigte die Studie aus England signifikante Unterschiede zwischen verschiedenen Ansätzen. Insbesondere eine aktive Unterbodenabsaugung lieferte gute Ergebnisse. Wichtig ist die Erkenntnis, dass nicht immer – unabhängig von der gewählten Maßnahme – eine Unterschreitung des gewünschten Zielwertes zu erreichen war.

Insbesondere die schwedische Untersuchung hat mit 91 Beispielen, die sich auf 12 verschiedene Sanierungsvarianten verteilten, einen großen Umfang von Lösungen erfasst. Durch die Laufzeit der schwedischen Untersuchung von 10 Jahren konnten zudem zeitliche Veränderungen in der Wirksamkeit der Lösungen gut erfasst werden.

**Arbeitspaket 4** beschäftigt sich mit dem Thema „Radondichtheit“. Im Wesentlichen wird darunter die Eigenschaft von Materialien oder Bauprodukten verstanden, einen diffusiven Eintritt radonhaltiger Bodenluft aus dem Untergrund zu verhindern.

Eine Bewertung erfolgt in der Regel durch eine normbasierte Labormessung des Radondiffusionskoeffizienten bzw. daraus unmittelbar abgeleiteter Kennwerte. In Deutschland wird beispielsweise die Radondiffusionslänge als Kriterium herangezogen. Europaweit existieren aber unterschiedliche Verfahrensweisen zur Bewertung, die oftmals nicht unmittelbar miteinander zu vergleichen sind.

Aussagefähige Messreihen des Radondiffusionskoeffizienten existieren insbesondere aus Tschechien. Es zeigt sich, dass die Prüfgröße zwischen verschiedenen Produktgruppen um viele Größenordnungen schwanken und selbst innerhalb einer Gruppe noch erheblich variieren kann.

Neben einem (flächenhaften) diffusiven Radoneintritt ins Gebäude spielt in der Praxis der (lokale) konvektive Eintritt eine wichtige Rolle. Es wurde versucht, mit Hilfe des Gesetzes von Hagen-Poiseuille eine größenordnungsmäßige Abschätzung dieses Anteils vorzunehmen.

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
2	Bewertung spezieller Fachinformationen (Normen i.e.S.).....	3
2.1	Stand der Situation in anderen Ländern .....	3
2.1.1	Belgien .....	5
2.1.2	Dänemark .....	6
2.1.3	England.....	7
2.1.4	Finnland .....	9
2.1.5	Frankreich .....	10
2.1.6	Irland.....	11
2.1.7	Italien .....	12
2.1.8	Luxemburg .....	13
2.1.9	Norwegen.....	14
2.1.10	Österreich .....	14
2.1.11	Polen.....	14
2.1.12	Schweden .....	15
2.1.13	Schweiz.....	15
2.1.14	Spanien.....	18
2.1.15	Tschechien.....	18
2.1.16	Nordamerika .....	20
2.1.17	Zusammenfassung.....	20
2.2	Landesspezifische Normen .....	211
2.2.1	Österreich .....	21
2.2.1.1	Allgemeines .....	21
2.2.1.2	Inhaltsübersicht und Gliederung der Norm.....	21
2.2.1.3	Methodik der Auswertung .....	23
2.2.1.4	Grundlagen und Begriffe.....	23
2.2.1.5	Radonmessungen.....	23
2.2.1.6	Bautechnische Vorsorgemaßnahmen (Radongeschützter Neubau).....	25
2.2.1.7	Sanierungsmaßnahmen an Gebäuden .....	28
2.2.1.8	Gesamtbewertung und Schlussfolgerungen für die Erarbeitung der DIN-Norm...31	

2.2.2	Czech Technical Standard ČSN 73 0601 „PROTECTION OF BUILDINGS AGAINST RADON FROM THE SOIL“ (Schutz von Gebäuden gegen Radon aus dem Erdreich) .....	32
2.2.2.1	Allgemeines .....	32
2.2.2.2	Inhaltsübersicht und Gliederung .....	32
2.2.2.3	Festlegung der geeigneten Radonschutzmaßnahmen in der ČSN-Norm 73060 .....	32
2.2.2.4	Überblick über die in der Norm erläuterten Radonschutzmaßnahmen .....	35
2.2.2.5	Ausbildung der erdberührten Gebäudehülle.....	35
2.2.2.6	Ausbildung der Abdichtung der erdberührten Gebäudehülle .....	36
2.2.2.7	Unterbodenlüftungssysteme .....	38
2.2.2.8	Belüftungsschichten innerhalb der erdberührten Gebäudehülle .....	41
2.2.2.9	Nutzung von Kriechkellern für die Absaugung von Bodenluft.....	42
2.2.2.10	Radonschutz in Gebäuden, in denen die erdberührte Gebäudehülle nicht an für Wohn- und Arbeitszwecke genutzte Räume grenzt .....	43
2.2.2.11	Kombination von Luftdichtheit der erdberührten Gebäudehülle und Zwangslüftung .....	44
2.2.2.12	Ausbildung von Durchdringungen .....	44
2.2.2.13	Materialien für die radonsichere Abdichtung .....	44
2.2.2.14	Überprüfung der Wirksamkeit von radonreduzierenden Maßnahmen .....	45
2.2.2.15	Dauerhaftigkeit .....	46
2.2.2.16	Anhänge .....	46
2.2.2.17	Gesamtbewertung und Schlussfolgerungen für die Erarbeitung der DIN-Norm...47	
2.2.3	Kanadische Norm CAN/CGsB-14.12-2017 „Radon mitigation options for existing low-rise residential buildings“ (Reduzierung der Radonkonzentration in kleinen bestehenden Wohngebäuden) .....	51
2.2.3.1	Allgemeines .....	51
2.2.3.2	Inhaltsübersicht und Gliederung .....	51
2.2.3.3	Einführungsabschnitt .....	51
2.2.3.4	Übersicht über die erfassten und beschriebenen Lösungen.....	53
2.2.3.5	Druckreduzierung unter der Bodenplatte .....	53
2.2.3.6	Bodenluftabsaugung unterhalb einer Membran .....	55
2.2.3.7	Absaugung unter Einbezug eines bestehenden Entwässerungssystems.....	55
2.2.3.8	Maßnahmen für Neubauten .....	55

2.2.3.9	Senkung der Radonkonzentration in der Raumluft durch Belüftungsmethoden...	56
2.2.3.10	Abdichtungen von Eintrittswegen.....	56
2.2.3.11	Kennzeichnung, Inspektion und Prüfung.....	56
2.2.3.12	Anhänge .....	57
2.2.3.13	Gesamtbewertung und Schlussfolgerungen für die Erarbeitung der DIN-Norm...	58
2.2.4	Gesamtbewertung der erfassten Normen unter dem Blickwinkel einer Nutzung einzelner Inhalte für die DIN-Normungsarbeit.....	58
2.2.4.1	Ansatz und Überblick .....	58
2.2.4.2	Übersicht über Aufbau und Inhalt der Normen .....	59
2.2.4.3	Planungs- und Bauablauf von Radonschutzmaßnahmen.....	60
2.2.4.4	Radonmessungen.....	64
2.2.4.5	Ausgangswerte zur Planung und Bauausführung .....	66
2.2.4.6	Kontrolle des Erfolges einer Radonschutzmaßnahme .....	67
2.2.4.7	Berücksichtigung der Quellen für die Radonbelastung in Räumen.....	69
2.2.4.8	Luftaustausch Raumluft mit Außenluft .....	70
2.2.4.9	Berechnungen in den Normen .....	70
2.2.4.10	Überblick über die in den Normen aufgenommenen Lösungen.....	73
2.2.4.11	Ausbildung der erdberührten Gebäudehülle.....	75
2.2.4.12	Abdichtung der erdberührten Gebäudehülle .....	76
2.2.4.13	Unterdrucklösungen.....	78
2.2.4.14	Weitere Lösungen.....	82
2.2.5	Offene Fragen und Hinweise auf weitere Untersuchungen.....	85
3	Publikationen ohne normativen Charakter .....	86
3.1	Allgemeines .....	86
3.2	Beschreibung möglicher Maßnahmen .....	88
3.2.1	Radonprävention.....	88
3.2.2	Radonsanierung.....	89
3.3	Beispiele .....	89
3.3.1	Deutschland .....	89
3.3.2	Schweiz.....	91
3.3.3	England.....	95
3.3.4	Tschechien.....	100

3.3.4.1	Überblick über die Publikationen.....	100
3.3.4.2	Arbeitsmappe O: Wahl der Radonschutzmaßnahmen .....	101
3.3.4.3	Arbeitsmappe C: Berechnungen nach CSN 73 0601 .....	103
3.3.4.4	Arbeitsmappe I: Radonschutz .....	104
3.3.4.5	Arbeitsmappe D: Radondiffusionskoeffizienten .....	106
3.3.4.6	Arbeitsmappe P: Untergrundbelüftungssysteme .....	106
3.3.4.7	Arbeitsmappe M: Lüftungsschichten .....	108
3.3.4.8	Arbeitsmappe S R N A: Elemente von Radonschutzsystemen.....	109
3.3.4.9	Arbeitsmappe G: Baumaterialien als Radonquelle und Gammastrahlung .....	112
3.3.4.10	Arbeitsmappe V: Lüftungssysteme in Wohngebäuden .....	115
3.4	Zusammenfassende Bewertung .....	117
4	Dauerhaftigkeit von Radonschutzmaßnahmen .....	119
4.1	Effizienz von Radonschutzmaßnahmen .....	120
4.2	Schwedische Studie „Langzeitwirkung verschiedener Radonsanierungsmethoden in Schweden“ .....	130
4.2.1	Einführung.....	130
4.2.2	Überblick über das Untersuchungsprogramm .....	130
4.2.3	Auswertung der schwedischen Untersuchungen .....	132
4.2.3.1	Vorgehensweise .....	132
4.2.3.2	Gruppe 1: Einbau eines mechanischen Abluftsystems (zum Teil mit Wärmepumpe gekoppelt) .....	132
4.2.3.3	Gruppe 2: Installation eines mechanischen Zu- und Abluftsystems .....	134
4.2.3.4	Gruppe 3: Abdichtung der Fußbodenkonstruktion über einem unter dem Gebäude befindlichen Kriechkeller .....	134
4.2.3.5	Gruppe 4: Abdichtung von Leckstellen / Radoneintrittspfaden an der Bodenplatte und an den erdberührten Außenwänden .....	135
4.2.3.6	Gruppe 5: Installation eines Luftkissensystems unterhalb der Bodenplatte .....	136
4.2.3.7	Gruppe 6: Kombination eines Abluftsystems mit der Abdichtung von Leckstellen / Radoneintrittspfaden an der Bodenplatte und an den erdberührten Außenwänden .....	137
4.2.3.8	Gruppe 7: Kombination eines Zu- und Abluftsystems mit Wärmerückgewinnung und der Absaugung der Luft unter dem Gebäude.....	137
4.2.3.9	Gruppe 8: Kombination eines Abluftsystems mit gleichzeitiger Absaugung von Bodenluft unter dem Gebäude .....	138

4.2.3.10	Gruppe 9: Punktuelle Absaugung der Bodenluft unter dem Gebäude .....	138
4.2.3.11	Gruppe 10: Einbau eines Radonbrunnens .....	139
4.2.3.12	Gruppe 11: Verbesserung der natürlichen Belüftung der Räume .....	141
4.2.3.13	Gruppe 12: Kombination aus einer Veränderung des natürlichen Belüftungssystems in ein Abluftsystem und der Abdichtung der Bodenkonstruktion. ....	142
4.2.4	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen .....	143
4.2.4.1	Einschätzung der verschiedenen Wirkprinzipien .....	143
4.2.4.2	Sicherheit der Lösungen .....	145
4.2.4.3	Veränderungen in der Langzeitwirkung .....	146
4.3	Untersuchung zur Beständigkeit von Sanierungsmaßnahmen aus Österreich .	146
5	Radondichtheit .....	152
5.1	Abgrenzung .....	152
5.2	Grundlagen .....	152
5.3	Definitionen .....	152
5.4	Nachweis und Prüfverfahren der Radondichtheit .....	152
5.5	Länderspezifische Herangehensweisen .....	154
5.6	Bewertung weiterer Eintrittspfade auf die Radondichtheit .....	158
5.7	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen .....	159

## 1 Einleitung

Der Bericht gliedert sich in vier Teile:

### - **Kapitel 2: Bewertung spezieller Fachinformationen (Normen i.e.S.)**

Im nachfolgenden Bericht ist mit dem Begriff „**Radonnorm**“ eine Norm gemeint, die sich ausschließlich mit Maßnahmen zur Radonprävention (bei Neubauten) und/oder Radonsanierung (bei Bestandsbauten) beschäftigt. Unabhängig davon können andere Normen im Baubereich existieren, in denen in mehr oder weniger allgemeiner Form auf Radon Bezug genommen wird.

Vorab wird die Situation bezüglich solcher Radonnormen in Europa beschrieben.

Vorhandene europäische Radonnormen werden inhaltlich in ihren wesentlichen Zügen beschrieben und ausgewertet. Im Anschluss daran erfolgt eine Bewertung hinsichtlich der Nutzungsmöglichkeit einzelner Aspekte für die Erarbeitung der deutschen Norm.

Eine detaillierte Beschreibung der Struktur und Inhalte der wichtigsten Normen ist im Anlagenteil enthalten.

### - **Kapitel 3: Publikationen zum Radonschutz ohne normativen Charakter**

Es existieren zahlreiche Publikationen, die sich mit Maßnahmen zur Radonprävention und/oder Radonsanierung beschäftigen, aber von sehr unterschiedlicher inhaltlicher Qualität sind.

Es werden ausgesuchte Veröffentlichungen ausgewertet, wenn sie zu Fragen des baulichen Radonschutzes neue fachliche Aspekte liefern bzw. für die Erarbeitung einer deutschen Norm hilfreich sein können.

### - **Kapitel 4: Dauerhaftigkeit von Radonschutzmaßnahmen**

Beim baulichen Radonschutz handelt es sich um ein vergleichsweise neues Thema. Langzeiterfahrungen (über viele Jahre oder gar Jahrzehnte) gibt es daher noch nicht. Vereinzelt liegen aber erste Erfahrungen vor, welche Maßnahmen sich in der Praxis bewährt oder nicht bewährt haben und welche auch über einen längeren Zeitraum hinweg ihre Schutzwirkung beibehalten. Diese werden beschrieben und bewertet.

### - **Kapitel 5: „Radondichtheit“**

Im Rahmen einer Abdichtung gegen den möglichen Eintritt radonhaltiger Bodenluft ins Gebäude wird seit vielen Jahren der Begriff „Radondichtheit“ verwendet, insbesondere für die Bewertung von Bauprodukten hinsichtlich dieser speziellen Eigenschaft. Vergleichbares ist auch aus anderen Ländern bekannt.

Die unterschiedlichen Begrifflichkeiten werden beschrieben. Die internationale Vorgehensweise bei der Nutzung und praktischen Anwendung (z.B.: Zertifizierung von Produkten) wird diskutiert.

Hinweis:

Wenn möglich, wird im Bericht ein Verweis auf die Webseite jeweils zuständiger Behörden o.ä. gegeben, auf der weitergehende Informationen zum Thema Radon zur Verfügung stehen.

Die Aktualität sowie das Vorhandensein der entsprechenden Inhalte auf den genannten Webseiten kann nicht gewährleistet werden. Alle genannten Verweise waren beim letzten Besuch der jeweiligen Seiten am 09.11.2019 noch aktuell.

## **2 Bewertung spezieller Fachinformationen (Normen i.e.S.)**

Die Situation bzgl. Radonnormen oder vergleichbarer Regelwerke ist im internationalen Vergleich sehr unterschiedlich.

In einem ersten Schritt wurde geklärt, in welchen Ländern spezielle Radonnormen bereits existieren und welche rechtliche Relevanz (z.B.: verbindlichen oder empfehlenden Charakter) sie besitzen. Der Schwerpunkt lag hierbei auf Europa. Über die Situation in Nordamerika wird ein Überblick gegeben.

In den Ländern der Europäischen Union - und damit auch in Deutschland - müssen im Zuge der nationalen Umsetzung der Richtlinie 2013/59/Euratom u.a. „Radongebiete“ ausgewiesen werden. Die Herangehensweise hierfür wird von Land zu Land unterschiedlich gehandhabt. Nicht selten wird sich an landesweiten Karten der Radonbelastung (geogen und/oder Raumluft) orientiert. In vielen Fällen sind an solche Klassifizierungen unmittelbare Vorgaben oder Empfehlungen zum präventiven Radonschutz bzw. der Radonsanierung geknüpft. Die momentane Situation in Europa wird übersichtsweise in Kapitel 2.1.1 bis 2.1.14 länderbezogen beschrieben.

Nach Sichtung und Beschaffung der entsprechenden Normen erfolgte eine fachliche Auswertung. Ein Schwerpunkt hierbei lag auf der Frage, ob Maßnahmen aus anderen Ländern bei der Erstellung einer vergleichbaren Norm in Deutschland Berücksichtigung finden sollen. Wenn möglich, sollte hierbei auch eine Aussage getroffen werden, inwieweit welche Maßnahme für welche Situation („Nicht-Radongebiet“/„Radongebiet“) geeignet bzw. ungeeignet ist.

### **2.1 Stand der Situation in anderen Ländern**

Nur sehr wenige Länder haben spezielle Normen zum radongeschützten Bauen bzw. zur Radonsanierung. Teilweise sind in „Allgemeinen Bauvorschriften“ Hinweise bzw. Verweise auf Radon aufgenommen. Allerdings sind diese in den meisten Fällen wenig konkret. In zahlreichen Ländern, in denen es keine Normen zum Radonschutz bzw. Radonsanierung gibt, existieren „Handbücher“ oder ähnliche Dokumentationen, die von Behörden, Institutionen o.ä. erarbeitet und herausgegeben wurden.

Die folgende Auflistung gibt eine Übersicht, in welchen Ländern Radonnormen, allgemeine Bauvorschriften mit Bezug auf Radon sowie sonstige Grundlageninformationen („Handbücher“) zu diesem Thema vorliegen.

Radonnormen im eigentlichen Sinne sind in Österreich und Tschechien sowie in Kanada eingeführt. Die Literaturrecherche erbrachte desweiteren, dass in den folgenden Ländern in allgemeinen Bauvorschriften Verweise auf Radon enthalten sind: Belgien, Dänemark, Eng-

land, Finnland, Frankreich, Irland, Italien, Norwegen, Österreich, Schweden, Schweiz, Spanien und Tschechien sowie aus Übersee USA. Handbücher und ähnliche Veröffentlichungen zum radonsicheren Bauen sind in Dänemark, England, Finnland, Frankreich, Irland, Luxemburg, Schweden, Schweiz, Spanien sowie Kanada und USA veröffentlicht worden.

Nachfolgend wird die derzeitige Situation in verschiedenen Ländern beschrieben.

### 2.1.1 Belgien

Spezielle **Normen** zum Thema Radon existieren nicht.

In Belgien sind alle Gemeinden in drei Radonklassen mit Unterabstufungen (0, 1a, 1b und 2a und 2b) eingeteilt, die in einer Gemeindeliste (Stand 2015) zusammengefasst sind.

<http://www.jurion.fanc.fgov.be/jurdb-consult/consultatieLink?wettekstId=23054&appLang=fr&wettekstLang=nl>

Die Einstufung basiert auf vorliegenden Raumluftmesswerten und orientiert sich am Referenzwert von 300 Bq/m<sup>3</sup>. Von Klasse 0 (< 1 % Überschreitung) bis Klasse 2b (> 10 % Überschreitung) nimmt die beobachtete Überschreitung schrittweise zu.

Architekten oder Bauplaner müssen im Bauantrag Maßnahmen zum Radonschutz beschreiben, wenn das geplante Gebäude in einer Gemeinde der Klasse 2 (> 5 % über dem Referenzwert von 300 Bq/m<sup>3</sup>) liegt. Die Art der Maßnahme(n) kann frei gewählt werden; die Baubehörde muss diesen zustimmen.

Konkrete Maßnahmen (u.a. Abdichtung, Lüftung) sind in Informationsschriften beschrieben. Hierin wird zwischen allgemeinen, speziellen und erweiterten Vorsorgemaßnahmen unterschieden.

Allgemeine Schutzmaßnahmen bestehen in einer guten Abdichtung aller Durchgänge zwischen dem Erdboden und dem Gebäude (Rohre, Kabel, Wärmepumpen usw.) sowie zwischen dem Keller (falls vorhanden) und dem Gebäude (einschließlich Treppenhaus und Tür) und in einer guten Durchlüftung des Kriechkellers (falls vorhanden) und der Wohnräume. Spezielle Schutzmaßnahmen beinhalten darüber hinaus das Einbringen einer flächigen Abdichtung (Radonsperre). Erweiterte Schutzmaßnahmen sehen ergänzend den Einbau einer Radondrainage unter der Bodenplatte in einer durchlässigen Schotterschicht vor.

<http://fanc.fgov.be/nl/informatiedossiers/radon-en-radioactiviteit-uw-huis/radon/publicaties>

- *Belgien\_o.J.\_Radon in Gebäuden - Sanierungs- und Vorbeugungsmaßnahmen.pdf*
- *Belgien\_o.J.\_Sie wollen bauen - Schützen Sie sich vor Radon.pdf*
- *Belgien\_2011\_Radon in Ihrem Haus - Sie können sich davor schützen.pdf*
- *Belgien\_2011\_10 Fragen zum Thema Radon.pdf*

## 2.1.2 Dänemark

Spezielle **Normen** zum Thema Radon existieren nicht.

In Dänemark kann über ein Geoportal u.a. auch die „lokale Radonsituation“ abgerufen werden. In dem Portal sind Daten (z.B.: Stadtpläne, Geologie, Boden, Trinkwasser, Lärmbelastung, Radon, sozioökonomische Daten) aus öffentlich zugänglichen Quellen zusammengetragen und miteinander verknüpft. Sie sollen insbesondere Hausbesitzern und -käufern möglichst umfassende Informationen zu ihren Immobilien geben.

<https://www.dingeo.dk/data/radon/>

Für die Radonbelastung im Gebäude wurde eine fünfstufige Klassifizierung anhand unterschiedlicher Punktzahlen erarbeitet. Die Bewertungen reichen von „sehr geringes Risiko“ (1 bis 2 Punkte) bis zu „sehr hohes Risiko“ (8 bis 9 Punkte).

Primär beruht die Einstufung auf den Ergebnissen landesweiter (standardisierter) Raumluftmessungen aus der zweiten Hälfte der 1990er Jahre. Gemeindebezogen wird daraus der (erwartete) Prozentsatz an Häusern mit einer Raumluftkonzentration über 200 Bq/m<sup>3</sup> berechnet. Diese Prozentwerte wurden klassifiziert (5 Klassen, z.B. Klasse 2: 1 - 3 % Häuser mit erwarteten Raumluftkonzentrationen über 200 Bq/m<sup>3</sup>). Die Punktzahl entspricht der Radonklasse, d.h. Radonklasse 2 = 2 Punkte.

Zusätzlich fließen Informationen zur Geologie sowie zur Bauweise des Hauses (z.B.: Unterkellerung, Lüftung, Baumaterial - wurde bei den Messungen mittels Fragebogen abgefragt) in die Bewertung ein. In Abhängigkeit von der lokalen Geologie werden zwischen 0 Punkten (z.B.: Flugsand) und 2 Punkten (z.B.: Moränenbestandteilen) addiert. Wurde das Gebäude vor 1998 (Änderung der Bauvorschriften mit Forderung nach „radonsicherem“ Neubau) errichtet, ist 1 Punkt zu addieren, ansonsten 0 Punkte. Für ein nicht unterkellertes Gebäude ist ebenfalls 1 Punkt zu addieren, ansonsten 0 Punkte. Handelt es sich um eine Wohnung in einem höheren Stockwerk, wird die Punktzahl auf 25 % reduziert.

Der Karte ist eine adressbezogene Topographie hinterlegt, so dass nach einer konkreten Adresse gesucht werden kann. Diese wird anschließend in der Karte – mit allen verfügbaren und zugehörigen Daten – angezeigt. Wichtig ist der Hinweis, dass die Bewertung keine Auskunft über die Radonkonzentration in einem konkreten Haus gibt. Diese kann nur mittels einer Messung festgestellt werden.

Gemäß Kapitel 6.3.3.2 der **Danish Building Regulations (2015)** müssen erdberührte Teile des Gebäudes radongeschützt ausgeführt sein oder andere Maßnahmen ergriffen werden, um den Radoneintritt ins Gebäude zu verhindern. Die Radonkonzentrationen im Gebäude sollen später unter 100 Bq/m<sup>3</sup> liegen.

Bei Radonkonzentrationen in bestehenden Gebäuden zwischen 100 und 200 Bq/m<sup>3</sup> empfiehlt die dänische Energieagentur (*Danish Energy Agency*) einfache Maßnahmen (z.B.: Abdichtung von Rissen und Leckagen im Fundament), bei Werten über 200 Bq/m<sup>3</sup> auch aufwändigere Maßnahmen zur Reduzierung (z.B.: Unterbodenabsaugung, Lüftungsanlage).

Auf der Webseite der Strahlenschutzabteilung des dänischen Gesundheitsministeriums werden Informationen zum Thema Radon gegeben.

<https://www.sst.dk/da/straalebeskyttelse/radioaktivitet/radon#>

Zudem sind kostenpflichtige Informationsschriften zur Radonprävention bei Neubauten (*Radonsikring af nye bygninger*) und zur Radonsanierung (*Radonsikring af eksisterende bygninger*) verfügbar (jeweils herausgegeben vom *Danish Building Research Institute* der Aalborg Universität Kopenhagen).

<https://sbi.dk/anvisninger/Pages/247-Radonsikring-af-eksisterende-bygninger-2.aspx>

<https://sbi.dk/anvisninger/Pages/233-Radonsikring-af-nye-bygninger-2.aspx>

### 2.1.3 England

Spezielle **Normen** zum Thema Radon existieren nicht.

Für England, Wales, Schottland und Nord-Irland liegen flächendeckende **Radonkarten** vor, die von der HPA (Health Protection Agency, jetzt PHE Public Health England) und dem Geological Survey erarbeitet wurden.

<http://www.ukradon.org/information/ukmaps>

Grundlage für eine Einstufung bzw. Bewertung ist das geologie-basierte sogenannte *radon potential*, welches für Flächenelemente mit einer Größe von 1 x 1 km berechnet wurde. Geologische Einheiten wurden im Hinblick auf ihre Relevanz für die Radon“freisetzung“ zusammengefasst. Innerhalb jeder geologischen Einheit mit mehr als 100 Raumluftmesswerten wurde für jedes Flächenelement das geometrische Mittel (GM mit Standardabweichung GSD) berechnet. Unter Annahme einer log-normalen Verteilung der Messwerte wurde daraus eine prozentuale Überschreitungswahrscheinlichkeit des *action level* von 200 Bq/m<sup>3</sup> ermittelt. Unsicherheiten bei der räumlichen Zuordnung zur Geologie bzw. zum Gebäudestandort wurden ebenso berücksichtigt wie saisonal bedingte Variationen der Raumluftwerte. Das Ergebnis dieser Berechnungen sind Karten, in denen für jedes Flächenelement die jeweils maximale erwartete prozentuale Überschreitungswahrscheinlichkeit dargestellt ist. Über eine kostenpflichtige adressbezogene Suche kann das *radon potential* eines einzelnen Gebäudes ausgegeben werden. Dieses kann aus den o.g. Gründen von der Einstufung des zugehörigen Flächenelementes abweichen.

Die HPA hat ihre Vorstellungen zur Reduzierung der Radonbelastung in „Limitation of human exposure to radon“ (2010) beschrieben.

<https://www.gov.uk/government/publications/radon-limitation-of-human-exposure>

Hierin werden u.a. Erläuterungen gegeben zum *radon action level* oder zu *radon affected areas* sowie die Empfehlung ausgesprochen, ggf. eine Radonsanierung durchzuführen. Diese gelten für Wohngebäude, aber auch für Schulen.

Des Weiteren wird eine Ergänzung der Bauvorschriften empfohlen, die sicherstellen soll, dass alle Neubauten, Anbauten u.ä. und renovierte Gebäude einen „Grundschatz“ gegen eindringendes Radon (*basic radon protective measures*) besitzen. In allen Gebäuden, die einen „vollen“ Radonschutz (*full radon protective measures*; s. hierzu BRE report BR 211) benötigen, soll innerhalb eines Jahres nach Bezug eine Radonmessung durchgeführt werden. Bei Überschreitung des *action level* sind Maßnahmen zur Reduzierung vorzunehmen. Der Zielwert hierbei beträgt 100 Bq/m<sup>3</sup>.

### Radonschutz bei Neubauten

Laut **Building Regulations, England and Wales (2010, No. 2214), Schedule 1 requirement C** sollen geeignete Maßnahmen getroffen werden, um Gefahren für Gesundheit und Sicherheit der Nutzer durch Kontaminationen aus oder auf dem Untergrund des Gebäudes zu vermeiden.

<http://www.legislation.gov.uk/ukxi/2010/2214/contents/made>

Diese Building Regulations werden ergänzt durch **Approved Document C - Site preparation and resistance to contaminants and moisture** (2004 Edition incorporating 2010 and 2013 amendments), in denen Einzelheiten zu baulichen Maßnahmen in England und Wales beschrieben werden. Die Punkte 2.39 und 2.40 beschäftigen sich mit dem Radonschutz und beziehen sich dabei explizit auf den **BRE report BR211**. Entsprechende Regularien existieren auch für Schottland und Nord-Irland.

[https://www.planningportal.co.uk/info/200135/approved\\_documents/65/part\\_c\\_-\\_site\\_preparation\\_and\\_resistance\\_to\\_contaminates\\_and\\_moisture](https://www.planningportal.co.uk/info/200135/approved_documents/65/part_c_-_site_preparation_and_resistance_to_contaminates_and_moisture)

In Building Research Establishment (BRE, 2015): **BR 211 Radon - Guidance on protective measures for new buildings** werden konkrete bauliche Maßnahmen zum präventiven Radonschutz von Wohngebäuden beschrieben. Diese werden ergänzt um Radonkarten für alle Landesteile (England, Wales, Schottland, Nord-Irland), aus denen hervorgeht, ob in einem Gebiet Maßnahmen welchen Umfangs angeraten sind. Die Karteninhalte orientieren sich an den o.g. Radonkarten mit einem 1 x 1 km-Raster. Es wird zwischen drei Stufen unterschieden: *none – basic radon protection – full radon protection*.

<https://www.bre.co.uk/page.jsp?id=3139>

Anforderungen für **Arbeitsplätze** beschreibt die aktualisierte Strahlenschutzverordnung (**The Ionising Radiations Regulations 2017 (No. 1075)**), die am 1.1.2018 in Kraft trat.

[http://www.legislation.gov.uk/ukxi/2017/1075/pdfs/ukxi\\_20171075\\_en.pdf](http://www.legislation.gov.uk/ukxi/2017/1075/pdfs/ukxi_20171075_en.pdf)

Zudem geben die Internetseiten der **Health and Safety Executive** allgemeine Informationen zu diesem Thema.

<http://www.hse.gov.uk/radiation/ionising/radon.htm>

### Radonsanierung bestehender Gebäude

Hierzu existieren keine Regelwerke, spezielle Vorgaben o.ä.

Allgemeine Informationen und Beispiele baulich-technischer Maßnahmen zur Reduzierung der Radonkonzentrationen sind auf der PHE-Informationsseite einzusehen.

<http://www.ukradon.org/information/reducelevels>

Links führen zu zahlreichen Veröffentlichungen und Informationsblättern, z.B.: *Quick Guides, Good Repair Guides - Radon Solutions in Homes*. Diese beschreiben in der Regel in detaillierter Weise spezielle Maßnahmen (z.B.: *radon sump*).

#### 2.1.4 Finnland

Spezielle **Normen** zum Thema Radon existieren nicht.

In baulichen Regelungen wird auf das Thema Radon in allgemeiner Form Bezug genommen. Im **The National Building Code of Finland** findet sich im Teil **Strength and stability of structures** in den zugehörigen Regeln bezüglich der Gründung eines Bauwerkes (*Decree of the Ministry of the Environment on Foundation Structures, 465/2014*) eine allgemeine Anmerkung zu Radon. Demnach soll das Thema Radon bei Baugrunduntersuchungen berücksichtigt werden.

[http://www.ym.fi/en-US/Land\\_use\\_and\\_building/Legislation\\_and\\_instructions](http://www.ym.fi/en-US/Land_use_and_building/Legislation_and_instructions)

[http://www.ym.fi/en-US/Land\\_use\\_and\\_building/Legislation\\_and\\_instructions/The\\_National\\_Building\\_Code\\_of\\_Finland/Strength\\_and\\_stability\\_of\\_structures](http://www.ym.fi/en-US/Land_use_and_building/Legislation_and_instructions/The_National_Building_Code_of_Finland/Strength_and_stability_of_structures)

<http://www.finlex.fi/en/laki/kaannokset/2014/20140465>

Im Teil **Health** des o.g. *National Building Code* findet sich im *Decree of the Ministry of the Environment on the Indoor Climate and Ventilation of New Buildings (1009/2017)* der Hinweis, dass das Gebäude so ausgeführt sein soll, dass (u.a.) der Radoneintritt aus dem Untergrund verhindert wird. Dies betrifft insbesondere die Dichtheit der Gebäudehülle, es sollen aber auch mögliche Ausbreitungswege innerhalb des Gebäudes selbst berücksichtigt werden.

[http://www.ym.fi/en-US/Land\\_use\\_and\\_building/Legislation\\_and\\_instructions/The\\_National\\_Building\\_Code\\_of\\_Finland/Health](http://www.ym.fi/en-US/Land_use_and_building/Legislation_and_instructions/The_National_Building_Code_of_Finland/Health)

[www.ym.fi/download/noname/%7BF6C65D97F-54FD-4495-A0A8-86CB299EEAA3%7D/140327](http://www.ym.fi/download/noname/%7BF6C65D97F-54FD-4495-A0A8-86CB299EEAA3%7D/140327) (*Indoor Climate and Ventilation of New Buildings*; inoffizielle englische Übersetzung)

Ziel baulicher Maßnahmen beim Neubau ist die Einhaltung des Referenzwertes von 200 Bq/m<sup>3</sup>. Bezüglich konkreter Maßnahmen zur Reduzierung der Radonkonzentration wird auf die Veröffentlichungen der finnischen Strahlenschutzbehörde STUK (*Radiation and Nuclear Safety Authority*) verwiesen.

<https://www.stuk.fi/web/en/topics/radon>

<https://www.stuk.fi/web/en/topics/radon/maximum-levels-and-regulations-concerning-radon-in-dwellings>

<https://www.stuk.fi/web/en/topics/radon/radon-in-new-buildings>

<https://www.stuk.fi/web/en/topics/radon/radon-mitigation>

Zudem existieren Publikationen zum Radonschutz, die kommerziell erhältlich sind (Rakennustieto Oy. Radonin torjunta. RT reference card RT 81-11099, LVI 37-10513, KH 27-00510 - Radon prevention, 2012, in Finnisch).

<https://www.rakennustieto.fi/index/english.html>

### 2.1.5 Frankreich

Spezielle **Normen** zum Thema Radon existieren nicht.

Es existiert eine flächendeckende geologiebasierte Karte des (geogenen) Radonpotenzials mit den Klassen „niedrig“, „mittel“ und „hoch“ (IRSN - Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire; 2017).

<http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Environnement/expertises-radioactivite-naturelle/radon/Pages/4-cartographie-potentiel-radon-formations-geologiques.aspx#.Wq--q38xnk>

Diesen Klassen sind (erwartete) Raumlufkonzentrationen zugeordnet, abgeleitet aus nationalen Messkampagnen. In Gebieten der Klasse 1 haben die meisten Gebäude niedrige Radonkonzentrationen. Hier zeigen 20 % der Gebäude Werte über 100 Bq/m<sup>3</sup> und weniger als 2 % Werte über 400 Bq/m<sup>3</sup>. In Gebieten der Klasse 3 haben über 40 % der Gebäude Radonkonzentrationen über 100 Bq/m<sup>3</sup> und mehr als 6 % Werte über 400 Bq/m<sup>3</sup>.

Daneben gibt es eine Karte der Departments mit den Mittelwerten der Raumlufkonzentration (Stand: 2000).

[http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Environnement/expertises-radioactivite-naturelle/radon/Pages/4-Campagne-nationale-mesure-radon.aspx#.Wq\\_Df38xnk](http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Environnement/expertises-radioactivite-naturelle/radon/Pages/4-Campagne-nationale-mesure-radon.aspx#.Wq_Df38xnk)

In konkret benannten Departments sind regelmäßige Radonmessungen in Gebäuden mit öffentlicher Nutzung (z.B.: Schule, Krankenhaus) vorgeschrieben. Gleiches gilt in diesen Departments auch für bestimmte Arbeitsplätze, die sich in unterirdischen Räumlichkeiten befinden. Die Messungen selbst orientieren sich an den ISO-Standards der 11665-Serie und sind von entsprechend akkreditierten Stellen bzw. Fachleuten vorzunehmen.

Es gibt keine Regelwerke o.ä., in denen auf Maßnahmen zur Reduzierung der Radonkonzentrationen – sei es bei Neubauten oder Sanierungen – Bezug genommen wird.

Eine diesbezügliche technische Expertise existiert beim Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB). Informationen sind auf dessen Webseite zu finden, u.a. auch eine technische Anleitung möglicher Maßnahmen (2008). Ein Schwerpunkt der dortigen Arbeiten liegt auf Untersuchungen zur Verhinderung des Eintritts gasförmiger Schadstoffe (inkl. Radon) aus dem Untergrund ins Gebäude.

<http://www.cstb.fr/>

<http://extranet.cstb.fr/sites/radon>

### 2.1.6 Irland

Spezielle **Normen** zum Thema Radon existieren nicht.

Die irische Environmental Protection Agency betreibt eine spezielle Webseite zum Thema Radon. Hier sind nach Zielgruppen geordnet (z.B.: Bauherren, Baugewerbe, Schulen, Arbeitgeber) entsprechende Informationen abrufbar.

[www.radon.ie](http://www.radon.ie)

Für Irland existiert eine flächendeckende interaktive **Radonkarte**, die vom Radiological Protection Institute of Ireland (RPII) erarbeitet wurden. Diese zeigt in einem 10 x 10 km-Raster die geschätzte prozentuale Überschreitungswahrscheinlichkeit einer Raumluftkonzentration von 200 Bq/m<sup>3</sup>. Gebiete mit mehr als 10 %iger Überschreitungswahrscheinlichkeit werden als **High Radon Areas** bezeichnet.

<http://www.epa.ie/radiation/radonmap/>

#### Radonschutz bei Neubauten

Im **Building code Technical Guidance Document C** wird unter den Punkten 2.7 bis 2.17 zu Radon Stellung genommen.

<http://www.epa.ie/pubs/advice/radiation/dehlgtechguidancedocc.html>

Nach diesem 1998 veröffentlichten Technischen Leitfaden (aktuelle Fassung von 2004) sollten alle **Neubauten** (Wohngebäude bzw. Gebäude mit Räumen, in denen sich Personen länger aufhalten) prophylaktisch mit einem Radonbrunnen (oder auch einer Radondrainage) ausgestattet werden. Diese Anlage kann ggf. später in Betrieb genommen werden, falls die gemessenen Raumluftgehalte bei regulärer Nutzung über 200 Bq/m<sup>3</sup> liegen. In *High Radon Areas* ist zusätzlich eine flächenhafte Abdichtung gegen den Untergrund vorzusehen.

Für Nicht-Wohngebäude gilt analoges, sofern nicht spezielle Anforderungen existieren.

Sowohl für Folien als auch für Radonbrunnen gilt, dass nur zertifizierte Produkte bzw. Systeme eingesetzt werden dürfen. Es wird auf die sorgfältige technische Umsetzung beim Einbau dieser Systeme, insbesondere beim Verlegen von Folien, hingewiesen.

Für die Radonsanierung bestehender Gebäude existieren keine Regelwerke, spezielle Vorgaben o.ä. Es gibt eine ältere Publikation (des Radiological Protection Institute of Ireland RPII), in dem sowohl präventive als auch Sanierungsmaßnahmen beschrieben werden.

*<http://www.epa.ie/pubs/reports/radiation/> und hier *Radon in Existing Buildings: Corrective Options (2002)**

Auf der o.g. Webseite *www.radon.ie* werden Hinweise zu möglichen Vorgehensweisen bei Vorsorge und Sanierung inklusive zahlreicher Skizzen und Abbildungen gegeben.

### 2.1.7 Italien

Spezielle **Normen** zum Thema Radon existieren nicht.

Auf der Seite der italienischen Gesundheitsbehörde ist die rechtliche Situation bezüglich Radon beschrieben, ebenso wie die Inhalte des nationalen Radonmaßnahmenplans.

*<http://old.iss.it/radon/index.php?lang=1&id=202&tipo=17>*

*<http://old.iss.it/radon/index.php?lang=1&id=144&tipo=17>*

In Italien existieren Vorgaben zu Radonkonzentrationen in Wohngebäuden und am Arbeitsplatz.

Bereits 2008 wurden im Rahmen des nationalen Radonplans empfohlen, einfache und kostengünstige bauliche Maßnahmen in die Bauvorschriften aufzunehmen, um den Radoneintritt in allen Neubauten zu reduzieren. Beispielhaft wird die Verwendung geeigneter Folien o.ä. genannt, ggf. ergänzt um den (prophylaktischen) Einbau einer Radondrainage. Details werden jedoch nicht beschrieben. Prinzipiell soll dies auch für bestehende Gebäude gelten, insbesondere wenn Umbau- oder Renovierungsmaßnahmen im erdberührten Bereich vorgenommen werden.

Messkampagnen und -ergebnisse aus der Vergangenheit, zumeist tabellarisch und z.T. auch kartographisch aufbereitet, sind regionsbezogen abrufbar.

*<http://old.iss.it/radon/index.php?lang=1&id=195&tipo=15>*

*<http://old.iss.it/radon/index.php?lang=1&id=234&tipo=15>*

Die Empfehlungen des nationalen Radonplans wurden in den letzten Jahren bereits von einigen Regionen und Gemeinden rechtlich umgesetzt. Ziel ist es, dass dies auch im gesamten Staatsgebiet erfolgt. Im Prinzip sollen Gebiete (und Arbeitsplätze) identifiziert werden, in denen eine erhöhte Wahrscheinlichkeit hoher Radonkonzentrationen besteht. Zugleich sollen Bauvorschriften zum Radonschutz (Neubau und Bestandsbauten) erlassen werden. Für Neubauten wird auf einen möglichen Konflikt mit baulichen Maßnahmen zur Energieeinsparung hingewiesen.

<http://old.iss.it/radon/index.php?lang=1&id=183&tipo=17>

Für einige Landesteile (z.B.: Lombardei, Toskana, Süd-Tirol) wurden Radonkarten erstellt, in denen Gemeinden ausgewiesen werden, in denen eine höhere Wahrscheinlichkeit besteht, erhöhte Radonwerte in den Häusern vorzufinden (z.B.: Südtirol).

<http://umwelt.provinz.bz.it/strahlung/radonkarte.asp>

Die privat erstellte und betriebene Internetseite GAS RADON enthält eine Zusammenstellung der existierenden Radonuntersuchungen in den verschiedenen Regionen Italiens.

<https://www.radongas.eu/testi-informativi-approfondimento-sul-radon/mappe-della-concentrazione-del-radon-nelle-regioni-italiane/>

### 2.1.8 Luxemburg

Spezielle **Normen** zum Thema Radon existieren nicht.

Es existiert eine Radonkarte (2016), basierend auf Raumluftmessungen, mit einer Klassifikation der Kantone in die Klassen 0 bis 2 (Kl. 0: < 1% unter dem Referenzwert von 300 Bq/m<sup>3</sup>; Kl. 1: 1 bis 5 % über dem Referenzwert; Kl. 2: > 5% über dem Referenzwert).

Kantone mit Einstufung in Klasse 2 (5 Stück) werden als „*radon zone*“ bezeichnet. Hier werden für Hausbesitzer kostenlose Messungen (3 Monate während Heizperiode) angeboten. Ebenso kostenfrei ist die Beratung bei Werten > 600 Bq/m<sup>3</sup>. Eine finanzielle Unterstützung bei der Sanierung ist hier möglich.

- <http://sante.public.lu/fr/prevention/radon/campagnes-de-mesures-recentes/index.html>

Auf der Webseite der luxemburgischen Strahlenschutzbehörde werden Hinweise (in französischer Sprache) zu baulichen Maßnahmen bei der Radonprävention und -sanierung gegeben.

- <http://sante.public.lu/fr/prevention/radon/mesures-de-prevention/index.html>

- <http://sante.public.lu/fr/prevention/radon/mesures-de-remediation/index.html>

### 2.1.9 Norwegen

Spezielle **Normen** zum Thema Radon existieren nicht.

In Norwegen soll der Jahresmittelwert der Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen 200 Bq/m<sup>3</sup> nicht überschreiten.

Aus diesem Grund sind laut *Section 13-5* der **Building Technology Regulation (TEK17; 2017)** Gebäude mit Räumen für dauerhaften Aufenthalt (z.B.: Mietwohnungen, Schulen und Kindergärten) mit einem Radonschutz gegen das Erdreich zu versehen. Zusätzlich soll eine (prophylaktische) Drainage für eine ggf. später notwendige Inbetriebnahme installiert werden, falls die Radonkonzentration bei normaler Raumnutzung über 100 Bq/m<sup>3</sup> liegen sollte.

<https://dibk.no/byggereglene/Building-Regulations-in-English/>

### 2.1.10 Österreich

Zurzeit existieren drei **Normen** zum Thema Radon (ÖNORM S 5280-1 bis 5280-3; Auswertung s. 2.2.1).

Für Österreich gibt es eine flächendeckende **Radonpotenzialkarte** mit drei Klassen (1 bis 3). Über eine Abfrage kann die Situation in jeder Gemeinde erhoben werden. In Abhängigkeit von der Klasseneinstufung werden unterschiedliche, jedoch nur allgemein gehaltene Empfehlungen für bestehende Gebäude und Neubauten gegeben.

In der höchsten Klasse 3 werden beispielsweise Radonmessungen in allen bestehenden Gebäuden (unabhängig von der Bauweise) sowie einfache Radonschutzmaßnahmen bei Neubauten oder bei Generalsanierungen (jeweils mit einer anschließenden Radonkontrollmessung) empfohlen.

[https://geogis.ages.at/GEOGIS\\_RADON.html](https://geogis.ages.at/GEOGIS_RADON.html)

### 2.1.11 Polen

Spezielle **Normen** zum Thema Radon existieren nicht.

In den "Woiwodschaften" (regionale Verwaltungsbezirke; darunter Kreise und Kommunen) sowie Małopolskie (Krakau) und Dolnośląskie (Warschau) sind nach den lokalen Bauregelungen vor Baubeginn Radonmessungen in der Bodenluft notwendig, um einen sogenannten „*radon index*“ zu berechnen. Nähere Informationen zur konkreten Vorgehensweise und zur Bewertung sowie zu daraus möglicherweise abzuleitenden baulichen Maßnahmen liegen nicht vor.

### 2.1.12 Schweden

Spezielle **Normen** zum Thema Radon existieren nicht.

Substantielle Aussagen zu Radon in allgemeinen Bauvorschriften und weiteren Veröffentlichungen von staatlichen Stellen konnten nicht eruiert werden.

### 2.1.13 Schweiz

Spezielle **Normen** zum Thema Radon existieren nicht.

Für die Schweiz wurde eine flächendeckende **Radonkarte** erarbeitet, in der die prozentuale Wahrscheinlichkeit dargestellt ist, in welchem Umfang der Referenzwert von 300 Bq/m<sup>3</sup> für die Radonkonzentration in Gebäuden überschritten wird. In einem Geoportal kann auf Pixel mit einer Größe von 1 x 1 km gezoomt werden. Für diese Fläche wird die Überschreitungswahrscheinlichkeit angezeigt, ergänzt um einen Vertrauensindex (hoch, mittel, niedrig, sehr niedrig), der die Verlässlichkeit der berechneten Wahrscheinlichkeit angibt.

<https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/gesund-leben/umwelt-und-gesundheit/strahlung-radioaktivitaet-schall/radon/radongebiete-ch.html>

[https://map.geo.admin.ch/?layers=ch.bag.radonkarte&lang=de&topic=ech&bgLayer=ch.swisstopo.pixelkarte-farbe&layers\\_opacity=0.75](https://map.geo.admin.ch/?layers=ch.bag.radonkarte&lang=de&topic=ech&bgLayer=ch.swisstopo.pixelkarte-farbe&layers_opacity=0.75)

Die Schweiz ist zwar kein Mitglied der Europäischen Gemeinschaft, hat jedoch bzgl. der Radonproblematik eine vergleichbare Herangehensweise wie die EU und die gesetzlichen Vorgaben orientieren sich an der Euratom-Richtlinie.

Die neue Schweizer **Strahlenschutzverordnung** (2017; in Kraft getreten am 1.1.2018) enthält u.a. auch Regelungen zur baulichen Radonprävention und -sanierung. Für **Neubauten** gilt:

Art. 163, Absatz 1

Im Rahmen des Baubewilligungsverfahrens für Neu- und Umbauten muss die Baubewilligungsbehörde die Gebäudeeigentümerin oder den Gebäudeeigentümer oder bei Neubauten die Bauherrin oder den Bauherrn auf die Anforderungen der StSV betreffend Radonschutz aufmerksam machen, soweit dies sinnvoll ist.

Art. 163, Absatz 2

Die Gebäudeeigentümerin oder der Gebäudeeigentümer oder bei Neubauten die Bauherrin oder der Bauherr muss dafür sorgen, dass dem Stand der Technik entsprechende präventive bauliche Massnahmen getroffen werden, um eine Radongaskonzentration zu erreichen, die unter dem Referenzwert von 300 Bq/m<sup>3</sup> liegt.

Erfordert es der Stand von Wissenschaft und Technik, so ist eine Radonmessung nach Artikel 159 Absatz 1 durchzuführen.

Für den **Altbestand** gilt bzgl. einer Radonsanierung:

Art. 166, Absatz 1

Wird eine Überschreitung des Referenzwertes von 300 Bq/m<sup>3</sup> in einem Raum festgestellt, in dem sich Personen regelmässig während mehrerer Stunden pro Tag aufhalten, muss die Gebäudeeigentümerin oder der Gebäudeeigentümer die notwendigen Sanierungsmassnahmen auf eigene Kosten treffen.

Auf der Webseite des Bundesamts für Gesundheit (BAG) gibt es u.a. Hinweise zu Vorsorgemaßnahmen bei Neubauten und Sanierungsmaßnahmen bei bestehenden Gebäuden.

### Radonschutz bei Neubauten

**BAG-Empfehlungen: bauliche Massnahmen für Neubauten** (Stand: 30.10.2015; zur Zeit in Überarbeitung). Diese enthalten u.a. Hin- bzw. Verweise auf SIA-Normen und -Merkblätter.

*Schweiz BAG\_2015\_BAG-Empfehlung - bauliche Massnahmen für Neubauten.pdf*

Im Einzelnen sind hier von Interesse:

- **SIA-Norm 180/2014** (Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden): u.a. Beschreibung von Radonschutzmaßnahmen
- **SIA-Merkblatt 2023** (2008; Lüftung in Wohnbauten): Informationen zum Thema Radon in Punkten 6.7.1 und 6.7.2
- **SIA-Norm 272** (2009; Abdichtungen und Entwässerungen von Bauten unter Terrain und im Untertagbau): Verweis auf diese Norm, um langfristig Risse in Bodenplatte und erdberührten Wände zu vermeiden; hier u.a. Ausführungen zum Thema wasserdichter Beton

Hinweis:

SIA-Normen, herausgegeben vom Schweizerischen Ingenieur- und Architektenverein, gelten als Stand der Technik und werden beispielsweise auch vor Gericht herangezogen bzw. „anerkannt“.

### Radonsanierung bestehender Gebäude

**BAG-Empfehlungen: bauliche Massnahmen bei Renovationen und energetische Sanierungen** (Stand: 22.2.2017)

Hierin wird u.a. auf das **SIA-Merkblatt 2023** (s.o.; Punkte 6.7.1 und 6.7.2) verwiesen. Die Empfehlungen enthalten zudem den expliziten Hinweis, dass zu jeder Radonsanierung zwingend eine darauffolgende Kontrollmessung gehört.

*Schweiz BAG\_2017\_Empfehlung - Bauliche Maßnahmen bei Renovationen und energetischen Sanierungen.pdf*

**BAG: Wegleitung Radon - Beurteilung der Dringlichkeit einer Radonsanierung** (Stand: 16.2.2018)

In dieser Veröffentlichung werden u.a. Fristen für eine Radonsanierung in Abhängigkeit von Aufenthaltsdauer der Personen und Höhe der gemessenen Radonkonzentration genannt.

Als Grundlage für die Bestimmung der Dringlichkeit einer Radonsanierung werden die zu betrachtenden Räume in drei Kategorien eingeteilt:

- Räume mit langem Personenaufenthalt: mehr als 30 Stunden/Woche
- Räume mit kurzem Personenaufenthalt: 15 bis 30 Stunden/Woche
- Kein Aufenthaltsraum: weniger als 15 Stunden/Woche

Für diese Kategorien werden die folgenden Sanierungsfristen in Abhängigkeit von der gemessenen Radonkonzentration und der Raumnutzung festgelegt.

- Radonkonzentration > 300 bis 600 Bq/m<sup>3</sup>: maximale Sanierungsfrist 10 Jahre bei Räumen mit langem Personenaufenthalt und 30 Jahre bei Räumen mit kurzem Personenaufenthalt;
- Radonkonzentration > 600 bis 1.000 Bq/m<sup>3</sup>: maximale Sanierungsfrist 3 Jahre bei Räumen mit langem Personenaufenthalt und 10 Jahre bei Räumen mit kurzem Personenaufenthalt;
- Radonkonzentration > 1.000: maximale Sanierungsfrist 3 Jahre unabhängig von der Intensität des Personenaufenthaltes.
- Für Räume, die in die Kategorie „Kein Aufenthaltsraum“ fallen, werden keine Vorgaben zu Sanierungsfristen unterbreitet.

*Schweiz BAG\_2018\_Wegleitung Radon - Beurteilung der Dringlichkeit einer Radonsanierung\_2018-02-16.pdf*

Eine detaillierte Darstellung der Berechnung von Sanierungsfristen ist in der folgenden Broschüre enthalten:

*Schweiz BAG\_2018\_Erläuterungen zum Modell für die Festlegung der Radonsanierungsfrist\_2018-02-16.pdf*

#### 2.1.14 Spanien

Spezielle **Normen** zum Thema Radon existieren nicht.

Es existiert eine flächendeckende Karte des Radonpotenzials. Hierin wird die Landesfläche geologiebasiert in 5 Zonen unterteilt. Das Radonpotenzial ist das 90Pz der Verteilung der (gemessenen) Radonwerte in Gebäuden in diesem Gebiet. So bedeutet die Einstufung in die Klasse „P90 entre 301 y 400 Bq/m<sup>3</sup>“, dass 90 % der Gebäude Konzentrationen unter 300 Bq/m<sup>3</sup> aufweisen, in 10 % der Gebäude wird dieser Wert überschritten.

<https://www.csn.es/mapa-del-potencial-de-radon-en-espana>

Eine verwaltungstechnische Umsetzung der Karte zeigt alle Gemeinden, in denen mehr als 75 % der Gebäude eine Radonkonzentration über 300 Bq/m<sup>3</sup> aufweisen.

<https://www.csn.es/mapa-de-zonificacion-por-municipio>

Der *Spanish Technical Building Code* enthält spezielle Anforderungen an den Radonschutz von Neubauten sowie an die Sanierung im Bestand. Die aktuelle Version befindet sich zur Zeit im Entwurfsstadium und ist noch nicht öffentlich verfügbar. Geplant ist eine Veröffentlichung des Entwurfs in den nächsten Monaten, einzusehen auf *Basic Document HS (Salubridad/Gesundheit)*.

<https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-documentoscte.html>

#### 2.1.15 Tschechien

Zurzeit existieren zwei Normen zum Thema Strahlenbelastung.

Eine Norm hat den Radonschutz von Gebäuden zum Inhalt und beschäftigt sich mit Maßnahmen zu Prävention und Sanierung (ČSN 73 0601 Protection of buildings against radon from the soil, 2006; englische Übersetzung; s. Kap. 2.2.2). Es ist eine Revision der Norm geplant, wobei u.a. eine Vereinfachung der Anforderungen an Abdichtungen umgesetzt werden soll.

Die Norm ČSN 73 0602 (Protection of buildings against radon and gamma radiation from building materials, 2000, 2006) hat die Radonexhalation und die Gammastrahlung aus Baumaterialien zum Inhalt. Wegen der weiten Verbreitung von Baumaterialien mit erhöhten Radionuklidaktivitäten in Tschechien ist dies dort ein Thema. Aufgrund der fehlenden Relevanz für Deutschland wird diese Norm hier aber nicht näher betrachtet.

Für Tschechien existiert eine flächendeckende **Radonkarte** des Czech Geological Survey, aufgeteilt nach Kartenblättern im Maßstab 1 : 50 000. Hierin ist der „geogene Radonindex“

dargestellt. Er ist in drei Kategorien (niedrig, mittel, hoch) sowie eine Zwischenkategorie (niedrig bis mittel in nicht homogenen quartären Sedimenten) unterteilt. Basis der Einstufung sind tausende standardisierte Bodenluftmessungen (Radon und Gaspermeabilität) im gesamten Landesbereich. Der in der Karte dargestellte Radonindex repräsentiert die statistisch vorherrschende Kategorie in der angegebenen geologischen Einheit. Bei Wahl eines größeren Maßstabes ist die Verteilung der Messpunkte mit den zugehörigen Daten einzusehen. Bei einem höheren Index ist von einer höheren Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass die Raumlufkonzentrationen über einem Schwellenwert – in Tschechien  $200 \text{ Bq/m}^3$  - liegen.

Wichtig zu wissen ist, dass Radonmesswerte an bestimmten Orten von der dargestellten Kategorie abweichen können, hauptsächlich aufgrund von Unterschieden zwischen der b

Die oben beschriebene Radonkarte wird hauptsächlich dazu genutzt, die Suche nach bestehenden Gebäuden mit (potenziell) erhöhten Raumlufwerten zu steuern. Präventive Maßnahmen bei Neubauten orientieren sich an den Ergebnissen gezielter Untersuchungen auf dem jeweiligen Baugrund.

<https://mapy.geology.cz/radon/>

[http://www.geology.cz/demo/CD\\_RADON50/index/aplikace.htm](http://www.geology.cz/demo/CD_RADON50/index/aplikace.htm)

Des Weiteren sind Informationsschriften (alle jeweils in tschechischer Sprache) verfügbar, die sich mit unterschiedlichen Teilaspekten des Radonschutzes beschäftigen und primär für Baufachleute gedacht sind.

<https://www.radonovyprogram.cz/stavebni-desatero-profesionalu/>

Konkret werden folgende Themen (Bezeichnung der jeweiligen Broschüre) behandelt:

- Radonschutzmaßnahmen (O)
- Abdichtungen (gegen Erdreich) (I)
- Radondiffusionskoeffizient (D)
- Lüftungsmaßnahmen (V)
- Lüfter und Ventilatoren (SRNA)
- Zwischenbodenabsaugung (M)
- Radondrainagen/-brunnen (P)
- Berechnungsbeispiele nach CSN 73 0601 (C)
- Baumaterialien – Gammastrahlung und Radonexhalation (G)

Diese Informationsschriften werden in Kapitel 3.3.4 ausgewertet.

### **2.1.16 Nordamerika**

In Kanada existiert eine Norm, die sich speziell mit der Radonsanierung in (kleineren) Wohngebäuden befasst (Radon mitigation options for existing low-rise residential buildings). Diese wird in Abschnitt 2.2.3 vorgestellt und bewertet. Darüber hinaus existieren einige weitere durch die nationale Gesundheitsbehörde "Health Canada" verfasste bzw. Herausgegebenen Regularien sowie Veröffentlichungen.

In den USA existiert keine spezifische Radonnorm.

### **2.1.17 Zusammenfassung**

In einigen Ländern finden sich in allgemeinen Bauregelungen Hinweise zu Radon. Dies ist beispielsweise in England, Irland, Finnland, Norwegen oder Dänemark der Fall.

In der Regel handelt es sich hierbei um allgemein gehaltene Hinweise ohne weitere Erläuterungen, wie konkret verfahren werden soll. Inhaltlich sind die Formulierungen mit denen der deutschen Musterbauordnung (Schutz einer baulichen Anlage vor chemischen und physikalischen Einflüssen) bzw. der europäischen Bauproduktenverordnung (Grundanforderungen an Bauwerke: u.a. Schutz der Bewohner vor Emission gefährlicher Partikel und/oder Strahlen) vergleichbar.

In manchen Ländern existieren flächendeckende „Radonkarten“ mit unterschiedlichen „Risiko“Klassifikationen. Teilweise sind die Einstufungen mit Empfehlungen zu baulichen Maßnahmen – sowohl Prävention, aber auch Sanierung – verknüpft.

Weitergehende Informationen zur Vorgehensweise bei Prävention und Sanierung können nur durch gezielte Recherchen gewonnen werden. Die Quellen hierfür sind sehr unterschiedlich. Dazu zählen staatliche Stellen - beispielsweise aus den Bereichen Strahlenschutz, Gesundheit oder Bau -, wissenschaftliche Institutionen oder Interessensvertretungen, die sich wegen entsprechender Anknüpfungspunkte mit dem Thema Radon beschäftigen (z.B.: Bauwesen, Lüftungstechnik).

Umfang und Qualität der Informationen variieren ebenso stark. Sie reichen von allgemein gehaltenen Hinweisen zur Bauweise und Nutzung des Gebäudes über Beschreibungen prinzipieller Vorgehensweisen (z.B.: Abdichtung, Drainage) bis hin zu detaillierten Anleitungen für konkrete bauliche Maßnahmen (z.B.: Einbringen von Folien, Installation eines Radonbrunnens). Beispiele hierfür werden in Kapitel 3 („Nicht-Normen“ in AP2) beschrieben.

## 2.2 Landesspezifische Normen

### 2.2.1 Österreich

#### 2.2.1.1 Allgemeines

Eine ausführliche Darstellung des Gesamtinhalts der Norm Ö-Norm S 5280 ist in → **Anlage 1** enthalten.

#### 2.2.1.2 Inhaltsübersicht und Gliederung der Norm

Die Norm ist in drei Teile mit den folgenden Schwerpunkten gegliedert:

- Teil 1: Messverfahren und deren Anwendung
- Teil 2: Bautechnische Vorsorgemaßnahmen bei Gebäuden (Radonschutz im Neubaugeschehen)
- Teil 3: Sanierungsmaßnahmen an Gebäuden

Mit dieser inhaltlichen Aufstellung erhebt die Norm den Anspruch, die im Zusammenhang mit dem radongeschützten Bauen und Sanieren verbundenen Lösungen umfänglich zu erfassen und somit dem Planer und Bauausführenden ein für den Radonschutz ausreichendes Kompendium an die Hand zu geben.

Für die Auswertung sind die aktuellsten Ausgaben der Norm herangezogen worden mit:

**Teil 1: Ö-NORM S 5280-1 (2008-05-01): Messverfahren und deren Anwendungsbereiche**

**Teil 2: Entwurf Ö-NORM S 5280-2 (2017-06-01): Bautechnische Vorsorgemaßnahmen bei Gebäuden**

Die Ausgabe 2012-07 des Teiles 2 wurde eingesehen, aber nicht in die Bewertung einbezogen, da die aktuelle Ausgabe den heutigen Erkenntnisstand abbildet.

**Teil 3: Vornorm Ö-Norm S 5280-3 (2005-06-01): Sanierungsmaßnahmen an Gebäuden**

Alle drei Normenteile beginnen mit den Abschnitten

- 1 Anwendungsbereich
- 2 Normative Verweise
- 3 Begriffe

um danach die spezifischen Fachinformationen zu vermitteln.

Die in **Teil 1** beschriebenen Messverfahren und Messabläufe bilden eine Grundlage für die in den Teilen 2 und 3 beschriebenen Lösungen.

Die Schwerpunkte des **Teiles 2** der Norm sind die

- Beschreibung der Einflussfaktoren auf die Radonkonzentration in Innenräumen, das
- Erfordernis und der Umfang von Radonvorsorgemaßnahmen sowie die
- Beschreibung der bautechnischen Vorsorgemaßnahmen

Im Teil 3 werden die folgenden Inhalte betrachtet:

- Radonmessung am Gebäude und Beurteilung der Messungen
- Möglichkeiten für Radonsanierungsmaßnahmen
- Materialien, Stoffe und Ausführung
- Abwicklung der Radonsanierung
- Langzeitsicherung des Sanierungserfolges und messtechnische Langzeitüberwachung radonsanierter Gebäude

Für Teil 1 und 3 sind normative bzw. informative Anhänge vorhanden. Neben dem bereits weiter oben erwähnten Grundlagencharakter des Teiles 1 sind zudem eine Reihe von Querverbindungen zwischen Teil 2 und 3 zu beachten.

In der Norm wird auf weitere Normen und Veröffentlichungen Bezug genommen. Die wichtigsten werden im Folgenden zusammengestellt (Titel zum Teil in Kurzfassung):

#### **Strahlenschutz:**

- **ÖNORM S 5200:** *Radioaktivität von Baustoffen*
- **ÖNORM S 5223:** *Abschätzung der effektiven Dosis bei Arbeiten mit natürlichen radioaktiven Stoffen (Teil 1 und 2)*
- **ÖNORM S 52 50-1:** *Zählstatistische Aspekte bei Radioaktivitätsmessungen*
- **ÖNORM A 6601:** *Strahlenschutz – Benennung und Definition*
- **DIN 6814-4:** *Begriffe und Benennungen in der radiologischen Technik – Radioaktivität*
- **ICPR 50, UNSCEAR 2000 (UNSCEAR 2000 Report, Vol. I)**  
*Gleichgewichtsfaktor*
- **ÖNRAP** *Das Österreichische nationale Radonprogramm, 2007*
- **Radonpotentialkarte Österreich**

#### **Baugrund:**

- **ÖNORM S 2090:** *Bodenluft Untersuchungen*

#### **Bauvorschriften:**

- **ÖNORM B 3692:** *Planung und Ausführung von Bauwerksabdichtungen*
- **ÖNORM B 4710-1:** *Beton – Teil 1*
- **ÖBV-Richtlinie:** *„Wasserundurchlässige Bauwerke – Weiße Wannen“ 02/2018*

#### **Lüftungstechnik:**

- **ÖNORM H 6000-3:** *Lüftungstechnische Anlagen – Grundregeln, Hygienische und physiologische Anforderungen für den Aufenthalt von Personen*

#### **Bauphysik:**

- **ÖNORM B 8115:** *Schallschutz und Raumakustik im Hochbau*

### **2.2.1.3 Methodik der Auswertung**

Für die Auswertung wird die Gliederung nach den Normenteilen teilweise verlassen, da – wie bereits oben beschrieben – viele Querverbindungen zu berücksichtigen sind und es zudem interessant ist, welche Ansätze für vergleichsweise Fragen bei Neubau sowie in der Sanierung verfolgt werden.

### **2.2.1.4 Grundlagen und Begriffe**

Die Ziele der Norm sind in Teil 1 für das gesamte Normenwerk formuliert mit:

- Beschreibung der Regelungen und Strategien zur Radonmessungen im Zusammenhang mit Neubau und Sanierung;
- Beschreibung der Maßnahmen bei Planung und Errichtung von Neubauten
- Beschreibung des Radonschutzes im Zusammenhang mit der Abwicklung von Sanierungsmaßnahmen
- Beschreibung der Einbindung des Radonschutzes in den Bauablauf bei Neubau und Sanierung sowie der langfristigen Kontrolle des Radonschutzes

### **2.2.1.5 Radonmessungen**

In Teil 1 der Vorschrift werden zu Beginn die Anforderungen und Randbedingungen der Messungen in Abhängigkeit von den Aufgaben/Zielen dargestellt. Im Einzelnen werden die folgenden Messverfahren aufgeführt. Eine detaillierte, tabellarische Zusammenstellung findet sich in Anlage 1.

#### **Orientierende Messungen**

- Rasche Aussage
- Kurzzeitintegrierende oder zeitaufgelöste Messmethoden
- Nicht für Richtwertvergleiche und Expositionsabschätzungen geeignet

### **Messungen für Richtwertvergleiche im Wohnbereich**

- Möglichkeit der Mittelung über längeren Zeitraum

### **Messungen als Grundlage der Expositionsabschätzung an Arbeitsplätzen**

- Falls starke Schwankungen vorliegen, zeitaufgelöste Messungen od. Messungen mit Zeitschaltuhr

### **Ursachenermittlung hoher Radonkonzentrationen**

- Beschreibung der Vorgehensweise
- Hinweise auf mögliche Messverfahren gem. Anlage 1

### **Messung zur Auswahl von Sanierungsmaßnahmen**

- Hinweis, dass häufig provisorische Maßnahmen zur Radonreduzierung sinnvoll sind und diese durch zeitaufgelöste Messungen begleitet werden müssen.

### **Bestimmung des Gleichgewichtsfaktors**

- Beschreibung der messtechnischen Ermittlung
- Bei Luftwechsel von 0,5 bis 1,0 kann Faktor mit 0,4 angenommen werden

### **Untersuchung Bauuntergrund**

- Messung empfohlen

### **Bestimmung Radon-Folgeprodukt-Konzentration in Räumen**

- Kurzbeschreibung der Messmethoden

Weitere Inhalte des Teiles 1 der Norm sind Hinweise zur Durchführung von Rn-222-Messungen. Hierbei wird auf die folgenden Aspekte eingegangen:

- *Wahl des Messortes*
- *Wahl des Aufstellungsortes*
- *Benutzerverhalten*
- *Messprotokoll und*
- *Beurteilung des Radonwertes im Vergleich zu einem Richtwert*

In Anhang A zum Teil 1 der Norm werden die Messmöglichkeiten tabellarisch detailliert mit folgenden Angaben erläutert:

- *Methode*
- *Art der Messung (kurzzeitintegrierend/langzeitintegrierend/zeitauflösend/nicht integrierend)*
- *Probensammlung (passiv / aktiv)*
- *Messbereich Rn-222 (in Bq/m<sup>3</sup>)*
- *Mögliche Expositionsdauer*
- *Temperaturbereich*
- *Bereich der relativen Luftfeuchtigkeit*
- *Diskriminierung Rn-222 – Rn-220*
- *Empfindlich gegenüber Gammahintergrundstrahlung*
- *Anmerkungen*

Eine detaillierte Erfassung der Hinweise zur Messdurchführung ist in Anlage 1 wiedergegeben.

Inwieweit in Bestandsgebäuden eine Radonmessung in der Raumluft erforderlich ist, wird in Teil 3 der Norm ergänzend und in Bezug auf die Radonpotentialklasse sowie die Frage, ob ein Kellergeschoss vorhanden ist, beschrieben.

#### **2.2.1.6 Bautechnische Vorsorgemaßnahmen (Radongeschützter Neubau)**

Die im Teil 2 der Norm zusammengefassten Regelungen gelten für Neu- und Zubauten (Anbauten), aber auch für die Erneuerung von erdberührten horizontalen Bauteilen.

Als Grundlage für die Bestimmung der erforderlichen Radonvorsorgemaßnahmen werden die Einflussfaktoren auf die Radonkonzentration in den Innenräumen aufgeführt und unter Einbindung einiger Abbildungen beschrieben.

Im Einzelnen werden die folgenden Einflussfaktoren aufgeführt (detaillierte Beschreibung siehe Anlage 1):

- *Art und Beschaffenheit des Untergrundes*
- *Gebäudekonzeption*
- *Luftwechsel in Gebäuden*

Die Beschreibung der Einflussfaktoren enthält alle wesentlichen Einflüsse auf die zu erwartende Radonkonzentration in Innenräumen, geht aber über eine allgemeine Beschreibung nicht hinaus. Konkrete Messwerte u. ä. werden nicht genannt.

Im Anschluss an die Beschreibung der Einflussfaktoren werden das Erfordernis sowie der Umfang von Radonvorsorgemaßnahmen beschrieben. Die Schwerpunkte dieses Abschnittes sind:

- *Klassifizierung des Radonrisikos in Abhängigkeit vom Radonpotential*

- *Hinweise zur Planung und Ausführung*
- *Überprüfung der Wirksamkeit.*

Die Klassifizierung des Radonrisikos wird in erster Linie auf die Radonpotentialklassen gem. der österreichischen Radonpotentialkarten bezogen. Bodenradonmessungen sowie die Bestimmung der Permeabilität können mit herangezogen werden, werden aber als aufwändig und kostenintensiv benannt und lediglich als eine mögliche ergänzende Maßnahme aufgenommen. Eine Beschreibung, wie diese Messungen durchzuführen sind bzw. welche Schlussfolgerungen aus den ermittelten Werten gezogen werden können, ist nicht enthalten.

Die Beschreibung der bautechnischen Vorsorgemaßnahmen wird untergliedert in

- Konvektionsdichte Ausführung der erdberührten Bauteile,
- Einführung und Beschreibung der Vorsorgetypen A und B sowie
- Hinweise zu sonstigen baulichen und Lüftungstechnischen Lösungen.

Der grundlegende Ansatz ist dabei, dass die konvektionsdichte Ausführung der erdberührten Gebäudehülle als ausreichende Maßnahme für den Radonschutz gilt. Lediglich für Gebäude im Bereich der Radonpotentialklasse 3 wird zusätzlich der Einbau einer Radondränage (nach Vorsorgetyp B) empfohlen. Da die konvektionsdichte Ausführung für Neubauten „allgemein anerkannter Stand der Technik“ ist, können die beiden Vorsorgetypen als Beschreibung von ergänzenden und/oder kompensierenden Lösungen angesehen werden, wenn – aus unterschiedlichen Gründen – eine konvektionsdichte Ausführung der Gebäudehülle nicht möglich oder nicht vorgesehen ist und das Gebäude in einem Gebiet mit erhöhtem Bodenradonpotential (Radonvorsorgegebiet) liegt.

In einem Ablaufdiagramm wird die Umsetzung des Radonschutzes für Neu- und Anbauten verdeutlicht. Danach ist als erster Schritt zu überprüfen, ob das Gebäude in einem Radonvorsorgegebiet liegt. Ist das nicht der Fall, wird auf die Berücksichtigung der Hinweise nach Abschnitt 6.5 der Norm verwiesen, weitere Maßnahmen sind nicht erforderlich. Liegt das Gebäude dagegen in einem Radonvorsorgegebiet, ist als nächstes die Art der Ausbildung der erdberührten Gebäudehülle zu bewerten. Liegt für diese eine konvektionsdichte Ausführung vor, sind ebenfalls keine zusätzlichen Maßnahmen über die Beachtung der Hinweise nach Abschnitt 6.5 einzuhalten. Ist die erdberührte Gebäudehülle nicht als konvektionsdicht einzuschätzen, wird als nächstes abgefragt, ob ein nicht genutztes Kellergeschoss (Lager- und Nebenräume im Keller, keine Nutzräume) vorhanden ist. In diesem Falle ist zusätzlich zu den in Abschnitt 6.5. beschriebenen Hinweisen der Vorsorgetyp A nach Abschnitt 6.3 zu berücksichtigen, sind im Kellergeschoss Nutzräume angeordnet bzw. geplant oder besitzt das Gebäude keinen Keller oder nur eine Teilunterkellerung, ist der Vorsorgetyp B nach Abschnitt 6.4 zusätzlich zu den Hinweisen nach Abschnitt 6.5 zu berücksichtigen.

Die wichtigsten Aussagen im Abschnitt „Konvektionsdichte Ausführung der Gebäudehülle“ sind:

- Bauwerke, die – einschließlich aller Anschlüsse und Durchführungen - gegen drückendes und nichtdrückendes Wasser abgedichtet sind, gelten als ausreichend radondicht.

- Für Konstruktionen aus WU-Beton erfolgt Verweis auf die entsprechenden Normen. Es werden in Bezug hierauf Anforderungen genannt, nach deren Anwendung die Konstruktion als radondicht gelten kann. Weiterhin wird aufgenommen, dass Bodenplatten radondicht sind, wenn bestimmte Anforderungen aus der österreichischen WU-Richtlinie erfüllt sind.
- Die Ausführung einer einfachen Abdichtung zwischen ungenutzten Kellerräumen und den Aufenthaltsräumen wird empfohlen.
- Für Gebäude in der Radonpotentialklasse 3 wird empfohlen, zusätzlich eine Radondränage vorzusehen.

Der **Vorsorgetyp A** beschreibt Abdichtungsmaßnahmen zwischen Keller und Aufenthaltsbereich. Anzuwenden ist dieser, wenn das Gebäude

- in einem Vorsorgegebiet liegt und
- die erdberührte Hülle nicht konvektionsdicht ausgeführt ist sowie
- eine Vollunterkellerung vorhanden ist und die Kellerräume nicht als Aufenthaltsräume genutzt werden.

Es wird gefordert, konvektionshemmende Türen zwischen Keller und Nutzbereichen in den darüber liegenden Geschossen einzubauen sowie Mediendurchführungen sachgerecht abzudichten.

Für Keller mit Naturboden wird zusätzlich gefordert, die zu Aufenthaltsräumen liegende Konstruktion konvektionshemmend auszuführen. Sie sollten nicht direkt aus den Nutzbereichen, sondern von außen zugänglich sein.

Als alternative Maßnahme kann eine Radondränage vorgesehen werden, für Gebäude in der Radonpotentialklasse 3 wird diese unabhängig von der baulichen Situation immer empfohlen.

**Vorsorgetyp B** bezieht sich auf den zwingenden Einbau von Radondrängen bei Vorliegen der folgenden Situationen:

- Gebäude liegt in einem Vorsorgegebiet und
- Erdberührte Bauteile sind nicht konvektionsdicht ausgeführt und
- das Gebäude ist nicht vollständig unterkellert und/oder im Keller sind Aufenthaltsräume vorhanden.
- Bei Radonpotentialklasse 3 wird eine Radondränage immer empfohlen

Es werden in der Norm unterschiedliche bauliche Lösungen für die Flächendränage sowie für die Abluftführung erläutert (detaillierte Darstellung siehe Anlage 1). Radondrängen sind baulich immer von Wasserdrängen zu trennen.

Abschließend zu Teil 2 der Norm werden Hinweise zu den folgenden besonderen Lösungen zusammengefasst:

- *Mechanische Belüftung*
- *Erdsonden*
- *Luft-Wärmetauscher*

- *Luftbrunnen*

Eine detaillierte Auswertung zu diesen Bauformen kann Anlage 1 entnommen werden.

Die Überprüfung der Wirksamkeit wird für alle Bauvorhaben empfohlen. Des Weiteren werden Langzeitüberprüfungen (Nachmessungen nach 5 bis 10 Jahren) empfohlen, da nachträgliche Veränderungen der Baulichkeit sowie der Nutzung zu Veränderungen führen können.

### **2.2.1.7 Sanierungsmaßnahmen an Gebäuden**

Der Normenteil 3 stammt aus dem Jahre 2005 und ist lediglich als Vornorm herausgegeben. Begründet wird das damit, dass „praktische Erfahrungen noch in der Entwicklung“ sind. Es erstaunt, dass es trotz der immensen Entwicklung des Wissens und der Erfahrungen seit 2005 keine neuere Fassung dieses Normenteiles gibt. Rückfragen haben ergeben, dass möglicherweise geplant ist, diesen Normenteil ganz zurück zu ziehen. Inwieweit in diesem Falle eine veränderte Gesamtnorm geplant ist oder aber für die Regelungen zur Radonsanierung andere Veröffentlichungswege genutzt werden, ist nicht bekannt. Diese hier kurz geschilderte Situation verdeutlicht nicht zuletzt die Problematik, allgemeingültige Regelungen für den Radonschutz im Rahmen von Sanierungen zu formulieren.

Als Grundlage für die Festlegung der Radonsanierungsmaßnahmen werden Radonbeurteilungsklassen A bis D eingeführt.

- *Radonbeurteilungsklasse A:*
  - Radonbeurteilungswert: unter 400 Bq/m<sup>3</sup>
  - Radonsanierungsmaßnahmen: nicht notwendig
- *Radonbeurteilungsklasse B:*
  - Radonbeurteilungswert: 400 bis 600 Bq/m<sup>3</sup>
  - Radonsanierungsmaßnahmen: organisatorische Maßnahmen und/oder geringfügige bauliche Maßnahmen
- *Radonbeurteilungsklasse C:*
  - Radonbeurteilungswert: 600 bis 1.000 Bq/m<sup>3</sup>
  - Radonsanierungsmaßnahmen: einfache bauliche Maßnahmen
- *Radonbeurteilungsklasse D:*
  - Radonbeurteilungswert: über 1.000 Bq/m<sup>3</sup>
  - Radonsanierungsmaßnahmen: mehrstufige komplexe Baumaßnahmen

Für die Bestimmung dieser Radonbeurteilungsklassen sind Radonmessungen nach Teil 1 der Norm durchzuführen, wobei in einer Anmerkung die Empfehlung für eine unbedingte Messung auf die Radonpotentialklasse 3 eingegrenzt wird. Für Gebäude in Radonpotentialklasse 1 sowie 2 kann bei gleichzeitiger Vollunterkellerung nach der Ö-Norm davon ausgegangen werden, dass der Radonbeurteilungswert unter 400 Bq/m<sup>3</sup> liegt.

Im Folgenden werden in der Norm die verschiedenen Möglichkeiten für Radonsanierungsmaßnahmen aufgeführt und erläutert. Die folgende Aufzählung wird durch eine ausführliche Beschreibung in Anlage 1 ergänzt. Alle erfassten und beschriebenen Methoden erhalten dabei ein Kürzel, welches im Folgenden ebenfalls aufgeführt ist.

- **UKL** Unterbindung des konvektiven Luftstromes zwischen Keller und darüber liegenden Räumen
- **RUG** Reduktion des (infolge Kamineffekt) herrschenden Unterdruckes im Gebäude
- **NBG** erhöhte natürliche Belüftung des Gebäudes
- **BB** erhöhte Bodenbelüftung unterhalb der Bodenplatte
- **UBA** Unterbodenabsaugung
- **MBG** mechanische Belüftung des Gebäudes
- **ZBA** Zwischenbodenabsaugung
- **EÜG** Erzeugung von Überdruck im Gebäude
- **VV** Verfüugung von Öffnungen, Rissen und Spalten, Versiegelung von Flächen
- **INJ** Abschirmung des Untergrundes durch Injektionsschirme

Bis auf das letzte hier aufgeführte Verfahren sind alle genannten auch in der deutschen Sanierungspraxis bekannt und werden angewendet.

Der allgemeinen Beschreibung der Verfahren im Normtext ist ein Anhang beigegeben, in dem u.a. auf die Reduktionsspanne, die Zuverlässigkeit, auf technische Erfordernisse sowie Kosten eingegangen wird. Sowohl die Erläuterungen der einzelnen Verfahren im Normtext als auch in Anhang A bleiben allgemein. Hinweise zur konkreten bau- und lüftungstechnischen Umsetzung sind nur in sehr geringem Maße eingeflossen.

In einem folgenden Abschnitt der Norm wird auf Materialien, Stoffe und die bauliche Ausführung eingegangen. Neben einigen allgemeinen Hinweisen geht dieser Teil der Norm ausführlich auf die folgenden Punkte ein (detaillierte Erfassung in Anlage 1 zu diesem Bericht):

- Abdichtung und Verfüugungen von Rissen
- Dimensionierung und Ausführung von Absaugsystemen
- Schallschutz für aktive Lüftungssysteme
- Offene Wasserstellen im Haus

Für Sanierungsmaßnahmen wird – wie auch für Neubauten - in der Ö-Norm die Abwicklung der Radonsanierung über ein Ablaufschema beschrieben. In dieses Ablaufschema ist eingeflossen, dass die Radonsanierung aus mehreren Stufen (Basissanierung und ggf. erforderliche weitere Sanierungsstufen) bestehen kann.

Ausgehend von der Ermittlung der Radonbeurteilungsklasse des Gebäudes nach Abschnitt 4 der Norm werden alle weiteren Schritte der Sanierung festgelegt. Ziel ist es, die Radon-

beurteilungsklasse A zu erreichen. Liegt diese bereits vor der Sanierung vor, werden keine speziellen Radonschutzmaßnahmen erforderlich. Liegt Beurteilungsklasse A nicht vor, sind eine Gebäudebestandserhebung, ggf. die Durchführung detaillierter Radonmessungen sowie die Erstellung eines Sanierungsplanes erforderlich, auf deren Basis die Maßnahmen der sogenannten Basissanierung festzulegen sind. Nach der Durchführung dieser Basissanierung sind die Ergebnisse durch Radonmessungen zu überprüfen. Ist die Radonbeurteilungsklasse A auch dann noch nicht erreicht, ist eine Folgesanierung durchzuführen. Auch diese ist durch Radonmessung zu überprüfen. Beendet ist die Radonsanierung, wenn Beurteilungsklasse A erreicht ist.

Aus dem Ablaufdiagramm ergeben sich alle weiteren Entscheidungen für eine Radonsanierung. Aus Anlage 1 kann die detaillierte Beschreibung der im Ablaufdiagramm aufgeführten Schritte entnommen werden.

Abschließend erfolgt in diesem Normenabschnitt eine Zuordnung der Maßnahmen zu den Radonbeurteilungsklassen:

- *Radonbeurteilungsklasse A:*
  - Radonbeurteilungswert: unter 400 Bq/m<sup>3</sup>
  - Radonsanierungsmaßnahmen: nicht notwendig
- *Radonbeurteilungsklasse B:*
  - Radonbeurteilungswert: 400 bis 600 Bq/m<sup>3</sup>
  - Radonsanierungsmaßnahmen: betroffene Räume nicht als Aufenthaltsräume nutzen  
Maßnahmen **UKL / RUG / NBG / BB**
- *Radonbeurteilungsklasse C:*
  - Radonbeurteilungswert: 600 bis 1.000 Bq/m<sup>3</sup>
  - Radonsanierungsmaßnahmen: Maßnahmen **UKL / RUG / NBG / BB**  
sowie **UBA / MBG / ZBA / EÜG / VV / INJ**
- *Radonbeurteilungsklasse D:*
  - Radonbeurteilungswert: über 1.000 Bq/m<sup>3</sup>
  - Radonsanierungsmaßnahmen: Maßnahmen **UKL / RUG / NBG / BB**  
sowie **UBA / MBG / ZBA / EÜG / VV / INJ**

Ein kurzer Abschnitt zur Langzeitsicherung des Sanierungserfolges schließt den Teil 3 der Norm ab. Es werden Kontrollmessungen nach 5 Jahren und darauffolgend in 10-Jahresabschnitten vorgeschlagen.

### 2.2.1.8 Gesamtbewertung und Schlussfolgerungen für die Erarbeitung der DIN-Norm

Die Erläuterung der **Messverfahren** in Teil 1 gibt im Zusammenhang mit Anhang A dieses Normenteiles eine gute Grundlage für die Radonmessungen. Zwar sind keine konkreten Angaben zu Messaufbau und Messdurchführung enthalten, dafür aber Vorgaben zum Aufbau und den Inhalten von Messprotokollen.

Für die Erarbeitung der DIN-Norm wird angeregt, ebenfalls Aussagen zu den Messverfahren sowie zur Messdurchführung aufzunehmen, um den Anwendern aus dem Bausektor eine umfassende und auf ihre Bedürfnisse abgestimmte Norm an die Hand zu geben.

Der Fokus im Teil 2 (**Radonschutzmaßnahmen im Neubau**) liegt auf der Verhinderung konvektiver Ströme vom Erdreich ins Gebäude. So gilt die Ausführung einer konvektionsdichten Gebäudehülle als ausreichender Radonschutz im Neubau. Lediglich bei sehr hohem Radonpotential wird vorgeschlagen (aber nicht zwingend gefordert!), zusätzlich eine Radondränage vorzusehen. Nur dann, wenn die Konvektionsdichtheit nicht erreicht werden kann, kommen mit den Vorsorgetypen A und B alternative Lösungsansätze zum Tragen. Die grundlegende Vorgehensweise wird in einem einfachen Ablaufdiagramm beschrieben.

Sowohl die Diffusion als auch Exhalation spielen in der Ö-Norm für Neubauvorhaben keine Rolle.

Der Teil 3 der Norm (**Sanierungsmaßnahmen**) enthält eine relativ ausführliche Beschreibung der möglichen Radonsanierungsmaßnahmen, für die auch detaillierte Angaben zur Dimensionierung sowie zu den Materialeigenschaften aufgeführt sind. Damit geht dieser Normenteil gegenüber den Angaben zum Neubau deutlich stärker ins Detail. Eine solch detaillierte Beschreibung in einer Norm birgt die Gefahr, dass Weiterentwicklungen nicht sofort erfasst werden können. Insofern ist diese Herangehensweise problematisch. Ähnlich wie beim Neubau wird in einem Ablaufschema und dazu gehörenden Erläuterungen ein „Fahrplan“ für den Ablauf einer Radonsanierung gegeben, welcher u.a. auch Vorschläge für die anzuwendenden Sanierungslösungen in Abhängigkeit von der Radonbeurteilungsklasse enthält. Inwieweit diese Vorschläge lediglich auf allgemeinen Erfahrungswerten beruhen oder durch umfassende Untersuchungen gestützt sind, geht aus der Norm nicht hervor.

Insgesamt überwiegen die Bedenken hinsichtlich einer speziellen Norm bzw. eines Normteils für die Radonsanierung.

## **2.2.2 Czech Technical Standard ČSN 73 0601 „PROTECTION OF BUILDINGS AGAINST RADON FROM THE SOIL“ (Schutz von Gebäuden gegen Radon aus dem Erdreich)**

### **2.2.2.1 Allgemeines**

Eine ausführliche Darstellung des gesamten Inhalts der Norm ist in →**Anlage 2** enthalten.

### **2.2.2.2 Inhaltsübersicht und Gliederung**

Die Norm ist in insgesamt 9 Teile untergliedert mit:

1. Gegenstand der Norm
2. Normenverweise
3. Definitionen
4. Symbole
5. Grundprinzipien der Radonsenkung
6. Verfahren zur Planung und Durchführung von radonsenkenden Maßnahmen
7. Materialien für Abdichtungen
8. Überprüfung und Wirksamkeit von Radonschutzmaßnahmen
9. Dauerhaftigkeit

Ergänzt werden die Ausführungen durch insgesamt drei Anhänge:

Anhang A (informativ): Beispiele für diagnostische Messungen in Bestandsgebäuden

Anhang B (informativ): Zusammenstellung von Daten, die auf die Gestaltung von Radonschutzmaßnahmen Einfluss haben

Anhang C (informativ): Radon-Label eines Gebäudes

In der Norm wird auf weitere Normen und Veröffentlichungen Bezug genommen. Diese sind in Anlage 2 zusammengestellt.

### **2.2.2.3 Festlegung der geeigneten Radonschutzmaßnahmen in der ČSN-Norm 730601**

Die entsprechenden Nachweise in der Norm arbeiten mit vielen Querverweisen, mit denen versucht wird, eindeutige Zuordnungen der verschiedenen Lösungen zu ermöglichen, die aber auch das Nachweisverfahren kompliziert gestalten. Um einen schnellen Überblick zu ermöglichen, sind hier die wesentlichsten Verknüpfungen graphisch aufbereitet worden. Mit der angefügten Ziffer wird dabei auf den entsprechenden Abschnitt der Norm verwiesen. Es werden die folgenden Zusammenhänge dargestellt:

- A) Bestimmung der Radonbelastung im Boden als Grundlage für Festlegungen in Neubauvorhaben;
- B) Kategorien der Dichtheit der Gebäudehülle als Grundlage für die Verknüpfung der baulichen Maßnahmen zum Radonpotential;
- C) Zusammenhang zwischen der Höhe der Belastung und den anzuwendenden Radonschutzmaßnahmen für Neubau und Sanierung.

## **A BESTIMMUNG DER RADONBELASTUNG FÜR NEUBAUTEN**

Die Bestimmung der Radonbelastung für Neubauten sowie die Definition der Dichtheitskategorien der Gebäudehülle sind im Normenabschnitt „Definitionen“ geregelt.

Auf der Grundlage des Radonpotentials des Bodens (Abschnitt 3.3.1 der Norm) wird der Radonindex einer Baustelle (Abschnitt 3.3.2) festgelegt. Dieser ist wiederum Grundlage für die Festlegung des Radonindex eines Gebäudes (Abschnitt 3.3.3).

Der Radonindex der Baustelle wird in „hoch“, „mittel“ und „niedrig“ eingestuft. Diese Einstufung erfolgt auf der Grundlage des RVA  $C_s$  in der Bodenluft sowie der Gasdurchlässigkeit des Bodens. So ergibt sich z.B. für ein  $C_s \geq 100 \text{ kBq/m}^3$  und einer niedrigen Gasdurchlässigkeit des Bodens die Eingruppierung des Radonindex in die Kategorie „hoch“, liegt dagegen eine hohe Gasdurchlässigkeit des Bodens vor, ergibt bereits ein  $C_s \geq 30 \text{ kBq/m}^3$  die Einstufung in die Gruppe „hoch“ des Radonindex. Die gesamten Eingruppierungswerte des Radonindex sind in Anlage 2, Seite XXV zusammengestellt.

## **B DICHTHEIT DER GEBÄUDEHÜLLE**

Es werden insgesamt drei Kategorien der Luftdichtheit für die erdberührte Gebäudehülle eingeführt. Dabei stellt die 1. Kategorie die höchsten Anforderungen an die Luftdichtheit dar. Erfüllt eine Konstruktion keine der Anforderungen an eine der drei Kategorien, wird diese als „Nicht klassifizierte Konstruktion“ bezeichnet.

## **C ZUSAMMENHANG ZWISCHEN RADONINDEX UND RADONSCHUTZMASSNAHMEN IN NEUBAUTEN**

Im Abschnitt 5 der Norm wird der Zusammenhang zwischen Radonschutzmaßnahmen und Radonbelastung hergestellt. Die folgende Zusammenstellung gibt einen Überblick über die verschiedenen Radonschutzmaßnahmen bei Neubauten und Sanierungen. In Anlage 2, S. XXXIII ff. sind die Zusammenhänge in Blockbildern graphisch aufbereitet dargestellt.

### **NEUBAU, NIEDRIGER RADONINDEX (Abschnitt 5.3 der Norm)**

Im Regelfall ist die 2. Kategorie der Luftdichtheit ausreichen.

Wenn das Gebäude auf einem Kriechkeller errichtet ist, ist die Deckenkonstruktion über dem Kriechkeller mindestens in der 3. Kategorie der Luftdichtheit auszuführen.

### **NEUBAU, MITTLERER RADONINDEX (Abschnitt 5.4 der Norm)**

Im Regelfall ist hier die 1. Kategorie der Luftdichtheit für die erdberührte Gebäudehülle erforderlich.

Für Gebäude mit Zwangsbelüftung oder solche, in denen keine bewohnten Räume im untersten Geschoss liegen, ist bei Einhaltung einiger weiterer, in Anlage 2 detailliert beschriebenen Kriterien die 2. Kategorie der Luftdichtheit für die Gebäudehülle ausreichend.

Für die folgenden Fälle wird die Anwendung des Verfahrens nach Abschnitt 5.5 der Norm (hoher Radonindex) empfohlen:

- Es sind Schäden an der Abdichtung nicht ausgeschlossen;
- Es ist eine Zunahme der Gasdurchlässigkeit des Bodens möglich (z.B. durch Grundwasserabsenkungen);
- Es sind Bewegungen im Untergrund möglich;
- Es besteht die Gefahr von Bauschäden durch geplante Bautätigkeit im Umfeld.

### **NEUBAU, HOHER RADONINDEX** (Abschnitt 5.5 der Norm)

Hier werden die Radonbelastungen noch einmal unterteilt:

- Liegt das Radonpotential unter 70 bzw. der RVA unter 200 Bq/m<sup>3</sup> bei niedriger Bodendurchlässigkeit oder unter 140 Bq/m<sup>3</sup> bei mittlerer Bodendurchlässigkeit oder unter 60 Bq/m<sup>3</sup> bei hoher Bodendurchlässigkeit, wird als Regelfall die Ausführung der 1. Kategorie der Luftdichtheit für die erdberührte Gebäudehülle gefordert.
- Überschreiten die Ausgangswerte die oben zusammengestellten Werte oder ist eine Fußbodenheizung vorhanden ist zusätzlich eine Radondränage oder Belüftungsschicht einzubauen.

Für Sanierungen werden ebenfalls drei Kategorien eingeführt, hier allerdings in Abhängigkeit von der Radonkonzentration in den Wohnräumen:

### **SANIERUNG, $RVA \leq 600 \text{ Bq/m}^3$** (Abschnitt 5.6 der Norm)

Es sind Maßnahmen aus der folgenden Zusammenstellung zu wählen:

- Verschließung von Eindringwegen von Bodenluft
- Erhöhung der Luftwechselrate
- Abdichtung von Deckenkonstruktionen zwischen Aufenthaltsräumen und nicht ständig genutzten Bereichen
- Installation eines einfachen Bodenlüftungssystems
- Zwangslüftung genutzter Räume

Die Ergebnisse sind durch Messung zu überprüfen. Wird das angestrebte Ergebnis nicht erreicht, sind Maßnahmen nach Abschnitt 5.7 der Norm durchzuführen.

### **SANIERUNG, $RVA 600 \text{ bis } 1.200 \text{ Bq/m}^3$** (Abschnitt 5.7 der Norm)

Es ist eine der folgenden Maßnahmen anzuwenden:

- Erhöhung der Luftwechselrate durch Einbau einer Zwangsbelüftung und Abdichtung der erdberührten Gebäude mind. in der Kategorie 3
- Installation eines Bodenlüftungssystems und Abdichtung der erdberührten Gebäude mind. in der Kategorie 3
- Grenzt ein Aufenthaltsraum direkt an die erdberührte Gebäudehülle ist der Einbau einer Abdichtung der Kategorie 1 und eines Bodenlüftungssystems vorzusehen.

Zusätzlich wird die Verschließung von Eintrittswegen empfohlen.

#### **SANIERUNG, RVA > 1.200 Bq/m<sup>3</sup> (Abschnitt 5.8 der Norm)**

Zusätzlich zu den Maßnahmen nach Abschnitt 5.7 der Norm ist der Einbau einer Zwangslüftung in Verbindung mit der Erhöhung der Dichtheit des Gebäudes erforderlich. Bodenbelüftungssysteme sollten aktiv belüftet werden. Die Abdichtung in Kategorie 1 wird empfohlen.

#### **2.2.2.4 Überblick über die in der Norm erläuterten Radonschutzmaßnahmen**

Im Abschnitt 6 der Norm werden alle gebräuchlichen baulichen und Lüftungstechnischen Radonschutzmaßnahmen beschrieben. Diese Beschreibungen sind sehr ausführlich und enthalten diverse Berechnungsansätze. Leider wird auf Abbildungen (Schemaskizzen, Bilder usw.) vollständig verzichtet, sodass die Lösungen nicht durchgängig eindeutig zugeordnet werden können. Wo derartige Fragen offen sind, wird im folgenden Text darauf verwiesen.

Eine ausführliche Erfassung dieser Inhalte ist in → **Anlage 2** enthalten. Im Berichtstext werden lediglich die wichtigsten Ansätze und Zusammenhänge dargestellt.

Im Einzelnen geht die Norm auf die folgenden Lösungen ein:

- Ausbildung der erdberührten Gebäudehülle (Abschnitt 6.1)
- Anforderungen und Ausbildung der Abdichtungen der erdberührten Gebäudehülle (Abschnitt 6.2)
- Unterbodenbelüftungssysteme (Abschnitt 6.3)
- Belüftungsschicht innerhalb der erdberührten Gebäudehülle (Abschnitt 6.4)
- Nutzung von Kriechkellern für die Absaugung von Bodenluft (Abschnitt 6.5)
- Radonschutz in Gebäuden mit nicht für Wohnzwecke genutzten Kellergeschossen (Abschnitt 6.6)
- Kombination von Luftdichtheit der erdberührten Gebäudehülle und Zwangslüftung (Abschnitt 6.7)
- Ausbildung von Durchdringungen durch die erdberührte Gebäudehülle (Abschnitt 6.8)

#### **2.2.2.5 Ausbildung der erdberührten Gebäudehülle**

In diesem Abschnitt werden **allgemeine Regelungen** für die Ausbildung der erdberührten Gebäudehülle als Grundlage für das Aufbringen einer Abdichtung beschrieben. So sollen die

Konstruktionen dauerhaft, fest und ausreichend eben sein. Insbesondere wird auf die Verhinderung von Konvektion durch die Gebäudehülle verwiesen, indem durchgehende Risse u. ä. auszuschließen sind.

Für den **Sanierungsfall** wird vorgeschrieben, dass vorhandene Risse mit einem geeigneten Verfahren verschlossen werden. Sollten die Anforderungen an erdberührte Wände und Bodenplatten bei einer geforderten Luftdichtheitskategorie (gemäß Abschnitt 2.3.2.6.1 der Norm) nicht erfüllt werden können, sind die Konstruktionen auszutauschen.

Nach diesen allgemeinen Anforderungen werden Hinweise zur Ausbildung der folgenden Konstruktionen gegeben:

- Grundwände können in Hohlmauerwerk mit vertikalen Lufträumen ausgebildet werden, wenn diese Lufträume in der Deckenebene zum untersten genutzten Geschoss abgeschlossen sind.
- Bodenplatten müssen in einer Mindestdicke von 100 mm (!) ausgebildet sein, der Abstand der Bewehrungsstäbe darf 150 mm nicht überschreiten.
- Weiterhin wird die Ausbildung von Bodenplatten in der Kombination mit Streifenfundamenten beschrieben.

Für die Kombination von Streifenfundament mit Bodenplatte wird abschließend der Einbau von Lüftungslöchern im Streifenfundament empfohlen. Danach sollen Lüftungslöcher im Abstand von zwei bis drei Metern mit einem Durchmesser von 50 bis 100 mm vorgesehen werden, wenn die Höhe des Streifenfundamentes unterhalb der Bodenplatte mehr als 400 mm beträgt. Diese Lüftungsöffnungen sollen möglichst weit unten im Streifenfundament liegen.

### **2.2.2.6 Ausbildung der Abdichtung der erdberührten Gebäudehülle**

In diesem Abschnitt sind allgemeine Anforderungen und Hinweise zur Ausführung, besondere Lösungen für Radonsanierungen sowie ein Berechnungsverfahren zur Dimensionierung der Abdichtung zusammengefasst.

#### *Allgemeine Anforderungen und Hinweise:*

Die radonsichere Abdichtung muss nach den tschechischen Abdichtungsnormen ausgeführt werden. Für ergänzende Anforderungen wird auf → *Abschnitt 7* der Norm (Materialien) verwiesen. Danach müssen die Abdichtungen einen festgelegten Radon-Diffusionskoeffizienten vorweisen können und muss die Dauerhaftigkeit der Wirksamkeit und die Beständigkeit der Abdichtung gewährleistet sein. Für die Bestimmung des Diffusionskoeffizienten wird auf die Empfehlung der Strahlenschutzkommission (*Recommendation of deputy for radiation protection SÚJB*) verwiesen. Der Wert ist vom Hersteller zu bestimmen und anzugeben.

Ein besonderer Abschnitt verweist darauf, dass die radonsichere Abdichtung im gesamten erdberührten Bereich durchgehend und luftdicht auszubilden ist.

Zu prüfen ist die Vollständigkeit und Qualität der Abdichtung.

### *Besondere Hinweise für die Ausführung der Abdichtung in Bestandsgebäuden*

Es werden detaillierte Hinweise zum Erreichen einer luftdichten Abdichtung im Rahmen von Gebäudesanierungen gegeben. Gleichzeitig wird in einer Anmerkung darauf verwiesen, dass hier die luftdichte Verbindung von Abdichtungen problematisch ist. Für einen hohen Radonindex sowie bei stark geschädigtem Mauerwerk werden Abdichtungen nicht empfohlen.

### *Berechnungsverfahren zur Dimensionierung der Abdichtung*

In der Norm ist ein Berechnungsverfahren zur Dimensionierung der Abdichtung enthalten. Dabei ist nachzuweisen, dass

$$E < E_{mez} \quad [\text{Bq}/\text{m}^2 \cdot \text{h}] \quad (1)$$

ist. Der Wert E wird als Exhalationsrate benannt und gibt die Radonrate an, die an der Oberfläche der Abdichtung austritt.  $E_{mez}$  ist dabei der maximal zulässige Wert.

Für die Berechnung der Werte gelten die folgenden Beziehungen:

$$E_{mez} = (C_{dif} * V_k * n) / (A_p + A_s) \quad [\text{Bq} / (\text{m}^2 \cdot \text{h})] \quad (2)$$

mit:

- $V_k$  Volumen des Innenraums mit Kontakt zum Erdreich [ $\text{m}^3$ ]
- $n$  Luftwechselrate [ $\text{h}^{-1}$ ];
- $A_p$  horizontale Fläche der erdberührten Gebäudehülle [ $\text{m}^2$ ];
- $A_s$  Bereich der Kellerwände in Kontakt mit dem Boden [ $\text{m}^2$ ];
- $C_{dif}$  Teil des Aktionswerts für RVA, der der Radonzufuhr rate durch Diffusion zugeordnet wird [ $\text{Bq} / \text{m}^3$ ];

und

$$E = \alpha_1 * l * \lambda * C_s * (1/\sinh(d/l)) \quad [\text{Bq} / (\text{m}^2 \cdot \text{h})] \quad (3)$$

mit:

- $\alpha_1$  Sicherheitsbeiwert nach Punkt 6.2.9 der Norm [-]
- $C_s$  RVA im Boden, der für die Ermittlung des Radonindex eines Gebäudes entscheidend ist [ $\text{Bq}/\text{m}^3$ ];
- $l$  Radon-Diffusionslänge in der Abdichtung  $l = (D / \lambda)^{1/2}$  [m]
- $D$  Radon Diffusionskoeffizient der Abdichtung. Für die Berechnung wird der höchste Wert des Koeffizienten aus den Werten nach Abschnitt → 7.1a und 7.1b dieser Norm [ $\text{m}^2/\text{h}$ ] verwendet;

- d Dicke der Abdichtung [m];  
 $\lambda$  Radon-Zerfallskonstante [ $\text{h}^{-1}$ ];

In die Berechnung gehen demnach die folgenden Werte und Radonbedingungen ein:

- Geometrische Daten der betrachteten Räume und Konstruktionen (Volumen und Flächen)
- Die maßgebliche Radonkonzentration im Erdreich (RVA)
- Die Luftwechselrate
- Radondiffusionskoeffizient und Dicke der Abdichtung. Der Radondiffusionskoeffizient muss nach den Anforderungen für alle eingesetzten Abdichtungen durch die Hersteller geprüft und angegeben werden. Dabei ist die Vorlage eines Prüfzeugnisses erforderlich.
- Die Radonzerfallskonstante
- Ein Sicherheitsbeiwert  $\alpha_1$  für den in der Norm in Abhängigkeit von der Permeabilität des Bodens sowie der gewählten Radonschutzlösung (ausschließlich Abdichtung oder Abdichtung und zusätzlicher Einbau eines Bodenlüftungssystems) Werte angegeben sind. Diese liegen zwischen 1,0 und 7,0.

Für weitere Konstruktionslösungen, wie die Kombination von unterschiedlichen Abdichtungslösungen (z.B. an Wand und auf der Bodenplatte) sowie mehrschichtige Abdichtungen sind weitere, das Berechnungsverfahren modifizierende Berechnungen angegeben. Das Berechnungsverfahren ist vollständig in → **Anlage 2** wiedergegeben.

Wird der Nachweis nach (1) nicht erfüllt, wird in die Norm folgende Vorgehensweise vorgeschlagen:

- a. Erhöhung der Anzahl von Abdichtungsschichten und Berechnung mit den veränderten Werten
- b. Ergänzung der Konstruktion durch ein Bodenlüftungssystem. Damit wird der Sicherheitsbeiwert verändert.
- c. Ergänzung der Konstruktion durch eine Belüftungsschicht. In diesem Falle erfolgt die Berechnung nach dem in der Norm angegebenen Nachweisverfahren für derartige Konstruktionen (siehe Punkt 2.2.2.8 „Belüftungsschichten“)

### 2.2.2.7 Unterbodenlüftungssysteme

In diesem Abschnitt wird zu Beginn ein Überblick über die Lösungen gegeben. Diesem Überblick schließen sich allgemeine Hinweise zur Ausbildung der Systeme an, um im Anschluss diese detailliert zu beschreiben. Weitere Inhalte sind Vorgaben für die Ausbildung einzelner Komponenten der Systeme sowie Fragen zum Wärme- und Feuchteschutz.

### *Übersicht über die Systeme:*

Nach der tschechischen Norm gibt es vier Grundtypen mit

- a) Bodendränage unterhalb der Bodenplatte oder Lüftungssystem in der Bodenplatte
- b) Punktuelle Absaugung unterhalb der Bodenplatte (Durchbohrung der Bodenplatte)
- c) Radonschacht („Abgaswanne“)
- d) Nutzung eines Brunnenschachtes

### *Allgemeine Hinweise zu Unterbodenbelüftungssystemen:*

Alle Systeme basieren auf der Absaugung von Bodenluft unter oder neben der erdberührten Gebäudehülle.

### *Radondränage:*

Für die Ausbildung einer Radondränage sind in der Norm die folgenden Vorgaben enthalten:

- Mindestdicke der Dränageschicht 150 mm
- Als Material kommt in der Regel Kies mit der Kornklasse 16/32 zur Anwendung
- Die Dränageschicht ist gegen Eindringen von Beton zu schützen.
- Die Dränagerohre sind so zu verlegen, dass Wasser bzw. Kondensat abfließen können (Verlegung im Gefälle)
- Die Dränagerohre sind in jedem von Streifenfundamenten begrenzten Bereich zu führen. Alternativ ist eine Durchbohrung der Fundamente möglich (Durchmesser der Bohrungen 50 bis 100 mm; Abstand der Bohrungen untereinander zwischen 2 und 3 Metern).
- Der Abstand der Rohre soll zwischen 2,00 und 4,00 m liegen.
- Durchmesser des Absaugrohres: 80 ... 100 mm bei Belüftung mittels thermischen Auftriebes und 50 bis 70 mm bei Einsatz eines Lüfters.
- Bei bestehenden Gebäuden wird vorgeschlagen, das Dränagerohr im Bereich der Streifenfundamente zu verlegen, da im Übergang von aufgehender Wand und Boden die Gefahr von Undichtheiten besonders groß ist.

### *Punktuelle Absaugung:*

Für diese Lösung sind die folgenden Vorgaben in der Norm enthalten:

- Durchmesser des Absaugrohres mind. 100 mm bei passiver Lüftung sowie 50 bis 70 mm bei Einsatz eines Lüfters zur Absaugung der Bodenluft;
- Einsatz dieses Systems ist nur möglich, wenn die Kontaktkonstruktion mindestens in der 3. Kategorie der Luftdichtheit ausgeführt ist und die Schicht, aus der abgesaugt wird, eine hohe Permeabilität besitzt. Das Verhältnis zwischen der Gasdurchlässigkeit der Absaugschicht ( $k_d$ ) und des Erdreiches ( $k_s$ ) muss größer 10 sein, d.h. die Durchlässigkeit der Absaugschicht muss deutlich größer als die des Erdreiches sein.

#### *Radonbrunnen:*

Diese Lösung wird in der tschechischen Norm als „Abluftsammlbehälter“ bezeichnet. Für diese Lösung sind in der Norm die folgenden Vorgaben und Hinweise enthalten:

- Mindestgröße 10 dm<sup>3</sup>
- Es ist in jedem durch Streifenfundamente eingefassten Bereich eine Absaugung erforderlich.
- Der Wirkungsradius beträgt ca. 50 m<sup>2</sup> (Anmerkung in der Norm: Mehrere Beispiele haben deutlich größere Wirkungsradien ergeben)
- Ein Einbau des Schachtes kann auch neben dem Gebäude erfolgen, allerdings sinkt dadurch die Wirksamkeit.

#### *Nutzung eines vorhandenen Wasserbrunnens:*

Dieser kann unter Beachtung der folgenden Bedingungen für die Radonabsaugung genutzt werden:

- Lage direkt im Haus oder in unmittelbarer Nähe
- Es steht durchlässiger Boden an
- Der garantierte Wasserstand im Brunnen liegt mindestens 0,5 m unter der untersten Geschossebene des Hauses.
- Die Bodenluft muss aktiv abgesaugt werden (Einsatz eines Lüfters)

#### *Ausbildung der einzelnen Komponenten:*

Für die Ausbildung der Komponenten werden in der Norm eine Vielzahl von Hinweisen bzw. Forderungen zusammengefasst. Im Folgenden wird hierüber eine Übersicht gegeben. Eine ausführliche Darstellung ist in → **Anlage 2** enthalten.

- Hinweise, wo passive bzw. aktive Systeme anzuwenden sind.
- Ausbildung der Komponenten zur Abführung der Bodenluft
- Hinweise zur Leistung der Abluftventilatoren
- Hinweise zum Materialeinsatz für die Lüftungsrohre
- Anordnung des Auslasses für die abgesaugte Bodenluft
- Mindestanforderungen an die Kategorie der Luftdichtheit der erdberührten Gebäudehülle in Abhängigkeit vom gewählten Absaugsystem sowie weiterer Komponenten.

#### *Wärme- und Feuchteschutz:*

Es wird – unter Verweis auf die Wärmeschutznorm (ČSN EN ISO 10211-1) – auf die Problematik der Vereisung sowie Kondensatbildung für einige Lösungen hingewiesen.

### 2.2.2.8 Belüftungsschichten innerhalb der erdberührten Gebäudehülle

Unter diesem Abschnitt der Norm werden Lüftungsschichten zwischen Bodenplatte und Fußbodenaufbau bezeichnet. In Deutschland wird diese Lösung als Zwischen-bodenlüftungen bezeichnet.

Die Beschreibung in der tschechischen Norm umfasst allgemeine Angaben zur Konstruktion, zum Feuchte- und Wärmeschutz sowie zur Dimensionierung. Es werden verschiedene Varianten beschrieben. Des Weiteren sind in diesem Abschnitt Berechnungsverfahren zur Luftwechselrate, zur Radonkonzentration sowie zur Radonzufuhr in der Belüftungsschicht enthalten. Diese Berechnungsansätze sind in → **Anlage 2** detailliert beschrieben.

#### Lösungen:

Die grundsätzliche Schichtenfolge ist für die verschiedenen Varianten grundsätzlich gleich. Von oben nach unten wird folgender Aufbau vorgegeben:

- Fußbodenaufbau mit allen, hier nicht näher spezifizierten, Schichten
- Abdichtung
- Lüftungsschicht
- Abdichtung und Unterbau (Bodenplatte)

Die vorgestellten Lösungen unterscheiden sich durch die Ausbildung der Abdichtungsschichten sowie durch den Einsatz aktiver und passiver Luftabsaugung.

Für den Schichtenaufbau werden die folgenden Lösungen in der Norm beschrieben (Schichtenfolge von oben nach unten):

#### A) NEUBAU

##### Lösung 1 (nach Abschnitt 6.4.12 der Norm):

- Fußbodenaufbau
- Radondichte Abdichtung
- Lüftungsschicht
- Unterkonstruktion in der 3. Kategorie der Luftdichtheit

##### Lösung 2 (nach Abschnitt 6.4.13 der Norm):

- Fußbodenaufbau
- Abdichtung in der 3. Kategorie der Luftdichtheit
- Lüftungsschicht
- Abdichtung in der 1. Kategorie der Luftdichtheit
- Unterkonstruktion

#### B) SANIERUNG

##### Lösung 3 (nach Abschnitt 6.4.15 der Norm):

- Fußbodenaufbau
- Abdichtung in der 1. Kategorie der Luftdichtheit
- Lüftungsschicht

- Unterkonstruktion ohne klassifizierte Luftdichtheit

**Lösung 4** (nach Abschnitt 6.4.16 der Norm):

- Fußbodenaufbau
- Schicht in der 3. Kategorie der Luftdichtheit
- Lüftungsschicht
- Unterkonstruktion ohne klassifizierte Luftdichtheit

Für diese vier Varianten werden unterschiedliche Berechnungsansätze aufgeführt, die in → **Anlage 2** detailliert dargestellt sind.

*Hinweise zur Ausbildung der Zwischenbodenlüftung:*

A) Lüftungsschicht

- Durchgehend über die gesamte erdberührte Gebäudehülle
- Verhinderung von Kondensat bzw. muss diese so ausgebildet sein, dass Kondensat abgeführt werden kann und durch Kondensat keine Schäden an der Konstruktion entstehen
- Aktive Belüftung der Schicht ist Vorzugslösung, bei geringen Höhen der Belüftungsschicht (20 bis 50 mm) wird eine aktive Belüftung vorgeschrieben.
- Als Belüftungsschicht können Noppenbahnen eingebaut werden
- Ein geringer Unterdruck in der Lüftungsschicht wird empfohlen
- Luftansaugung aus dem Raum oder von außen, nicht aber aus dem Boden
- Bei Ansaugung aus dem Raum ist durch geeignete Maßnahmen ein Rückstrom in den Raum (z.B. bei Havarien des Lüfters) zu verhindern
- Verhinderung des Nachströmens kalter Außenluft

B) Standrohre und Lüftereinsatz

- Der Durchmesser von Rohrleitungen (Sammelrohrleitungen) liegt zwischen 80 und 125 mm für aktive Belüftung und 150 bis 200 mm für passive Systeme.
- Horizontale Rohrstrecken sind möglichst kurz auszubilden, Biegungen usw. sind zu vermeiden, um einen geringen Stömungswiderstand zu erhalten.
- Es sollten Lüfter mit der Möglichkeit der Regulierung der Luftmenge eingebaut werden.
- Die Positionierung der Sammelleitung nach außen muss Rückströmungen verhindern.
- Die Sammelrohre sollten im Gebäudeinneren und bis über das Dach geführt werden. Ausnahmen hiervon sind möglich.

### **2.2.2.9 Nutzung von Kriechkellern für die Absaugung von Bodenluft**

Für die Nutzung von Kriechkellern für den Radonschutz werden in der Norm eine Reihe von Anforderungen an die baukonstruktive Ausbildung sowie die Be- und Entlüftung erläutert und

werden Berechnungen zur Ermittlung der Luftwechselrate sowie des RVA-Wertes aufgeführt. Die vollständigen Berechnungsansätze sind in → **Anlage 2** wiedergegeben.

Im Folgenden werden die Anforderungen an die konstruktive und lüftungstechnische Ausführung stichpunktartig erläutert:

- Der Zugang zum Kriechkeller sollte von außen erfolgen bzw. ist zu den genutzten Räumen luftdicht auszuführen.
- Wasser- und Abwasserleitungen, die durch den Kriechkeller geführt werden, sind wärmezudämmen.
- Anzahl, Abmessung und Lage der Lüftungslöcher müssen eine vollständige und zuverlässige Durchlüftung während des gesamten Jahres gewährleisten. Eine lufttechnische Rückkopplung an die Nutzräume muss ausgeschlossen sein.
- Lüftungslöcher sind mit einem Lüftungsgitter abzuschließen, die Lage muss so gewählt werden, dass sie im Winter nicht durch Schnee verschlossen werden und das kein Wasser eindringen kann.
- Die Deckenkonstruktion über dem Kriechkeller ist wie folgt auszuführen:
  - Mindestens in der 3. Kategorie der Luftdichtheit, wenn die Radonkonzentration im Kriechkeller nicht mehr als den dreifachen Wert im Verhältnis zur Radonkonzentration in den darüber liegenden Räumen hat.
  - Kann diese Forderung nicht eingehalten werden, ist eine Abdichtung in höherer Kategorie einzubauen.
- Für den Kriechkeller wird eine aktive Belüftung vorgeschlagen.
- Ist eine aktive Belüftung nicht möglich, sollte im Abluftsystem die zusätzliche Montage eines Lüfters möglich sein, um bei Erfordernis die Wirksamkeit zu erhöhen.

#### **2.2.2.10 Radonschutz in Gebäuden, in denen die erdberührte Gebäudehülle nicht an für Wohn- und Arbeitszwecke genutzte Räume grenzt**

Für den Fall, dass die erdberührte Gebäudehülle ausschließlich an nicht genutzte Räume grenzt (i.A. betrifft das den für Nebenfunktionen genutzten Keller), werden in der tschechischen Norm die folgenden Ausführungsregeln aufgestellt:

- Ausbildung der erdberührten Gebäudehülle mindestens in der 2. Kategorie der Luftdichtheit, für bestehende Gebäude mindestens 3. Kategorie der Luftdichtheit.
- Die Kellerräume sollen eine zuverlässige Belüftung erhalten, wobei für deren Durchbildung die gleichen Regeln gelten, wie für Kriechkeller.
- Die Deckenkonstruktion über den nicht genutzten Räumen soll in Neubauten bei mittlerem Radonindex mindestens in der 3. Kategorie der Luftdichtheit ausgeführt werden, für Sanierungen sind hiervon Ausnahmen zugelassen. Alle weiteren Fälle erhalten in dem Deckenaufbau eine durchgehende Abdichtung nach den in Abschnitt 6.2 der Norm aufgeführten Regeln für die Abdichtung erdberührter Konstruktionen.
- Der Zugang zwischen Keller und Nutzgeschossen ist durch luftdichte Türen abzugrenzen.

### **2.2.2.11 Kombination von Luftdichtheit der erdberührten Gebäudehülle und Zwangslüftung**

Zu Beginn dieses Abschnittes wird für den Fall, dass eine Zwangslüftung vorgesehen wird, die 2. Kategorie der Luftdichtheit für Neubauten sowie die dritte Kategorie der Luftdichtheit für Bestandsbauten gefordert. Die Anforderungen an die Ausbildung der erdberührten Gebäudehülle werden somit gegenüber Gebäuden ohne Zwangslüftung zurückgenommen.

Die Übersetzung des Textes in Abschnitt 6.7.2 ergibt, dass in bestehenden Gebäuden bei Radonkonzentrationen über  $400 \text{ Bq/m}^3$  oder wenn eine Radonquelle im Gebäude identifiziert worden ist, eine Zwangslüftung einzubauen ist, für Neubauten wird diese Forderung auf alle Räume mit Kontaktkonstruktionen zum Erdreich ausgeweitet. Hieraus ergibt sich ein sehr weitgehender Einsatz von Lüftungsanlagen, der zu hinterfragen ist.

Neben den hier diskutierten Fragen zum Erfordernis einer Zwangslüftung enthält dieser Abschnitt der Norm einen Berechnungsansatz für Neubauten und Sanierungen zur Ermittlung des erforderlichen Luftwechsels. Diese Berechnung kann **Anlage 2** (Erläuterung zum Punkt 6.7 der Norm) entnommen werden.

### **2.2.2.12 Ausbildung von Durchdringungen**

Dieser Abschnitt enthält in erster Linie Regelungen für die konvektionsdichte Ausführung von Durchdringungen durch die erdberührte Gebäudehülle in Neu- und Bestandsbauten. Als Regellösung ist dabei der Einbau eines Hüllrohres, welches mit einer festen Manschette an die Abdichtung der Gebäudehülle angeschlossen ist, vorgegeben. Für Situationen, in denen eine Manschette nicht eingebaut werden kann, werden Alternativlösungen genannt und beschrieben. Des Weiteren werden Vorschläge für den Einbau von Hüllrohren in Bestandsgebäuden sowie bei WU-Betonkonstruktionen aufgeführt.

Allgemein wird darauf verwiesen, dass Durchdringungen durch die erdberührte Gebäudehülle soweit als möglich zu reduzieren sind.

### **2.2.2.13 Materialien für die radonsichere Abdichtung**

In Abschnitt 7 der Norm werden in einer relativ kurzen Übersicht Hinweise zur Wahl der Materialien für Abdichtungen zusammengefasst. Im Einzelnen werden die folgenden Punkte aufgeführt:

- Der Radondiffusionskoeffizient der Materialien muss vorliegen. Dieser muss nach einer standardisierten Methode ermittelt worden sein, wofür im Regelfalle der Baustoffanbieter zu sorgen hat.
- Die Verbindung der Materialien muss nach einer eingeführten Methode erfolgen, die die Luftdichtheit gewährleistet.
- Es muss die Dauerhaftigkeit der Wirksamkeit gewährleistet sein.
- Die Materialien müssen beständig sein.

Abschließend werden zwei Konstruktionslösungen für den Einsatz zum Radonschutz ausgeschlossen. Es sind dies:

- Noppenbahnen sowie
- Bitumenbahnen mit Metallträger als alleiniges Abdichtungsmaterial.

#### 2.2.2.14 Überprüfung der Wirksamkeit von radonreduzierenden Maßnahmen

In diesem Abschnitt werden Hinweise zur baubegleitenden Qualitätskontrolle sowie zur Bestimmung der Wirksamkeit der Maßnahme zusammengefasst.

Die Hinweise zur Qualitätskontrolle erfassen die Inspektion der Unterkonstruktion, die (optische) Überprüfung der Dichtheit von Abdichtungsschichten sowie den ordnungsgemäßen Einbau der Komponenten von Bodenbelüftungssystemen.

Die Wirksamkeit der radonsenkenden Maßnahmen ist nach der folgenden Beziehung zu bestimmen:

$$u = 100 (C_p - C_k) / C_p \quad [\%] \quad (4)$$

mit:

u Wirksamkeit der Maßnahmen [%];

C<sub>k</sub> RVA im bewohnbaren Raum, ermittelt durch abschließende Messung nach Durchführung der Maßnahmen [Bq / m<sup>3</sup>];

C<sub>p</sub> RVA im bewohnbaren Raum durch abschließende Messungen vor der Durchführung von Radon-Sanierungsmaßnahmen [Bq / m<sup>3</sup>].

Für die Messungen der Radonkonzentration im Zusammenhang mit Maßnahmen, die auf der natürlichen Bewegung der Luft beruhen, gibt die Norm folgende Vorgehensweise vor:

1. Nach Abschluss der Maßnahme wird mit einer Kurzzeitmessung über einen Zeitraum von mindestens einer Woche ein vorläufiger Wert für die Bestimmung der Wirksamkeit ermittelt.
2. Anschließend wird der abschließende Wirksamkeitswert über eine Langzeitmessung ermittelt. Die Langzeitmessung wird dabei als Jahresmessung vorgegeben, alternativ kann viermal pro Jahr jeweils ein voller Monat gemessen und hieraus ein Durchschnittswert gebildet werden.

Die gemessenen Werte der Radonkonzentration nach Abschluss der Neubau- und Sanierungsmaßnahme sind Grundlage für die Ausweisung des Radon-Labels nach Anhang C der Norm.

### 2.2.2.15 Dauerhaftigkeit

In diesem kurzen Abschnitt sind einige Hinweise zur Dauerhaftigkeit der Radon-schutzmaßnahmen zusammengefasst. Insbesondere betrifft das die folgenden Hinweise:

- Die erforderliche Bestimmung der Dauerhaftigkeit ist in Abhängigkeit von der geplanten Nutzungsdauer sowie den üblichen Reparatur- und Instandhaltungszyklen festzulegen.
- Unzugängliche Bereiche, die einen hohen Aufwand im Reparaturfall erfordern, sind mit der größtmöglichen Zuverlässigkeit und Dauerhaftigkeit auszustatten.

### 2.2.2.16 Anhänge

#### Anhang A Beispiele für diagnostische Messungen in bestehenden Gebäuden

Es werden in diesem als „informativ“ gekennzeichneten Anhang die folgenden Messmethoden als geeignete Methoden kurz vorgestellt. Hinweise zur konkreten Messdurchführung sind in dieser Anlage nicht enthalten.

- a. Ermittlung der durchschnittlichen RVA in allen Räumen, die direkt an die erdberührte Gebäudehülle grenzen. In den oberen Geschossen soll in mindestens 1/3 der Räume eine entsprechende Messung durchgeführt werden. Diese Messung eignet sich für die Feststellung der Wirksamkeit einer Radon Schutzmaßnahme. Allerdings kann mit dieser Messung der Einfluss des Luftwechsels auf das Ergebnis nicht eingeschätzt werden. In den Erläuterungen zu dieser Messung wird die erforderliche bzw. sinnvolle Dauer der Messung nicht beschrieben.
- b. Zeitaufgelöste Messungen des RVA. Mit dieser Messmethode kann die Wirksamkeit von Radonreduktionsmaßnahmen überprüft werden. Sie ist für die Festlegung des zyklischen Regimes von Lüftern gut geeignet.
- c. Sniffing-Messungen werden zur gezielten Ortung von Eintrittsraten eingesetzt.
- d. Analyse der Radonzufuhr rate unter Einsatz der Blower-Door-Methode. Mit diesem Verfahren kann die Luftdichtheit der Kontaktkonstruktionen untersucht werden. Weitere Ziele können die gezielte Ortung von Zuflusswegen sein. Eine detaillierte Beschreibung, in welcher Form der Blower-Door-Test durchzuführen ist, ist nicht enthalten.
- e. Ermittlung des Radonindex eines Gebäudes (Bodenradonmessungen)
- f. Erstellung eines vertikalen Profils der Gasdurchlässigkeit des Bodens. Nach Einschätzung in der Norm sollte diese Messung immer durchgeführt werden, wenn Bodenlüftungssysteme zum Einsatz kommen.
- g. Ermittlung von Gasdurchlässigkeit und des RVA in den Bodenschichten. Nach Vorstellung der Norm sollten diese Werte unter jedem bewohnten Raum bzw. in einem durch Streifenfundamente begrenzten Gebäudeabschnitt erfolgen. Auf diese Messung kann verzichtet werden, wenn eine neue Dränageschicht unter der Bodenplatte eingebaut wird.
- h. Festlegung der Gammadosisrate in der Luft. Damit kann überprüft werden, ob die Baumaterialien als relevante Radonquelle in Frage kommen.
- i. Feststellung der RVA in der Wasserversorgung.

## **Anhang B Zusammenstellung von Einflussfaktoren auf die Gestaltung von radon-senkenden Maßnahmen**

Dieser als informativ gekennzeichnete Anhang besteht aus einer Aufzählung von Einflüssen auf die Radonreduktionsmaßnahmen. Die Aufzählung ist in Anlage 2 wiedergegeben.

## **Anhang C Radon-Label eines Gebäudes**

Dieser als informativ gekennzeichnete Anhang enthält die Bestimmung eines sogenannten Radon-Labels. Neben der graphischen Darstellung der (mittleren) Radonkonzentration enthält dieser Anhang den Vordruck eines Protokolls zur Zusammenstellung aller relevanter Daten hinsichtlich, die im Zusammenhang mit der Radonsicherheit von Bedeutung sind.

Im Einzelnen werden Daten zu folgenden Gruppen erfasst:

- Allgemeine Angaben
- Gebäudecharakteristik
- Radonbelastung im Erdreich (Radonindex)
- Angaben zur Gebäudeabdichtung
- Angaben zur den unterschiedlichen Belüftungssystemen
- Zusammenstellung von Messwerten der Radonkonzentration in den Räumen in Verbindung mit den Raumdaten
- Angaben zum Ersteller des Protokolls

Eine detaillierte Beschreibung des Anhanges C kann der *Anlage 2* entnommen werden.

### **2.2.2.17 Gesamtbewertung und Schlussfolgerungen für die Erarbeitung der DIN-Norm**

Die Norm erfasst umfassend die heute bekannten Lösungen des baulichen Radonschutzes, sowohl für Neubau als auch die Sanierung. Die Gliederung der Norm ist insgesamt logisch, aber zum Teil durch viele Querverweise und Verweise auf weitere Normen sowie durch den vollständigen Verzicht auf zeichnerische Darstellungen etwas unübersichtlich. Die Vorgehensweise mit den Schwerpunkten

- a) Festlegung der geeigneten Radonschutzmaßnahmen
- b) Beschreibung der Radonschutzmaßnahmen
- c) Materialien für den baulichen Radonschutz
- d) Überprüfung der Wirksamkeit und
- e) Dauerhaftigkeit der Radonschutzmaßnahmen

ist logisch. Innerhalb der einzelnen Unterabschnitte wird, wo es sich als sinnvoll erweist, in Erläuterungen zu Neubau und Sanierung unterschieden.

Im Folgenden werden die oben aufgeführten Schwerpunkte a) bis e) zusammenfassend dahingehend bewertet, inwieweit sich Anregungen für die DIN-Normenarbeit ableiten lassen.

#### **a) Festlegungen der geeigneten Radonschutzmaßnahmen**

Die Bestimmung der Radonbelastung für **Neubauten** erfolgt auf der Ermittlung eines Radonindex des Bodens sowie der Baustelle. In den Wert geht neben dem Radonpotential in der Bodenluft auch die Permeabilität des Bodens ein. Dieser im Grunde genommen sehr sinnvolle Ansatz ist insofern nicht vollständig befriedigend gelöst, da die Ermittlung der Werte nicht klar geregelt ist. Somit liefert die in der tschechischen Norm gewählte Herangehensweise an die Frage, welche Randbedingungen für die Festlegung der baulichen und lüftungstechnischen Lösungen herangezogen werden, noch keine voll befriedigende Klärung.

Grundlage für die Bestimmung der anzuwendenden Radonschutzmaßnahmen im Rahmen von **Gebäudesanierungen** bildet der Radonkonzentrationswert in der Raumluft. In der Norm wird empfohlen, diesen Wert über Messungen zu ermitteln. Da eine seriöse Abschätzung dieses Wertes ohne Messungen nicht möglich ist, sollte auch in die DIN-Norm eine entsprechende Empfehlung aufgenommen werden.

Nachvollziehbar und praxisgerecht ist die Festlegung der **Kategorien für die Luftdichtheit** der erdberührten Gebäudehülle. Dabei ist hervorzuheben, dass für die Festlegung der Kategorien die Frage der Sicherheit gegen konvektive Luftströmungen als grundlegendes Kriterium herangezogen wird. Diese Herangehensweise trägt der Tatsache Rechnung, dass die Verhinderung konvektiver Luftströmungen herausragende Bedeutung für den baulichen Radonschutz hat.

Für die Festlegung der Radonschutzmaßnahmen werden in Abhängigkeit von den Ausgangswerten der Radonbelastung (Radonindex bzw. Radonkonzentration in der Raumluft) sowohl für Neubau als auch die Sanierung drei Kategorien (niedrig, mittel und hoch) festgelegt. Diesen werden Mindestanforderungen an die Kategorien der Luftdichtheit zugeordnet. Dabei werden neben einer Regellösung zum Teil alternative Lösungen zugelassen, bei denen in der Regel eine geringere als die geforderte Luftdichtheitskategorie durch zusätzliche Maßnahmen kompensiert wird. Die in letzter Zeit diskutierte Frage, inwieweit im Neubau zusätzlich zu der Abdichtung eine Radondränage anzuordnen ist, wird in der tschechischen Norm dahingehend geregelt, dass diese bei sehr hohem Radonpotential im Boden sowie bei Vorliegen besonderer Randbedingungen, die ein sicheres und dauerhaftes Funktionieren der Abdichtung in Frage stellen, gefordert wird. Diese Vorgehensweise erscheint sinnvoll und auch hinsichtlich der Akzeptanz der für diese Lösung zu erwartenden Mehrkosten praktikabel. Für die DIN-Norm sollte die hier kurz beschriebene Herangehensweise diskutiert werden.

#### **b) Beschreibung der Radonschutzmaßnahmen**

Dieser Abschnitt der Norm ist außerordentlich umfangreich und – wie bereits weiter oben angesprochen – durch die vielen Querverweise und Berechnungen sowie durch das Fehlen erläuternder Skizzen nicht benutzerfreundlich gestaltet. Im Grunde genommen wird eine hohe Anwenderfreundlichkeit erst durch die parallelen Arbeitsmappen (s. Teil 3 des Berichtes, dort Abschnitt 3.3.4) erreicht.

Die Auswahl der beschriebenen Maßnahmen erfasst alle typischen Maßnahmen mit:

- Anforderungen an die erdberührte Gebäudehülle;
- Anforderungen und Ausführung der Gebäudeabdichtung;

- Anforderung und Ausführung von Unterbodenentlüftungssystemen (Radondränage, punktförmige Absaugung, Radonbrunnen sowie Nutzung bestehender Schächte und Brunnen).
- Anforderungen und Ausführung von Belüftungsschichten innerhalb der erdberührten Gebäudehülle
- Nutzung von Kriechkellern
- Kellerräume als Puffer zu den genutzten Bereichen
- Kombination von luftdichter Ausführung der erdberührten Gebäudehülle und Zwangslüftung
- Ausbildung von Durchdringungen

Eine Bewertung hinsichtlich Relevanz für die DIN-Arbeit erfolgt im Abschnitt 2.2.4.

### **c) Materialien für den baulichen Radonschutz**

Es werden ausschließlich Anforderungen an Abdichtungen beschrieben. Die folgenden aufgeführten Aspekte sind für die DIN-Normungsarbeit interessant:

- Es muss der Radondiffusionskoeffizient bekannt sein.
- Die Verbindung der Materialien muss nach einer eingeführten Methode erfolgen, die die Luftdichtheit gewährleistet
- Die Dauerhaftigkeit muss gewährleistet sein.

### **d) Überprüfung der Wirksamkeit**

Für die Überprüfung der Wirksamkeit werden die folgenden Schritte vorgesehen:

- Optische Überprüfung der Dichtheit und des korrekten Einbaus aller Komponenten
- Kurzzeitmessung (mindestens eine Woche) zur Bestimmung der Wirksamkeit
- Langzeitmessung (optimal als Jahresmessung)

Die Ergebnisse der Jahresmessung bilden die Grundlage für die Ausweisung des Radon-Labels.

Die hier vorgeschlagene Verfahrensweise stellt eine sinnvolle und praktikable Lösung dar und sollte in die DIN-Normungsarbeit einfließen.

### **e) Dauerhaftigkeit der Maßnahmen**

Die Ausführungen der tschechischen Norm gehen über allgemeine Aussagen nicht hinaus.

### **f) Anhänge**

In Anhang A ist eine Zusammenstellung möglicher Messmethoden und deren typische Anwendungsbereiche zusammengestellt.

Obwohl es in Deutschland bereits Normen für die Radonmessung gibt, sollten entsprechende Ausführungen auch in die DIN-Norm „Radongeschütztes Bauen“ einfließen, ggf. auch als informativer Anhang, um spezifische Anforderungen an die Messung im Rahmen des Baugeschehens zusammen zu fassen.

Die *Anlage 2* beschränkt sich auf eine allgemeine Zusammenfassung von Einflüssen auf die Radonreduktionsmaßnahmen und enthält keine substantiell relevanten Aussagen für die DIN-Normungsarbeit.

In *Anlage 3* der Norm wird ein sogenanntes Radon-Label für Neubauten und Sanierungen eingeführt und erläutert. Dieses ist – im Zusammenhang mit dem in Anlage 2 wiedergegebenen Vorschlag für einen standardisierten Erfassungsbogen - für die DIN-Normungsarbeit ein interessanter Ansatz.

## **2.2.3 Kanadische Norm CAN/CGsB-14.12-2017 „Radon mitigation options for existing low-rise residential buildings“ (Reduzierung der Radonkonzentration in kleinen bestehenden Wohngebäuden)**

### **2.2.3.1 Allgemeines**

Vereinbarungsgemäß wird die kanadische Norm nicht in der gleichen Ausführlichkeit wie die europäischen Normen ausgewertet. Nach einer Inhaltsübersicht werden die wesentlichen, für die DIN-Normungsarbeit relevanten Abschnitte erläutert und bewertet.

Die Norm ist auf die Sanierung kleiner bestehender Gebäude begrenzt, wobei unter „*low-rise residential buildings*“ Gebäude mit maximal 3 Geschossen und maximal 600 m<sup>2</sup> Grundfläche (s. Definition unter Punkt 3.37 der Norm) zu verstehen sind.

### **2.2.3.2 Inhaltsübersicht und Gliederung**

Eingeleitet wird die Norm durch ein umfangreiches Einführungskapitel, in dem eine kurzgefasste, aber umfassende Darstellung der Grundlagen des Radonschutzes sowie zum Inhalt der Norm gegeben wird (s. Abschnitt 2.2.3.3).

Die Norm ist in insgesamt 9 Teile untergliedert mit:

1. Anwendungsbereich
2. Normative Verweise
3. Definitionen
4. Abkürzungen und Akronyme
5. Aktive Maßnahmen zur Druckreduzierung im Boden
6. Weitere Systeme
7. Kennzeichnung und Information
8. Inspektion
9. Prüfung

Ergänzt werden die Ausführungen durch insgesamt vier Anhänge (alle als „informativ“ gekennzeichnet):

Anhang A: Typische Reduktionen bei Anwendung verschiedener Maßnahmen

Anhang B: Informationen für Hausbesitzer

Anhang C: Radon aus Wasser und aus Baustoffen

Anhang D: Systeme für den Außenbereich

### **2.2.3.3 Einführungsabschnitt**

Wesentliche Inhalte dieses Abschnittes werden im Folgenden stichpunktartig genannt:

- Zu Beginn wird auf die erhöhte Gefährdung der Erkrankung an Lungenkrebs durch hohe Radonkonzentrationen eingegangen und dies ins Verhältnis zu der Gefährdung durch Rauchen gesetzt.
- Es werden die Eindringmechanismen radonhaltiger Bodenluft ins Gebäude vorgestellt, wobei ausschließlich auf den Eintritt durch Konvektion sowie über Wasser eingegangen wird. Der Eintrittsweg „Diffusion“ wird weder im Text noch in der beigefügten Abbildung „Mögliche Eintrittswege von Radon im Bereich der Grundmauern und der Bodenplatte“ erfasst. Folgerichtig spielt dieser Eintrittsweg auch in der gesamten Norm keine bzw. nur eine sehr untergeordnete Bedeutung.

Hinsichtlich der Eingreifwerte werden die folgenden Aussagen getroffen:

- Bei einer durchschnittlichen jährlichen Radonkonzentration über 200 Bq/m<sup>3</sup> sollen reduzierende Maßnahmen angewendet werden.
- Die Maßnahmen sollten so gewählt werden, dass die Radonkonzentration auf einen so niedrigen Wert wie möglich gesenkt wird.
- Die Dringlichkeit der Radonreduzierung steigt mit der Höhe der gemessenen Werte.
- In Neubauten sollten Lösungen angewendet werden, die eine spätere evtl. erforderliche Reduzierung ohne zusätzliche bauliche Eingriffe ermöglichen.

In einem weiteren Teil der Einführung wird ein Überblick über die Detektionstechniken sowie Lösungen zur Radonminderung gegeben. Insbesondere wird auf folgende Aspekte eingegangen:

- Die starken zeitlichen und räumlichen Schwankungen der Radonkonzentration in Böden und Innenräumen erfordern Langzeitmessungen, Kurzzeitmessungen über wenige Tage haben lediglich orientierenden Charakter
- Grundlegende Lösungen sind das Verhindern des Eindringens von Bodenluft sowie ein erhöhter Luftwechsel.
- Für die Verhinderung des Eindringens von Bodenluft wird die Schaffung eines Unterdruckes unter dem Gebäude („Active soil depressurization“ – Kürzel „**ASD**“) als etablierte Methode genannt. „Active“ bezieht sich dabei auf den Einsatz eines Lüfters. Diese Systeme sind in Verbindung mit der Versiegelung von Eintrittswegen die Standardlösungen und sind vor allen anderen Möglichkeiten anzuwenden.
- Für die „Familie“ der ASD-Maßnahmen werden verschiedene, in der Norm näher erläuterte Lösungen genannt (s. Abschnitte 2.2.3.5 bis 7).
- Für die Radonreduzierung durch Luftaustausch ist typischerweise die Anwendung von Wärmerückgewinnungsanlagen anzuwenden.

Da die Norm vorrangig auf Lösungen für kleine Gebäude (Einfamilienhäuser u.ä.) begrenzt ist, wird lediglich kurz in der Einführung auf die Anwendung für größere Gebäude (Mehrfamilienhäuser usw.) eingegangen, ohne hierfür spezifische Angaben zu unterbreiten.

#### 2.2.3.4 Übersicht über die erfassten und beschriebenen Lösungen

Im **Teil 5** der Norm werden die in der Norm geregelten Lösungen zur Absenkung des Luftdruckes unterhalb des Gebäudes (d.h. unterhalb der Grundplatte) beschrieben (*Active soil depressurization methods*). Diese werden als effektivste Lösungen für die Senkung der Radonkonzentration in Bestandsgebäuden bezeichnet und gelten als „erste Wahl“ für die Radonsanierung.

Im Einzelnen werden die folgenden Lösungen beschrieben:

- a) Druckreduzierung unter der Bodenplatte (*Mitigation by sub-slab depressurization*)
- b) Druckreduzierung unter einer Membran (*Mitigation by sub-membrane depressurization*)
- c) Druckreduzierung über einen Schacht und ein bestehendes Entwässerungssystem (*Mitigation by sump and drainage system depressurization*)

Ein weiterer Unterpunkt des Abschnittes 5 befasst sich mit der Vervollständigung, Aktivierung oder Nachrüstung von Vorsorgemaßnahmen (*Completion, activation or retrofitting of preventive measures*).

Im **Teil 6** der Norm werden weitere mögliche Lösungen zur Reduzierung der Radonkonzentration in Gebäuden beschrieben (*Other mitigation methods*). Es werden die folgenden Lösungen erfasst:

- a) Reduzierung durch Belüftungsmethoden (*Mitigation by ventilation methods*)
- b) Abdichtung von Eintrittspfaden

In den folgenden Abschnitten werden die in der kanadischen Norm beschriebenen Lösungen erläutert.

#### 2.2.3.5 Druckreduzierung unter der Bodenplatte

Diese Methode wird in der Norm als Regellösung und „erste Wahl“ bezeichnet.

Im Grunde handelt es sich um punktuelle Absaugungen unterhalb der Bodenplatte, vergleichbar der als „Radonbrunnen“ bekannten Methode. Allerdings ist nicht zwingend ein Schacht vorzusehen. Ausgangspunkt sind eine oder mehrere Bohrungen durch die Bodenplatte und Einführung eines Absaugrohres. Voraussetzung ist, dass unterhalb der Bodenplatte eine genügend gasdurchlässige Schicht vorhanden ist. Interessant ist das vorgeschlagene Prüfverfahren zur Durchlässigkeit dieser Schicht, in dem der Druckabfall über einen Bereich und damit der Wirksamkeitsradius der Absaugstelle ermittelt wird. Dieses Prüfverfahren ist wie folgt aufgebaut: Durch eine Bohrung in der Bodenplatte wird Luft abgesaugt und damit ein Unterdruck erzeugt. Über zwei weitere – kleinere – Bohrungen im Abstand von ca. 25 cm bzw. 1 bis 5 m wird der Druckabfall in Abhängigkeit vom Abstand zur Absaugstelle gemessen und damit die Wirksamkeit bestimmt. Der Test ist in dem Leitfaden „*Health Canada, 2010, ISBN; 978-1-100-18472-2*“ näher beschrieben.

Große Aufmerksamkeit wird der nachträglichen Abdichtung aller möglichen Leckagen gewidmet, um die Wirksamkeit der Absaugung nicht zu beeinträchtigen.

Sehr detaillierte Angaben enthält die Norm zu den einzelnen baulichen Komponenten sowie Material- und Sicherheitsanforderungen. Die wichtigsten werden im Folgenden zusammengefasst:

- *Abmessungen der Grube an der Saugstelle:* Durchmesser ca. 50 cm, Tiefe 15 cm; eine größere Tiefe kann ggf. sinnvoll sein (z.B. beim Vorliegen von Streifenfundamenten unterhalb der Platte)
- *Rohrleitungen* sollen einen Innendurchmesser von 100 mm (4 Zoll), in Ausnahmefällen 75 mm haben. Weitere Angaben sind den Güteanforderungen, der Anbringung sowie evtl. erforderlichen Isolierung der Rohre gewidmet.
- *Horizontale Rohre* sind mit mind. 1% Gefälle zu verlegen. Größere Längsgefälle sind bei bestimmten Situationen gefordert.
- Verwendung spezieller *Inline-Radialventilatoren*, vertikaler Einbau der Lüfter (Verhinderung von Feuchteschäden). Die Installation von Lüftern im Außenbereich ist nur in Regionen mit gemäßigttem Winterklima zulässig. Eine ausführliche Erläuterung der Anforderung zum Einbau von Komponenten im Außenbereich erfolgt in Anlage D der Norm.
  - Abstände zu mechanischen Ansaugöffnungen: 3,00 (1,80) m
  - Abstand zu dauerhaft geschlossenen Fenstern: 1,00 (0,30) m
  - Abstand zu offenbaren Fenstern: 2,00 (1,00) m
  - Abstand zu Türen: 1,00 (0,30) m
  - Abstand zu Außenecken: 0,30 (0,30) m
  - Abstand zu Innenecken: 1,00 (0,30) m
  - Abstand zu gepflasterten öffentlichen Flächen: 2,10 (2,10) m
  - Abstand über dem Niveau von Terrassen, Balkonen usw: 1,00 (0,30) m
  - Vertikaler Abstand zu Dachbodenentlüftungen usw. 1,00 (1,00) m
  - Horizontaler Abstand zu Bereichen, in denen die Gefahr von herabfallenden Eiszapfen besteht: 2,00 (1,00) m
- *Auswahlkriterien für den Lüfter:* Es werden Anforderungen an die Produktsicherheit gem. kanadischer Normen sowie an die Dichtheit des Einbaues (Verhinderung von Leckageverlusten) formuliert.
- *Dichtheitsprüfung:* Es wird für die Gesamtanlage eine Dichtheitsprüfung vorgeschrieben. Damit soll verhindert werden, dass die abgesaugte radonhaltige Bodenluft in die Raumluft entweicht.
- *Funktionstest:* Es wird ein Kurzzeittest (mind. 48 Stunden) vorgeschrieben, der frühestens 24 Stunden nach Aktivierung der Anlage gestartet wird. Ziel des Testes ist die Prüfung der Funktionsfähigkeit der Absaugung. Es wird empfohlen, diesen

Kurzzeittest durch einen Langzeittest zu ergänzen. Der Langzeittest soll alle zwei Jahre wiederholt werden.

#### **2.2.3.6 Bodenluftabsaugung unterhalb einer Membran**

Diese Lösung wird für Gebäude ohne (betonierte) Bodenplatte vorgeschlagen. Dabei werden perforierte Rohre verlegt oder eine durchlässige Bodenschicht eingebracht, über der eine luftdichte Folienabdeckung eingebaut wird. Diese Folie muss in allen Verbindungen sowie Wandanschlüssen abgedichtet sein. Hierzu ist in der Norm eine schematische bildliche Darstellung enthalten.

Die Norm enthält Beispiele für Folienmaterialien. Über einen möglichen schützenden Aufbau oberhalb der Folie wird lediglich vermerkt, dass „in stark frequentierten Bereichen dickere Bahnen und Schutzmatte einzubauen sind“.

Für Rohrleitungen gelten die Anforderungen der unter 2.2.3.5 beschriebenen Lösung. Ebenso gelten die Ausführungen zur Abdichtung gem. Punkt 2.2.3.5. Die Qualität der Abdichtung zur Wand ist visuell zu prüfen. Zusätzlich sollte ein Leckagetest durchgeführt werden.

#### **2.2.3.7 Absaugung unter Einbezug eines bestehenden Entwässerungssystems**

Diese Lösung kann dann angewendet werden, wenn „diagnostische Tests ergeben haben, dass das Verfahren eine angemessene Druckreduzierung ermöglicht“. Das Verfahren wird in der Norm mit einer Prinzipdarstellung erläutert.

Auf die Abdichtung des Schachtes bzw. Pumpensumpfes zum Raum hin einschließlich aller Mediendurchführungen ist wiederum größter Wert zu legen. Für die Wirksamkeit ist zudem wichtig, dass das Ansaugen von Luft aus Fallrohren oder Lichtschächten u.ä. verhindert wird.

Diese hier dargestellte Lösung ist für Deutschland nicht üblich, da eine strikte Trennung zwischen Entwässerungs- sowie des luftabsaugenden Systems gefordert wird.

#### **2.2.3.8 Maßnahmen für Neubauten**

Diese sind in der Norm nur kurz erwähnt. Für eine detaillierte Beschreibung wird auf verschiedene weitere Normen, Gesetze und Verordnungen verwiesen (Can/CGSB-149.116; Baugesetzbuch, Länderbauordnungen, weitere kommunale Programme).

Für den Radonschutz in Neubauten wird die

- Abdichtung aller Eintrittspunkte, der
- Einbau einer „Bodengasbarriere“ (Folienabdichtung) sowie die
- Vorrüstung eines Absaugsystems

genannt.

### **2.2.3.9 Senkung der Radonkonzentration in der Raumluf durch Belüftungsmethoden**

In dieser Norm werden ausschließlich Lösungen vorgestellt, die auf die Verdünnung der Raumluf zielen. Weitere Lösungen, wie z.B. die Belüftung von Kriechkellern, sind in einer Veröffentlichungen der Health Canada mit dem Titel „*Reducing Radon Levels in Existing Homes: A Canadian Guide for Professional Contractors*“ (*Reduzierung der Radonkonzentration in bestehenden Wohngebäuden – Ein Leitfaden für Bauunternehmen in Kanada*) beschrieben.

Nach Einschätzung der Norm sind mechanische Lüftungssysteme mit Wärme- oder Energierückgewinnung nur dann sinnvoll, wenn lediglich geringe Radonreduktionen erforderlich sind, da sie „typischerweise nur geringe Radonreduktionen bieten“. Die Norm enthält eine Beschreibung der verschiedenen Anforderungen an die Auslegung und Konzeption der Lösungen.

### **2.2.3.10 Abdichtungen von Eintrittswegen**

Die Abdichtung ist nach Aussage der Norm keine eigenständige Methode, sondern als (notwendige) Ergänzung zu den in den Abschnitten 2.2.3.5 bis 2.2.3.7 vorgestellten Lösungen erforderlich. Die Aussagen sind allgemein gehalten. Sie benennen die wesentlichsten Bereiche, in denen Undichtheiten auftreten können.

### **2.2.3.11 Kennzeichnung, Inspektion und Prüfung**

Die folgenden Abschnitte der Norm befassen sich mit der Kennzeichnung der Komponenten von Abluftsystemen, der Inspektion vor der Inbetriebnahme sowie der Prüfung der Funktionsfähigkeit der Anlage.

- *Inspektion*: Diese umfasst eine mechanische Systemprüfung nach der Installation mit optischer Überprüfung aller Dichtungen und Anschlüsse sowie der Messung und Dokumentation des Saugdruckes in der Rohrleitung.
- *Prüfung*: In diesem Abschnitt wird noch einmal die Prüfung der Funktionsfähigkeit nach Fertigstellung der Anlage, auf die bereits in Abschnitt 2.2.3.5 eingegangen worden ist, zusammenfassend dargestellt.

### 2.2.3.12 Anhänge

*Anhang A* gibt eine allgemeine **Orientierung zu möglichen Reduktionen** mit

- Versiegelung/Schließen von Undichtheiten in der Gebäudehülle: 10 bis 30%
- Erhöhung des Luftwechsels: 30 bis 70%
- Anwendung von aktiven Absaugsystemen: 50 bis 99%

an.

*Anhang B* enthält eine Vorgabe für ein **Informationspaket für Hausbesitzer** mit folgenden Punkten:

- Was ist Radon
- Gesundheitliche Auswirkungen von Radon
- Wie kann Radon in das Haus gelangen
- Angaben zur Kennzeichnung und Wartung der Systemkomponenten
- Angaben zu Erfolgs- und Kontrollmessungen
- Hinweis auf weitere Informationsquellen

*Anhang C*: geht auf **Radon aus Wasser** und aus den **Baustoffen** ein.

Diese beiden Komponenten sind in der Norm nicht erfasst worden, da sie in der Regel nur geringe Beiträge für die Höhe der Radonkonzentration in der Raumluft erbringen.

- *Radon aus Wasser*: Die Auswirkungen sind in der Regel nur sehr gering. Wird Wasser aus kommunalen Aufbereitungsanlagen bezogen, ist der Beitrag extrem gering und vernachlässigbar. Wasser aus Brunnen kann dagegen einen signifikanten Beitrag zu Radon in der Luft erbringen, wenn die Radonkonzentration im Wasser sehr hoch ist. Als Anhaltswert wird eine Abminderung von 1: 10.000 genannt. Das heist, dass eine Radonkonzentration im Wasser von 10.000 Bq/m<sup>3</sup> die Radonkonzentration in der Raumluft um 1 Bq/m<sup>3</sup> erhöht.

Im Folgenden wird in der Norm noch kurz auf mögliche Behandlungsarten von Wasser eingegangen.

- *Radon aus Baumaterialien*: Nach Untersuchungen durch die Health Canada an verschiedenen Baumaterialien wird festgestellt, dass die Baumaterialien i.A. einen geringen, nicht signifikanten Beitrag zur Radonkonzentration in der Raumluft erbringen.

#### **Anhang D: Systeme im Außenbereich von Gebäuden**

Die Beschreibung dieser Lösungen kann als Ergänzung zu den in Abschnitt 2.2.3.5 bis 2.2.3.7 beschriebenen Lösungen angesehen werden. Die „Auslagerung“ dieser Lösungen in einen Anhang deutet darauf hin, dass derartige Lösungen in Kanada nicht als Regellösungen aufgefasst werden.

#### **2.2.3.13 Gesamtbewertung und Schlussfolgerungen für die Erarbeitung der DIN-Norm**

Die Norm beschränkt sich auf Lösungen für kleine Bestandsgebäude. Insofern betrifft der Ansatz nur einen – wenn auch wichtigen – Ausschnitt aus den Aufgaben im baulichen Radonschutz.

In der Norm werden als Standardlösung verschiedene Varianten der Absaugung von Bodenluft im Bereich der erdberührten Gebäudehülle vorgestellt und ausführlich erläutert. Ergänzend hierzu wird die Abdichtung von Eintrittspfaden vorgeschlagen. Die Erhöhung des Luftwechsels als weitere Möglichkeit der Reduzierung der Radonkonzentration in der Raumluft kommt dann zur Anwendung, wenn die Unterdrucklösungen nicht angewendet werden können. Weitere Radonquellen, wie Wasser und Baumaterialien werden lediglich in einem als „informativ“ gekennzeichneten Anhang kurz erwähnt. Die Diffusion im Bereich der erdberührten Gebäudehülle spielt in der Norm keine Rolle. Höchste Priorität wird dagegen der sorgfältigen und sicheren Abdichtung aller Durchbrüche, Anschlüsse usw. gewidmet.

Diese hier kurz zusammengefasste Wertigkeit der Maßnahmen deckt sich mit den Erfahrungen aus Deutschland und Europa und sollte sich auch in der DIN-Norm wiederfinden.

Die kanadische Norm enthält einige Angaben zur Dimensionierung und Ausgestaltung einzelner Komponenten (z.B. Rohrleitungen), die auch für die DIN-Normungsarbeiten von Interesse sind.

### **2.2.4 Gesamtbewertung der erfassten Normen unter dem Blickwinkel einer Nutzung einzelner Inhalte für die DIN-Normungsarbeit**

#### **2.2.4.1 Ansatz und Überblick**

In diesem Abschnitt werden vergleichende Auswertungen für einzelne Aspekte, die für die DIN-Normungsarbeit von Interesse sind, vorgenommen. Nach einer zusammenfassenden Darstellung werden mögliche Verwendungen für die DIN-Norm diskutiert. Abschließend werden noch offene Fragen zusammengefasst und bewertet.

In den weiteren Ausführungen dieses Abschnittes werden für die zitierten Normen die folgenden Kürzel verwendet:

- Ö-Norm S 5280: Ö-Norm
- Czech Technical Standard ČSN 73 0601: ČSN
- Kanadische Norm CAN/CGsB-14.12-2017: CAN

Es werden die folgenden Aspekte und Lösungen erfasst:

- Übersicht über Aufbau und Inhalt der Normen (2.2.4.2)
- Planungs- und Bauablauf von Radonschutzmaßnahmen (2.2.4.3)
- Radonmessungen (2.2.4.4)
- Ausgangswerte zur Planung und Ausführung (2.2.4.5)
- Kontrolle des Erfolges einer Radonschutzmaßnahme (2.2.4.6)
- Berücksichtigung der Quellen für die Radonbelastung in Räumen (2.2.4.7)
- Luftaustausch Raumluft und Außenluft (2.2.4.8)
- Berechnungen in den Normen (2.2.4.9)
- Überblick über die in den Normen aufgenommenen Lösungen (2.2.4.10)
- Ausbildung der erdberührten Gebäudehülle (2.2.4.11)
- Abdichtung der erdberührten Gebäudehülle (2.2.4.12)
- Unterdruckerlösungen (2.2.4.13)
- Weitere Lösungen (2.2.4.14)
- Mechanische Belüftungssysteme (2.2.4.15)

Zur besseren Übersicht werden die Resumees bzw. Vorschläge für die DIN-Normungsarbeit im Textverlauf durch kursive und fette Schrift hervorgehoben.

#### **2.2.4.2 Übersicht über Aufbau und Inhalt der Normen**

Die Ö-Norm ist in drei Teile gegliedert, sowohl die tschechische als auch die kanadische Norm sind in einem Teil zusammengefasst. Die Aufteilung in drei Teile (Österreich) erscheint auf den ersten Blick sinnvoll, ist aber nicht frei von Widersprüchen, da die Einzelmaßnahmen des baulichen und lüftungstechnischen Radonschutzes nicht immer eindeutig einer Aufgabe zugeordnet werden können. Eine getrennte Betrachtung von Neubau und Sanierung ist für einzelne Aspekte, wie z.B. die Ermittlung der Ausgangswerte erforderlich, nicht aber als gesonderte Teile. Für die CAN Norm dürfte eine Aufteilung in mehrere Teile nie in Betracht gekommen sein, da diese ohnehin nur einen Teilbereich (Sanierung) beinhaltet.

***Für die Struktur der DIN-Norm ergibt sich aus den ausgewerteten Normen kein relevanter Ansatz. Die aktuell geplante Aufteilung in zwei Normenteile wird nicht in Frage gestellt. Der Ansatz, einen gesonderten Normenteil für Sanierung einzuführen, erscheint zumindest in der Ö-Norm nicht überzeugend gelöst.***

Eine weitere Frage stellt sich mit dem Einbau von Abbildungen in die Normen. Als Resümee zeigt sich, dass der vollständige Verzicht auf Abbildungen in der **ČSN-Norm** das Verständnis der Inhalte deutlich erschwert. Für die ČSN-Norm wurden deshalb sogenannte „Arbeitsblätter“ entwickelt, die sehr ausführlich sowie unter Einbezug von Zeichnungen und Beispielrechnungen alle Fragestellungen der Norm sowie darüberhinausgehende Fragen zum radonsicheren Bauen erläutern (s. *Teil 2 des Berichtes, Abschnitt 3.3.4*). Der in der **Ö-Norm** gewählte Weg mit farbigen, teilweise schematisierten Prinzipskizzen und einigen Photos kann ebenfalls nicht überzeugen. Dagegen erscheint der Ansatz der **CAN-Norm**, in der mit einigen ausgewählten technischen Zeichnungen schwer beschreibbare Aspekte erläutert werden, sinnvoll.

***Für die DIN-Norm wird hinsichtlich der Aufnahme bildlicher Darstellungen vorgeschlagen, die verschiedenen aufgeführten Lösungen (Abdichtungen, Radonbrunnen, Radondränage usw.) ergänzend zur textlichen Beschreibung mit ausgewählten Schemazeichnungen zu erläutern. Diese können als Grundrisse, Schnittdarstellungen oder auch Isometrien realisiert werden. Die parallele Erarbeitung und Veröffentlichung von Arbeitsblättern oder ähnlichen Dokumenten, ist eine sehr nutzerfreundliche Vorgehensweise.***

#### **2.2.4.3 Planungs- und Bauablauf von Radonschutzmaßnahmen**

In diesem Abschnitt soll zusammengefasst dargestellt werden, inwieweit in den Normen Ablaufdiagramme bzw. -algorithmen vorgegeben werden und wie deren Verbindlichkeit geregelt ist. In den Abschnitten 2.2.4.5 und 2.2.4.6 werden, daran anknüpfend, die einzelnen Schritte innerhalb der Abläufe detailliert betrachtet und ausgewertet.

Die Planungs- und Bauabläufe werden getrennt für Neubau und Sanierung bewertet.

##### ***Neubau:***

Die **Ö-Norm** enthält ein Ablaufdiagramm für Neubaumaßnahmen (→s. *Abschnitt 2.2.1.6*, dort Bild 1 dieses Berichtes). Als Entscheidungen gehen die folgenden Ausgangswerte ein:

- Liegt Radonvorsorgegebiet vor (s. Abschnitt 2.2.4.5)
- Ist eine konvektionsdichte Ausführung geplant/ausgeführt
- Hat das Gebäude ein Kellergeschoss ohne Aufenthaltsräume

Liegt das geplante Gebäude nicht in einem Radonvorsorgegebiet, werden die allgemeinen Hinweise für eine konvektionsdichte Ausführung als ausreichend hinsichtlich der Erfüllung der

Anforderungen an den baulichen Radonschutz angesehen. Für Gebäude in einem Radonvorsorgegebiet sind die weiteren oben aufgeführten Fragen zu beantworten, wobei es letztendlich darauf hinausläuft, dass lediglich bei nicht konvektionsdichter Gebäudehülle weitere Maßnahmen (Vorsorgetyp A und B) zu beachten sind.

Ein stufenweises Vorgehen spielt für den Neubau in der Ö-Norm keine Rolle.

Abschließende Erfolgsmessungen sind in dem Ablaufdiagramm nicht aufgenommen. Im Normentext wird aber eine Überprüfung der Wirksamkeit empfohlen, ebenso wie eine Nachmessung nach 10 bis 15 Jahren.

Das in der ČSN-Norm zugrunde gelegte Vorgehen wird nicht über ein oder mehrere Ablaufdiagramme dargestellt. Dadurch muss sich der Nutzer die Abläufe selbst erarbeiten bzw. auf die Arbeitsblätter (s. Abschnitt 3.3.4) zurückgreifen. Im Rahmen der Auswertung der Norm für diesen Bericht wurde versucht, entsprechende Ablaufdiagramme zu entwickeln (→s. Abschnitt 2.2.2.3, dort Bilder 3 bis 7). Danach gehen folgende Kriterien in die Wahl der Lösungen für Neubauten ein:

- Radonindex des Baugrundes
- Kategorie der Luftdichtheit des Gebäudes
- Ist ein Kriechkeller (bzw. für Nebenfunktionen genutztes Kellergeschoss) vorhanden

Zur Ermittlung und Einschätzung des Radonindex wird im Abschnitt 2.2.4.5 Stellung bezogen. Der Radonindex ist der maßgebende Ausgangswert für die Festlegung der zu realisierenden Lösungen. Hinsichtlich der zu wählenden Lösungen steht die Luftdichtheit der Gebäudehülle (Bewertung s. Abschnitt 2.2.4.12) im Vordergrund und wird als ausreichend für den baulichen Radonschutz mit folgenden Einschränkungen bzw. Ergänzungen bewertet:

- Wenn eine genügende Luftdichtheit nicht gewährleistet werden kann, sind kompensierende Maßnahmen möglich.
- Für sehr hohe Radonbelastungen (hoher Radonindex) wird als Regelfall vorgeschlagen, zusätzlich zu einer hohen Abdichtungsqualität (1. Kategorie der Luftdichtheit) eine Belüftung des Unterbodens vorzuinstallieren.
- Ein stufenweises Vorgehen wird in der ČSN-Norm lediglich hinsichtlich der zusätzlichen Belüftung des Unterbodens bei sehr hohem Radonindex empfohlen.

Abschließende Erfolgsprüfungen sind wie folgt geregelt:

- Es wird eine (optische) Prüfung der Bauqualität empfohlen
- Nach Fertigstellung sind Ergebnismessung (s. Abschnitt 2.2.4.4) durchzuführen. Auf Grund der Ergebnisse dieser Messungen wird ein Radonlabel für das Gebäude festgelegt.

Die CAN-Norm enthält keine Aussagen zum Radonschutz im Neubau.

Sanierung:

Die **Ö-Norm** enthält ein Ablaufdiagramm für Sanierungsmaßnahmen (→s. *Abschnitt 2.2.1.7*, dort Bild 2 dieses Berichtes). Als Entscheidungen gehen die folgenden Ausgangswerte ein:

- Radonbeurteilungsklasse (s. Abschnitt 2.2.4.5)
- Gebäudebestandserhebung und evtl. Radonmessungen in der Raumluft

Es sind insgesamt vier Radonbeurteilungsklassen, die sich auf einen Radonbeurteilungswert beziehen, eingeführt. Radonbeurteilungsklasse A hat die geringsten Werte, Radonbeurteilungsklasse D die höchsten. Den Radonbeurteilungsklassen werden verschiedene Radonsanierungsmaßnahmen zugeordnet, wobei mit steigender Klasse aufwändigere Maßnahmen zum Einsatz kommen. Bei Vorliegen der Radonbeurteilungsklasse A müssen nach Ö-Norm keine Radonschutzmaßnahmen ergriffen werden.

Im Ablaufdiagramm werden Basissanierungen und Folgesanierungen unterschieden, d.h., es wird ein abgestuftes Vorgehen vorgeschlagen.

Die Formulierung „Falls Messungen erforderlich...“ überlässt die Entscheidung, ob sowohl vor als auch noch einer Sanierung gemessen wird, den Fachplaner bzw. Bauherren.

In der ČSN-Norm sind für die Sanierung keine graphisch aufbereiteten Ablaufdiagramme enthalten, sehr wohl aber in den textlichen Erläuterungen Angaben zu den Entscheidungen und zur Wahl der Radonschutzlösungen. Im Rahmen der Auswertung der Norm für diesen Bericht wurde versucht, entsprechende Ablaufdiagramme zu entwickeln (→s. Abschnitt 2.2.2.3, dort Abb. 8 bis 10). Es gehen folgende Kriterien in die Wahl der Lösungen für Neubauten ein:

- Radonkonzentration in der Raumluft (in der Norm als „RVA-Wert“ definiert).
- Kategorie der Luftdichtheit der erdberührten Gebäudehülle

Es sind insgesamt drei Kategorien der Radonkonzentration definiert. Entsprechend der Höhe der Ausgangswerte steigt der Aufwand und die Komplexität der vorgeschlagenen Sanierungslösungen.

Für eine Radonsanierung sind die folgenden Voruntersuchungen durchzuführen (s. Abschnitt 5.2 der Norm; in Anlage 2 unter Punkt 5.2 nachzulesen):

- Detaillierte Messungen der Radonkonzentration in der Raumluft sowie
- vollständige Erfassung der Gebäudekonstruktion.

Es wird in der ČSN-Norm für Radonsanierungen kein abgestuftes Verfahren vorgeschlagen.

Abschließende Erfolgsprüfungen sind wie folgt geregelt:

- Es wird eine (optischen) Prüfung der Bauqualität empfohlen
- Nach Fertigstellung sind Ergebnismessung (→ s. Abschnitt 2.2.4.4 und 5) durchzuführen. Auf Grund der Ergebnisse dieser Messungen wird ein Radonlabel für das Gebäude festgelegt.

Die CAN-Norm konzentriert sich auf die Beschreibung der Lösungen für Radonsanierungen und enthält keine Aussagen zum Ablauf von Untersuchungen zum baulichen Radonschutz und somit auch nicht zur Einordnung von Vor- und Nachuntersuchungen (Messungen usw.).

**Für die Erarbeitung der DIN-Norm können hinsichtlich der Festlegung von Ablaufschemata aus der Auswertung der Normen folgende Empfehlungen abgeleitet werden:**

- **Es ist sinnvoll, Ablaufdiagramme sowohl für Neubauten als auch Sanierungen in die Norm aufzunehmen, wobei beide Aufgaben getrennt zu betrachten sind. Entsprechend der vorgesehenen Strukturierung der Norm sind diese Ablaufschemata in Teil 2 der Norm einzuordnen.**
- **Die entsprechenden Ablaufdiagramme sollten den gesamten Prozess, einschl. aller Entscheidungen in Abhängigkeit von den Ausgangsbedingungen sowie der baulichen Lösungen und der Erfolgskontrolle und -prüfung umfassen.**

**Für den Neubau sind insbesondere die folgenden Fragen zu diskutieren:**

- **Welche Ausgangsbedingungen werden zugrunde gelegt (s. hierzu auch Punkt 2.2.4.5)**
- **Werden zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen (z.B. Vorinstallation einer Bodenabsaugung) bei sehr hohem Radonpotential vorgeschrieben bzw. empfohlen.**

**Für Sanierungsmaßnahmen lassen sich aus den ausgewerteten Normen folgende Überlegungen für die Erarbeitung der DIN-Norm ableiten:**

- **Bestimmung der Ausgangsbedingungen: Werden – wie sowohl in der Ö-Norm als auch der ČSN-Norm enthalten - differenzierte Vorgehensweisen in Abhängigkeit von der vorhandenen Belastung vorgeschlagen oder vorgegeben, müssen die Ausgangswerte über eine Messung ermittelt werden. Dabei können für geringe Gefährdungssituationen (z. B. wenn das Gebäude in Gebieten mit geringem Radonpotential liegt und die Räume nicht direkt an die erdberührte Gebäudehülle grenzen) für einen Großteil der Gebäude Ausnahmen, d.h. in diesem Falle, Verzicht auf unbedingte Radonmessungen, definiert werden.**
- **Die Erfolgskontrolle sollte immer eine Überprüfung der Qualität der baulichen Ausführung als auch Messungen umfassen. Dabei können die gestuften Messungen, wie sie sowohl in der tschechischen als auch kanadischen Norm vorgeschlagen werden (s. Punkt 2.2.2.14 und 2.2.3.5), als praktikable Lösung auch für die DIN-Norm zugrunde gelegt werden.**

#### 2.2.4.4 Radonmessungen

Im Rahmen dieses Abschnittes soll die Frage im Vordergrund stehen, welche Aussagen hinsichtlich der Radonmessungen in eine Bau- bzw. Lüftungsnorm aufgenommen werden sollten und – natürlich – welche Messungen durchgeführt werden sollen.

In der **Ö-Norm** ist ein ganzer Teil ausschließlich den Radonmessungen gewidmet. Dort werden die Messverfahren in Kurzform beschrieben und werden Hinweise zur Anwendung der verschiedenen Messverfahren gegeben. Daneben enthält die Norm umfängliche Aussagen zur Durchführung der Messungen – von der Wahl des Messortes über Aussagen zur korrekten Aufstellung der Messgeräte, das Nutzerverhalten während der Messungen bis hin zum Messprotokoll.

Für die Durchführung von Radonmessungen beinhaltet die Ö-Norm folgende Vorschläge und Forderungen:

- Im Neubau wird als Grundlage für weitere Entscheidungen zur Bestimmung der Grundlagen die Radonpotentialkarte Österreichs herangezogen. Messungen im Boden (Radonpotential, Permeabilität) werden als mögliche, allerdings aufwändige, zusätzliche Maßnahmen bezeichnet.
- Für die Gebäudesanierung werden Radonmessungen in der Raumluft bei Radonpotentialklasse 3 als unbedingt erforderlich angesehen, für alle weiteren Gebäude werden diese empfohlen. Allerdings bezieht sich diese Einschränkung auf einen Zielwert von 400 Bq/m<sup>3</sup>. Inwieweit der heute aktuell niedrigere Referenzwert auch in Gebäuden mit geringerem Radonpotential Ausgangsmessungen erforderlich macht, ist im Weiteren zu diskutieren. Für die Messungen können unterschiedliche Messmethoden zur Anwendung kommen, die im Teil 1 der Norm aufgeführt und beschrieben sind. Hier gibt es demnach keine klare Vorgabe für die Art der Messung.
- Messungen nach Abschluss der Baumaßnahme werden sowohl für Neubauten als auch Sanierungen empfohlen, ebenso werden zur Langzeitüberwachung Messungen nach 5 Jahren und danach in Abständen von 10 Jahren empfohlen.
- In Teil 3 der Norm sind in Ergänzung zum Teil 1 Hinweise zur Radonmessung und Erfassung der Radoneintrittspfade für die Sanierung zusammengefasst. Des Weiteren wird der Einsatz der Blower-Door-Methode zur Ortung von Eintrittspfaden sowie als Verfahren zur schnellen Verifizierung des Sanierungserfolges als weitere Möglichkeit vorgeschlagen.

In der **ČSN-Norm** ist in Anhang A ein informativer Überblick über die verschiedenen Messmethoden und deren Anwendung gegeben. Angaben, welche Messungen im Rahmen des Planungsprozesses durchzuführen sind, werden im Zusammenhang mit den Erläuterungen zu den Ausgangswerten bzw. zur Qualitätskontrolle gegeben. Dabei wird auch auf den bestehenden Widerspruch zwischen Langzeitmessungen (Jahresmessungen usw.) und den Anforderungen der Baupraxis nach schnellen Ergebnissen dahingehend reagiert, dass ein stufiges Messverfahren (Kurzzeitmessungen nach Abschluss der Baumaßnahmen als orientierende Messungen, danach Durchführung einer Langzeitmessung für den Erhalt eines „amtlichen“ Messergebnisses) angewendet werden kann.

Zwar formuliert die Norm keine Verpflichtung zu Radonmessungen, zumindest aber für Sanierungen kann eine Messpflicht indirekt erkannt werden, da ansonsten die zugrunde zulegende Ermittlung der Ausgangswerte nicht möglich ist.

Ähnlich sind die Aussagen in der **CAN-Norm** zu interpretieren. Auch hier werden Radonschutzmaßnahmen vom Wert der jährlichen durchschnittlichen Radonkonzentration in den Räumen abhängig gemacht – und diese können nur über Messungen erkundet werden.

**Aus der Auswertung der Normen können für die DIN-Normarbeit folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:**

- **Es sollte in die DIN-Norm eine für den Bau- und Lüftungsfachmann spezifisch orientierte Erläuterung der Radonmessverfahren und deren Anwendung aufgenommen werden. Sinnvoll wäre diese zusätzliche Information als informativer Anhang zu Teil 2 der Norm. Da es bereits eine Normenreihe zu Radonmessungen gibt, können die Inhalte im Sinne eines Überblickes gestrafft sein, mit dem Hinweis, detaillierte Aussagen in der Messnorm zu finden.**
- **Es sollte in die DIN-Norm eine für den Bau- und Lüftungsfachmann spezifisch orientierte Erläuterung von Radon“messprotokollen“ aufgenommen werden, die eine geeignete Vorgehensweise für Prüfungen beinhalten (z.B.: Bauabnahme nach Fertigstellung, Kontrolle nach Sanierung). Sinnvoll wäre diese zusätzliche Information als informativer Anhang zu Teil 2 der Norm. Bezüglich der eigentlichen Radonmessungen kann auf die entsprechende Normenreihe (DIN 11665) verwiesen werden.**
- **Die Normenauswertung bestätigt im Grunde, dass Bodenradonmessungen zur Erlangung von Ausgangswerten beim Neubau wenig sinnvoll sind und auf Ausnahmefälle beschränkt bleiben sollten. Dagegen sind für Sanierungsmaßnahmen Messungen der Radonkonzentration in der Raumluft als Regelfall allen Planungs- und Ausführungsentscheidungen voranzustellen, da diese Messungen zum einen relativ kostengünstig erstellt werden können, zum anderen ohne entsprechende Werte keine sinnvollen Festlegungen möglich sind.**
- **Radonmessungen in der Bodenluft liefern eine Abschätzung der natürlichen Radonquellstärke im Boden und werden in Deutschland zusammen mit der Bestimmung der oberflächennahen Gasdurchlässigkeit oftmals als Grundlage zur (regionalen) Gebietsbewertung eingesetzt („Radongebiete/Radonvorsorgegebiete“). Bodenluftmessungen im Vorfeld von Neubaumaßnahmen können durchgeführt werden, sind aber nicht in jedem Fall notwendig. Ob solche Messungen sinnvoll sind, muss auch beispielsweise anhand der geplanten Bauweise und späteren Nutzung des Gebäudes entschieden werden. Dagegen sind für Sanierungsmaßnahmen Messungen der Radonkonzentration in der Raumluft als Regelfall allen Planungs- und Ausführungsentscheidungen voranzustellen, da diese Messungen zum einen relativ kostengünstig erstellt werden können, zum anderen ohne entsprechende Werte keine sinnvollen Festlegungen möglich sind.**

- **Die Auswertung bestätigt ebenfalls, dass Erfolgsmessungen nach Abschluss der Baumaßnahmen zwingend erforderlich sind.**
- **Die Normen enthalten zum Teil sinnvolle praktische Hinweise zur Messdurchführung, wie die Kombination von Kurz- und Langzeitmessungen. In diesem Zusammenhang ist auch die Integration des Blower-door-Testes ein interessanter Ansatz, auch wenn in den ausgewerteten Normen hierfür keine konkreten Hinweise gegeben werden.**
- **Die Normen enthalten zum Teil sinnvolle praktische Hinweise für Messprotokolle wie die Kombination von Kurz- und Langzeitmessungen in Form einer gestuften Vorgehensweise.**
- **Sowohl zu den Messungen vor Beginn einer Sanierung als auch nach Abschluss wird vorgeschlagen, dass im Regelfall gemessen werden muss (mit möglicher Differenzierung der Messverfahren) und Ausnahmetatbestände eingeführt werden können, in denen auf diese Messungen verzichtet werden kann (analog der Vorgehensweise nach Ö-Norm). Ein gestuftes Vorgehen ist hierbei zu bevorzugen.**

#### **2.2.4.5 Ausgangswerte zur Planung und Bauausführung**

Wie bereits im Abschnitt 2.2.4.3 dargelegt, werden nunmehr einzelne wichtige Aspekte im Rahmen des Planungs- und Bauablaufes näher betrachtet und bewertet. Diese beziehen auch immer die Aussagen des Abschnittes 2.2.4.4 zu Radonmessungen ein. Es wird wiederum zwischen Neubau und Sanierung unterschieden.

##### **Neubau:**

Die **Ö-Norm** legt die Eingruppierung in ein „Radonvorsorgegebiet“ für alle weiteren Entscheidungen zugrunde. Die „Radonvorsorgegebiete“ umfassen alle in der „Radonrisikokarte“ 2 (leicht erhöhtes Risiko) und 3 (erhöhtes Risiko) eingeordneten Gemeinden. Nach einer groben Abschätzung betrifft das zwischen 10 und 20% der Fläche Österreichs. Da aus Radonkarten – wie bekannt – das konkrete Risiko eines Gebäudes bzw. Bauplatzes nicht abgeleitet werden kann, können nach Ö-Norm auch Bodenradonmessungen zugrunde gelegt werden. Allerdings werden keine konkreten Angaben zur Durchführung derartiger Messungen gegeben und wird zudem einschränkend vermerkt, dass diese Messungen sehr aufwändig und kostenintensiv sind.

In der **ČSN-Norm** wird vom Radonindex einer Baustelle (bzw. eines Grundstückes) ausgegangen. In die Ermittlung geht die Radonkonzentration in der Bodenluft sowie die Gasdurchlässigkeit des Bodens ein. Aus diesen Werten ist der Radonindex eines Gebäudes zu bestimmen. Zur Ermittlung werden Bodenradonmessungen sowie Messungen der Gasdurchlässigkeit des Bodens und/oder eine „Expertenbewertung“ vorgeschlagen. Hinsichtlich der Durchführung dieser Messungen wird auf das tschechische Strahlenschutzgesetz (Gesetz 18/1997) verwiesen. Nach diesem Gesetz sind Bauherren

verpflichtet, in Bauanträgen für Neubauten den Radonindex anzugeben. Die Angaben zur Ermittlung sind wenig konkret.

Sanierung:

In der **Ö-Norm** werden vier Radonbeurteilungsklassen (unter 400 Bq/m<sup>3</sup> / 400 bis 600 Bq/m<sup>3</sup> / 600 bis 1.000 Bq/m<sup>3</sup> sowie über 1.000 Bq/m<sup>3</sup>) eingeführt. Hinsichtlich der Eingruppierung in eine der Radonbeurteilungsklassen sind Radonmessungen durchzuführen. Einschränkend hierzu wird in der Norm vermerkt, dass bei Vorliegen der Radonpotentialklasse 1 sowie Radonpotentialklasse 2 und vollunterkellertem Gebäude davon ausgegangen werden kann, dass der Radonbeurteilungswert unter 400 Bq/m<sup>3</sup> liegt und deshalb auf Radonmessungen verzichtet werden kann. Die Grenzen der Radonbeurteilungsklassen beziehen sich nicht auf die heute gültigen Referenzwerte, da der Normenteil 3 der Ö-Norm deutlich vor Einführung des Referenzwertes veröffentlicht wurde.

Die Eingruppierung von Gebäuden bzw. Räumen in eine Gruppe der Radonbelastung (kleiner 600 Bq/m<sup>3</sup> / 600 bis 1.200 Bq/m<sup>3</sup> und größer 1.200 Bq/m<sup>3</sup>) nach **ČSN-Norm** ist „auf der Grundlage von Diagnosemessungen“ vorzunehmen.

Die **CAN-Norm** enthält keine Aussagen zur Bestimmung von Ausgangswerten im Neubau und für Sanierungen.

**Für die Erarbeitung der DIN-Norm können aus der Auswertung der Normen folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:**

- **Sowohl in Österreich als auch Tschechien werden drei bzw. vier Ausgangsbelastungen bzw. -gruppen eingeführt. Diese bieten die Möglichkeit, die Radonschutzmaßnahmen in Abhängigkeit von der Ausgangsbelastungen gezielt auszuwählen – bis hin zum Verzicht auf Radonschutzmaßnahmen bei sehr geringen Ausgangswerten.**
- **Hinsichtlich der Messungen im Zusammenhang mit der Erfassung der Ausgangswerte wird auf Abschnitt 2.2.4.4 verwiesen.**

#### **2.2.4.6 Kontrolle des Erfolges einer Radonschutzmaßnahme**

In der **Ö-Norm** wird für alle Neubaumaßnahmen die Überprüfung der Wirksamkeit empfohlen, ebenso sollen Nachmessungen nach 5 bis 10 Jahren durchgeführt werden. Für Sanierungen enthält die Ö-Norm zwar keine dezidierten Forderungen, dass Kontrollmessungen durchgeführt werden müssen, indirekt ergibt sich aber diese Forderung aus dem Ablaufdiagramm (s. Abschnitt 2.2.1.7, Bild 2), da nur durch eine Messung die Einhaltung der Endbedingung (Erreichen der Radonbeurteilungsklasse A) nachgewiesen werden kann.

Die Durchführung der Messungen ist in Teil 1 der Norm geregelt. Zwar sind aus diesem Teil keine eindeutigen Zuordnungen zu den verschiedenen Messaufgaben zu entnehmen, die Beschreibung der Messungen führt aber zwangsläufig zum Einsatz von Messungen des Mittelwertes „über einen längeren Zeitraum“, da (kurzzeitige) orientierende Messungen „nicht für einen Richtwertvergleich ... geeignet“ sind.

Nach der **ČSN-Norm** sind sowohl Überprüfungen der qualitätsgerechten Ausführung als auch Erfolgsmessungen durchzuführen. So wird in Abschnitt 5.1.1 der Norm gefordert, dass... „die Erfüllung dieser Bedingungen durch Messungen nach Abschluss der Baumaßnahme festzustellen“ ist. Im gleichen Punkt der Norm werden die Bedingungen dahingehend beschrieben, dass „der RVA in jedem genutzten Raum unter typischen Nutzungsbedingungen unterschritten wird“ (s. Anlage 2 zum Bericht). Diese Forderung wird im Abschnitt 8.4 der Norm nochmals aufgegriffen. Für Sanierungsmaßnahmen soll zudem die Wirksamkeit durch Vergleich der Vorher-Nachhermessungen prozentual berechnet werden. Die gemessenen Werte sind Grundlage für die Festlegung des Radon-Labels (gem. Anhang C der Norm) für ein Gebäude.

In der ČSN-Norm wird für die Erfolgsmessungen eine Zweistufigkeit vorgeschlagen:

- Durchführung von *vorläufig abschließenden Messungen* über einen Zeitraum von mindestens einer Woche
- Im Anschluss daran Durchführung einer Langzeitmessung (Jahresmessung) als Dokumentation des Wirksamkeitsnachweises

In der **CAN-Norm** wird für Maßnahmen, bei denen ein Unterdruck unter dem Gebäude erzeugt wird, ein Funktionstest über eine mindestens 48-stündige Kurzzeitmessung vorgeschrieben, ergänzend wird eine Langzeitmessung empfohlen. Desweiteren wird eine Dichtheitsprüfung vorgeschrieben. Die Durchführung dieser Dichtheitsprüfung wird nicht näher spezifiziert.

**Schlussfolgerungen für die DIN-Norm (s. auch Auswertung zu Abschnitt 4.4.2.2):**

- ***Auch wenn Erfolgsmessungen nur zum Teil als Forderungen in der Norm formuliert werden, ergibt sich doch, dass bei konsequenter Anwendung der Normen solche Messungen zwingend erforderlich sind.***
- ***Interessant und für die DIN-Norm als ein praktikabler Ansatz zu prüfen, ist die in der tschechischen sowie kanadischen Norm vorgeschlagene Kombination aus Kurz- und Langzeitmessungen.***
- ***In allen Normen wird zudem auf die Prüfung der Funktionsfähigkeit und auf die qualitätsvolle Ausführung der Radonschutzmaßnahmen verwiesen.***
- ***In allen Normen wird eine Überprüfung der Radonschutzmaßnahmen nach einer gewissen Frist (5 bzw. 10 Jahre) empfohlen. Eine solche Formulierung sollte ebenfalls in die DIN-Norm aufgenommen werden.***

#### **2.2.4.7 Berücksichtigung der Quellen für die Radonbelastung in Räumen**

In der **Ö-Norm** wird die konvektionsdichte Ausführung gegen das Eindringen radonhaltiger Bodenluft als ausreichende Maßnahme bezeichnet. Lediglich dann, wenn eine konvektionsdichte Ausführung nicht möglich ist und bei einem sehr hohen Radonpotential in der Bodenluft ist als Kompensation bzw. zusätzlich eine Absaugung (Radondränge) vorzusehen.

Weitere Quellen, wie die Diffusion sowie Exhalation oder auch Radon aus Wasser spielen in der Ö-Norm keine Rolle, werden im Zusammenhang mit der Beschreibung der Lösungen überhaupt nicht erwähnt.

Nach der **ČSN-Norm** ist die Luftdichtheit der Gebäudehülle ebenfalls maßgebendes Kriterium für den Radonschutz. Nur dort, wo das nicht erreicht werden kann (z.B. für Sanierungen) werden weitere Maßnahmen, wie erhöhter Luftwechsel und/oder Absaugung der Bodenluft, vorgeschlagen. Die Diffusion von Bodenluft in das Gebäude wird insofern berücksichtigt, dass für Abdichtungen ein Diffusionskoeffizient nachgewiesen werden muss (näheres hierzu in Abschnitt 2.2.4.9).

Weitere mögliche Quellen, wie die Exhalation aus Baustoffen, sowie Radon aus Wasser spielen in der Norm keine oder eine sehr geringe Rolle. So wird die Exhalation lediglich in einem als informativ gekennzeichneten Anhang (Anhang A) im Zusammenhang mit möglichen diagnostischen Messungen genannt, ohne dass sie in die unterschiedlichen Berechnungen in der Norm einfließt.

In der **CAN-Norm** wird als Quelle für Radon in der Raumluft nahezu ausschließlich die über Undichtigkeiten eindringende Bodenluft (Konvektion) eingeführt. Die vorgeschlagenen Lösungen zur Reduzierung der Radonkonzentration in der Raumluft gehen konsequenter Weise deshalb ausschließlich auf die Schaffung einer luftdichten Gebäudehülle ein. Die Diffusion spielt in der CAN-Norm keine Rolle.

Weitere Quellen, wie Radon aus Wasser sowie die Exhalation aus Baustoffen werden in Anhang C kurz beschrieben. Sowohl für die Exhalation als auch Radon aus Wasser wird ein sehr geringer, auf wenige Sonderfälle eingrenzter Einfluss, ausgewiesen.

***Für die Erarbeitung der DIN-Norm kann aus den ausgewerteten Normen die Erkenntnis übernommen werden, dass der Verhinderung konvektiver Strömungen aus dem Erdreich ins Gebäude absolute Priorität zukommt. Die Diffusion wird lediglich in der tschechischen Norm im Rahmen einer Berechnung für Abdichtungsschichten aufgenommen, ansonsten spielt diese keine Rolle. Ebenfalls werden weitere Quellen lediglich genannt, aber als in der Regel unkritisch bezeichnet.***

***Diese Prioritätensetzung deckt sich mit den langjährigen Erfahrungen auch aus Deutschland und sollte entsprechende Berücksichtigung für die DIN-Normenarbeit finden.***

#### 2.2.4.8 Luftaustausch Raumluf mit Außenluft

In diesem Abschnitt wird ausschließlich auf die natürliche Belüftung in den Räumen eingegangen, auf den Einsatz mechanischer Lüftungssysteme wird in 2.2.4.15 eingegangen.

In allen Normen wird die große Bedeutung eines ausreichenden Luftwechsels betont.

In der **Ö-Norm** ist in Teil 2 (Neubau) lediglich ein allgemeiner Hinweis aufgenommen, dass der Luftwechsel einen wesentlichen Einfluss auf die Höhe der Radonkonzentration in der Raumluf hat. Für die Sanierung wird die erhöhte Belüftung des Gebäudes (als NBG-Methode bezeichnet) als einfachste Lösung eingeführt. Nachteil dieser Lösung ist nach Ö-Norm ein erhöhter Energieverbrauch. Über diese hier zusammengefassten allgemeinen Aussagen hinaus enthält die Ö-Norm keine weiteren, konkretisierenden Hinweise zur natürlichen Belüftung.

In der **ČSN-Norm** ist der Luftaustausch zwischen Raum- und Außenluft nicht als eigenständige Lösung aufgenommen. Auch wird die Erhöhung des Luftwechsels als mögliche kurzfristige Interimsmaßnahme bei sehr hohen Radonkonzentrationen in der Raumluf nicht erwähnt. Die Luftwechselrate geht aber in die verschiedenen Berechnungen zur Dimensionierung der Abdichtung sowie der verschiedenen Bodenlüftungssysteme ein. Insofern hat diese einen wesentlichen Einfluss auf die Gestaltung der Radonschutzmaßnahmen in Neubauten und bei Sanierungsmaßnahmen.

In der **CAN-Norm** spielt der Luftwechsel als eigenständige Lösung keine Rolle.

***Für die Erarbeitung der DIN-Norm können aus den ausgewerteten Normen keine substantiellen Schlussfolgerungen gezogen werden, da die enthaltenen Hinweise über allgemeine Aussagen nicht hinausgehen. Die Berücksichtigung der Luftwechselrate in den Berechnungsansätzen der CSN-Norm wird in Abschnitt 2.2.4.9 betrachtet.***

#### 2.2.4.9 Berechnungen in den Normen

Berechnungen können im Zusammenhang mit dem baulichen Radonschutz zur Unterstützung der Dimensionierung und Auslegung von baulichen und lüftungstechnischen Anlagen sowie für die Prognose von zu erwartenden Radonkonzentrationen in der Raumluf herangezogen werden.

Sowohl die österreichische als auch kanadische Norm verzichten vollständig auf Berechnungen.

Dagegen sind in der **ČSN-Norm** eine Reihe von Berechnungen enthalten. Im Einzelnen sind dort zu den folgenden Fragestellungen Berechnungen aufgenommen:

- A) Dimensionierung der Abdichtungsschichten
- B) Gestaltung von Belüftungsschichten innerhalb der Baukonstruktion
- C) Kriechkeller
- D) Ausbildung von Konstruktionen zwischen Kellerräumen und Nutzräumen in darüber liegenden Geschossen.

Für die Lösung „Bodenabsaugung unter der Bodenplatte“ (Radondränage, punktuelle Absaugung) sind keine Berechnungsansätze in der Norm enthalten.

Die Berechnungsansätze und Berechnungsdurchführungen sind im Berichtsabschnitt 2.2.2.6 beispielhaft für die Dimensionierung der Abdichtungsschichten sowie komplett in Anlage 2 beschrieben. Im Rahmen dieses Abschnittes werden die Ansätze, eingeführten Faktoren und Zielsetzungen erläutert.

#### A) Dimensionierung von Abdichtungsschichten

Es ist nachzuweisen, dass die vorhandene Exhalationsrate  $E$  kleiner als die maximale zulässige Exhalationsrate  $E_{mez}$  ist. Der Nachweis ist dem in Deutschland eingeführten Nachweis nach Keller insofern vergleichbar, indem die Berechnung auf den Diffusionseigenschaften der Abdichtung aufbaut. Allerdings werden weitere Faktoren, wie die Bodenradonkonzentration sowie der Raumlufwechsel einbezogen. Insofern geht die Berechnung über das rein stoffliche Kriterium von Keller deutlich hinaus.

Im Einzelnen gehen in die Berechnung die folgenden Faktoren ein:

- Geometrische Daten (Raumgrößen, erdberührte Konstruktionsflächen)
- Radonkonzentration in der Bodenluft
- Luftwechselrate im betrachteten Raum / Raumbereich
- Sicherheitsbeiwert, in den die Gasdurchlässigkeit des Erdreiches sowie die Frage, ob zusätzliche Bodenlüftungssysteme (aktiv oder passiv) vorhanden sind, eingehen.
- Diffusionseigenschaften der Abdichtung (Diffusionskoeffizient und Dicke des Materials)
- Radon-Zerfallskonstante

#### B) Belüftungsschichten in der Konstruktion

Für diese Lösung werden insgesamt fünf verschiedene Bautypen (zwei für Neubau, drei für Sanierungen) definiert. Die Lösungen unterscheiden sich durch die unterschiedliche Eingruppierung der einzelnen Konstruktionsschichten in den Gesamtaufbau der erdberührten Bodenschicht. Die Berechnungen sind für die einzelnen Lösungen verschieden.

Für Belüftungsschichten im Neubau gehen die Luftwechselrate in der Lüftungsschicht, die Radonkonzentration im Boden, geometrische Faktoren (Höhe bzw. Volumen sowie Fläche der Belüftungsschicht) sowie einige Koeffizienten ein.

Für Belüftungsschichten im Rahmen von Gebäudesanierungen werden die folgenden Faktoren in die Berechnung aufgenommen: Luftwechselrate und Volumen der Luft in der Belüftungsschicht, die Radonkonzentration in der Innenluft sowie der Raumlufthauswechsel.

#### C) Kriechkeller

Es werden zwei bauliche Lösungen betrachtet, die sich dadurch unterscheiden, ob eine Behinderung des Eintritts radonhaltiger Bodenluft in den Kriechkeller vorhanden ist oder ein direktes Einströmen möglich ist. In die Berechnung gehen geometrische Daten, der Luftwechsel im Kriechkeller sowie die Radonkonzentration im Boden ein.

#### D) Begrenzende Konstruktionen zwischen nicht genutzten (Keller-)geschossen und Nutzbereichen

In die Berechnung der RVA in einem betrachteten Kellerraum gehen die geometrischen Daten, die Menge des einströmenden Radons sowie der Luftwechsel ein. Wenn zwischen Keller- und Nutzraum eine Abdichtung nach der dritten Kategorie vorliegt, soll die nach dem Nachweisverfahren ermittelte Radonkonzentration in der Raumlufthaus des Kellers den doppelten Wert der Radonkonzentration in den genutzten Räumen nicht überschreiten.

#### **Schlussfolgerungen und Vorschläge für die Erarbeitung der DIN-Norm:**

**Die umfangreichen und z.T. sehr detaillierten Berechnungsansätze in der ČSN-Norm sind wie folgt zu bewerten:**

- **Die Berechnungen zur Dimensionierung der Abdichtungen beziehen sich ausschließlich auf die Verhinderung der Diffusion, obwohl diese i.A. nicht das maßgebende Kriterium für die Höhe der Radonkonzentration in der Raumlufthaus ist (was auch an anderer Stelle in der Norm zugrunde gelegt wird). Zudem ist die Bestimmung der Radonkonzentration in der Bodenluft nach ČSN-Norm (s. Punkt 2.2.4.5) als problematisch anzusehen. Da dieser Wert aber als ein maßgeblicher Ausgangswert in die Berechnung einfließt, fußt diese somit auf einem nicht abgesicherten Wert. Als weiteres Problem ist zu sehen, dass in die Berechnung ausschließlich die Abdichtungsschichten einfließen, alle weiteren Schichten der erdberührten Gebäudehülle unberücksichtigt bleiben, was den tatsächlichen Verhältnissen nicht entspricht.**
- **Die Berechnungen zur Dimensionierung der Abdichtungen beziehen sich ausschließlich auf die Verhinderung der Diffusion, obwohl diese i.A. nicht das maßgebende Kriterium für die Höhe der Radonkonzentration in der Raumlufthaus ist (was auch an anderer Stelle in der Norm zugrunde gelegt wird). Die mittels einer standardisierten Vorgehensweise ermittelte Radonkonzentration in der Bodenluft**

*stellt zusammen mit der Gasdurchlässigkeit des oberflächennahen Bodens nach ČSN-Norm (s. Punkt 2.2.4.5) die Basis für Bewertungen bzw. die Ausgangsbelastung für Berechnungen dar. Sie liefert somit eine Abschätzung der Situation auf dem jeweiligen Baugrund. Nachteilig ist, dass in die Berechnung ausschließlich die Abdichtungsschichten einfließen, alle weiteren Schichten der erdberührten Gebäudehülle unberücksichtigt bleiben, was den tatsächlichen Verhältnissen nicht entspricht.*

- *Die Berechnungen zu Belüftungsschichten, zu ungenutzten Kellergeschossen sowie zu Kriechkellern suggerieren eine Berechenbarkeit der einzelnen Komponenten, die nach Meinung der Autoren dieses Berichtes so nicht vorhanden ist.*
- *Insgesamt erscheint der Ansatz, detaillierte und zum Teil recht komplizierte Berechnungen als Grundlage oder Unterstützung der Lösungsgestaltung heranzuziehen, nicht überzeugend, da diese Rechnungen zum Teil auf recht wagen Annahmen beruhen bzw. die eigentlichen Probleme (s. Hinweise zu Abdichtungen) nur unzureichend erfassen.*
- *Bei der Bewertung der zum Teil recht komplexen Berechnungen, die als Grundlage oder Unterstützung der Lösungsgestaltung herangezogen werden, ist zu berücksichtigen, dass diese an einigen Stellen Annahmen beinhalten. Positiv ist zu vermerken, dass aufgrund der Einzelfallentscheidungen bei den eingehenden Parametern bzw. Messgrößen eine gegenseitige „Aufrechnung“ möglich ist, die eine größere Flexibilität bei der Entscheidungsfindung erlaubt.*

#### **2.2.4.10 Überblick über die in den Normen aufgenommenen Lösungen**

Im Folgenden wird ein Überblick über alle in den Normen erfassten Lösungen gegeben. Dabei muss unterschieden werden in solche, die lediglich genannt bzw. kurz angesprochen sowie solche, die näher erläutert werden. Letztere werden in den folgenden Abschnitten detailliert erfasst und sind in der hier anschließenden Übersicht fett hervorgehoben. Für alle weiteren erfassten Lösungen wird lediglich im Anschluss daran ein kurzes Resümee gegeben.

#### **Österreich, Neubau**

Regellösungen:

- **Konvektionsdichte Ausführung der Gebäudehülle**
- **Abdichtung zwischen Keller und Nutzgeschossen**
- **Kombination Abdichtung und Drainage**

Alternativ- und Sonderlösungen:

- Mechanische Belüftung des Gebäudes

Kurz erwähnte außergewöhnliche Lösungen:

- Erdsonden
- Luft-Wärmetauscher
- Luftbrunnen

### ***Österreich, Sanierung***

Regellösungen:

- Verfugen und Versiegeln bestehender Undichtheiten
- **Unterbindung des konvektiven Luftstroms zwischen Keller und Aufenthaltsbereichen**
- Reduktion des Unterdruckes im Gebäude
- **Erhöhter Luftwechsel im Gebäude**
- **Erhöhte Bodenlüftung unter dem Gebäude**
- **Unterbodenabsaugung**
- Zwischenbodenabsaugung

Alternativ- und Sonderlösungen:

- Mechanische Belüftung des Gebäudes

Kurz erwähnte außergewöhnliche bzw. selten angewendete Lösungen:

- Erzeugung eines Überdruckes im Keller
- Abschirmung des Untergrundes durch Injektionsschirm

### ***Tschechien, Neubau und Sanierung***

Regellösungen:

- **Vorgaben zur Ausbildung der erdberührten Gebäudehülle**
- **Vorgaben zur Ausbildung der Abdichtung der erdberührten Gebäudehülle**
- **Unterbodenlüftungssysteme (Radondränage; punktuelle Absaugung; Radonbrunnen; Nutzung bestehender Schächte)**
- **Belüftungsschichten innerhalb der Gebäudehülle**
- Nutzung von Kriechkellern
- Lösungen für den Radonschutz in Gebäuden mit nicht für Aufenthalt genutzten Kellergeschossen

Alternativ- und Sonderlösungen:

- Zwangslüftung

## **Kanada, Sanierung**

Regellösungen:

- **Druckreduzierung unter der Bodenplatte**
- Druckreduzierung unter einer Membran
- **Druckreduzierung über einen Schacht und ein Entwässerungssystem**

### **2.2.4.11 Ausbildung der erdberührten Gebäudehülle**

Die Angaben zur Ausbildung der erdberührten Gebäudehülle sind in der **Ö-Norm** eher allgemeiner Art, während in der **ČSN-Norm** diesem Aspekt ein größerer Abschnitt gewidmet ist. Da die **CAN-Norm** auf Sanierungen beschränkt ist und deshalb von einem bestehenden Gebäude auszugehen ist, werden hier zwangsläufig keine Angaben zur Ausbildung der erdberührten Gebäudehülle erfasst.

Substantielle Hinweise in der **Ö-Norm** sind zur Ausbildung der Bodenplatte enthalten:

- Ausbildung als durchgehende Fundamentplatte, Dicke mind. 200 mm
- Expositionsklasse XC1 oder höherwertiger gem. ÖNORM B 4710-1
- Kombination mit konvektionsdichten Rohr- und Leitungsdurchführungen
- Anschlüsse an vertikale Betonwände mit Fugenband oder Gleichwertigem abdichten.

In der **ČSN-Norm** sind die folgenden Ausführungen zur Ausbildung der erdberührten Gebäudehülle enthalten:

*Allgemeine Anforderungen im Neubau:*

- Die Gebäudehülle ist so auszuführen, dass sie für eine qualitätsgerechte Ausführung der Abdichtung geeignet ist (Ebenheit, Ausrundungen, Rissvermeidung, allgemein Materialeigenschaften)
- Zur Verhinderung von Konvektion dürfen keine durchgehenden Risse und Öffnungen vorhanden sein.

*Anforderungen an die Gebäudehülle im Bestand:*

- In bestehenden Gebäuden sind Abweichungen der Luftdichtheitsanforderungen zulässig, wenn deren Beseitigung nicht möglich ist.
- Abweichend hierzu wird für Bestandsgebäude, bei denen die Radonkonzentration in der Raumluft höher als 600 Bq/m<sup>3</sup> ist, gefordert, dass die Teile der erdberührten Gebäudehülle, die unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht konvektionsdicht ertüchtigt werden können, auszuwechseln sind.

- Risse in Bestandskonstruktionen sind unter Anwendung geeigneter Verfahren zu verschließen und danach zu versiegeln.

#### *Anforderungen an erdberührte Wände*

- Für Kellerwände und Wände von Sockel- und Kriechkellern kann Hochlochmauerwerk angewendet werden, wenn diese Hohlräume unterhalb der Geschosdecke zum darüber liegenden Geschoss sicher abgeschlossen sind

#### *Anforderungen an Bodenplatten und Fundamente:*

- Mindestdicke von Bodenplatten 100 mm. Die Bodenplatte ist in Stahlbeton oder faserbewehrtem Beton auszubilden
- Es werden allgemeine Regeln für die Verbindung von Bodenplatte und Fundamenten sowie zu evtl. erforderlichen / sinnvollen Verstärkungen der Bodenplatte in Bereichen, in denen eine tragende Wand steht, formuliert (Ausbildung von Rippen)
- Es wird empfohlen, Lüftungslöcher in Fundamentstreifen unterhalb der Bodenplatte vorzusehen, wenn die Fundamente höher als 400 mm sind. Durchmesser der Lüftungslöcher 50 bis 110 mm, Abstand 2 bis 3 Meter.

***Für die Erarbeitung der DIN-Norm ergeben sich einige interessante Einzelaspekte, wie die Aussage zur Anwendung von Hochlochmauerwerk im erdberührten Wandbereich sowie die Aussage zur Einordnung von Lüftungslöchern in Streifenfundamenten (die allerdings nur dann sinnvoll erscheinen, wenn unter der Bodenplatte eine luftdurchlässige Schicht vorhanden ist bzw. eingebaut wird.***

***Die Forderung aus der tschechischen Norm nach einer evtl. erforderlichen Auswechslung von Teilen der erdberührten Gebäudehülle bei mittleren bis hohen Radonkonzentrationen in der Raumluft erscheint zu weit zu gehen. Hier sollten zumindest gleichwertig andere Lösungsmöglichkeiten ermöglicht werden. Die in der ČSN-Norm angegebene Mindestdicke von 100 mm für Bodenplatten erscheint hinsichtlich einer sicheren Rissvermeidung zu gering.***

***Neben den hier kommentierten Aussagen enthalten beide Normen allgemeine Regelungen für die Ausführung der Gebäudehülle als Grundlage für Abdichtungen. Derartige Aussagen sind ebenfalls für die DIN-Norm wichtig, wobei alternativ auf bereits bestehende Baunormen, in denen entsprechende Angaben enthalten sind, verwiesen werden kann.***

***Aussagen zur Spezifik von WU-Betonkonstruktionen fehlen in den Normen.***

#### **2.2.4.12 Abdichtung der erdberührten Gebäudehülle**

Die sichere und langlebige Abdichtung der erdberührten Gebäudehülle ist für Neubauten die wichtigste „Stellschraube“ zum Erreichen eines hohen Radonschutzes. Insofern wird ihr sowohl in der Österreichischen als auch der Tschechischen Norm hohe Aufmerksamkeit

gewidmet. In den Ausführungen der kanadischen Norm spielt die Abdichtung keine Rolle, da sich diese Norm auf Sanierungslösungen beschränkt.

Die Kernaussage der **Ö-Norm** hinsichtlich Abdichtung ist in Abschnitt 6.2 der Norm dahingehend aufgenommen, dass „Bauwerke, die gegen nicht-drückendes und drückendes Wasser abgedichtet sowie in ihren An- und Abschlüssen von Durchführungen konvektionsdicht hergestellt wurden, ... ausreichend dicht gegen Radonkonvektion“ sind. Für die Ausführung der Abdichtung wird auf die Ö-Norm B 3692 (Abdichtung) sowie ÖBV-Richtlinie Weiße Wannan, dort Anforderungsklasse AS oder A1 verwiesen. Die Ö-Norm enthält über die hier zitierten Aussagen hinaus keine weiteren Angaben zur Wahl der Materialien und Lösungen.

Die **ČSN-Norm** geht in ihren Abschnitten 6.2 und 7 ausführlich auf die Abdichtungslösungen ein. Auf die in diesem Abschnitt enthaltenen Berechnungen zur Dimensionierung der Abdichtung wurde bereits in Abschnitt 2.2.4.9 eingegangen.

Die grundsätzliche Aussage lautet – ebenso wie in der Österreichischen Norm verankert – dass radonsichere Abdichtung gleichzeitig die Funktion der Abdichtung gegen Wasser erfüllen muss. Es findet sich in diesem Zusammenhang der Verweis auf die entsprechenden tschechischen Normen ČSN P 73 0600 und P 73 0606.

Radonsichere Abdichtungen müssen eine durchgehende, zusammenhängende Schicht über die gesamte Fläche bilden. Luftdichte Verbindungen der Bahnen sowie der Mediendurchdringungen sind hierzu erforderlich. Des Weiteren wird in der Tschechischen Norm die Einhaltung eines geprüften Radon-Diffusionskoeffizienten gefordert.

In einem gesonderten Unterabschnitt werden Lösungen zusammengestellt, die für nachträgliche Abdichtungen angewendet werden (Mauersägeverfahren; Injektageverfahren; Anbindung von horizontalen Schichten mittels Zementputz (?) an die Wand). Die Lösungen werden lediglich genannt bzw. mit wenigen Hinweisen erläutert. Der Abschnitt enthält keine detaillierten Angaben zur Ausführung.

Die in Abschnitt 7 der Norm zusammengefassten Kriterien für die Materialwahl enthalten folgende Kernaussagen:

- Einhaltung eines festgelegten Radondiffusionskoeffizienten, der nach einer etablierten Methode zu ermitteln ist (hierfür existiert eine gesonderte Vorschrift bzw. kann über die Arbeitsmappe C – Erläuterung hierzu in Teil 2 des Berichtes, dort Abschnitt 3.3.4 – bestimmt werden).
- Anwendung einer etablierten Methode zur Verbindung der Abdichtungsschichten sowie Gewährleistung der Dauerhaftigkeit und Beständigkeit gegen Korrosion.

Auf die folgenden Materialien bzw. Konstruktionen wird im Einzelnen eingegangen:

- Kunststoffnoppbahnen dürfen nicht für Radon-Abdichtung verwendet werden.
- Bitumenbahnen mit Metallträgereinlage dürfen nicht als einziges Material für die radonsichere Abdichtung angewendet werden.

**Schlussfolgerungen für die DIN-Normungsarbeit:**

*In beiden hier betrachteten Normen wird die Konvektionsdichtheit als wesentliches Kriterium genannt und diesbezüglich auf die Anwendung der entsprechenden Abdichtungsnormen gegen Wasser verwiesen. In der ČSN-Norm ist zusätzlich die Einhaltung eines Dichtheitsfaktors, der auf den Diffusionseigenschaften basiert, gefordert. Ansonsten bleiben die Normen in ihren Aussagen allgemein.*

*Eine pauschale Vorgabe der Prüfung der Abdichtungsschichten hinsichtlich der Diffusionseigenschaften ist überzogen und entspricht nicht der allgemein bekannten Problematik der Radondichtheit (s. auch Einschätzung zu den Berechnungen in Abschnitt 2.2.4.9). Es wird deshalb nicht empfohlen, einen solchen Passus in die DIN-Norm aufzunehmen.*

*Die in der tschechischen Norm genannten pauschalen Ausschlüsse von Materialien bzw. Konstruktionen für den Radonschutz sind zum Teil selbstverständlich (Noppenbahn) bzw. es ist zu überprüfen, inwieweit die Aussagen für die DIN-Norm relevant sind.*

#### **2.2.4.13 Unterdrucklösungen**

In allen drei ausgewerteten Normen sind entsprechende Lösungen aufgeführt, wobei zwischen punktuellen sowie flächigen Absaugungen sowie der Absaugung aus Zwischenbodenschichten zu unterscheiden ist.

*Flächige Absaugung (Dränageschichten):*

In der **Ö-Norm** wird interessanterweise die Radondränage im Teil 2 der Norm (Neubau) erfasst und erläutert, im Teil 3 (Sanierung) wird diese Lösung nicht aufgeführt.

In der **ČSN-Norm** wird die Absaugung aus einer Dränageschicht unterhalb der Bodenplatte mit der Absaugung aus Hohlräumen in der Bodenplatte gemeinsam behandelt, detaillierte Erläuterungen werden hier allerdings nur für die Bodendränage gegeben.

Die **CAN-Norm** führt eine in Deutschland weitestgehend unbekannt Methode auf: Für Gebäude ohne vorhandene Bodenplatte wird der Einbau einer dichten Membran vorgeschlagen, unter der perforierte Rohre oder eine durchlässige Bodenschicht eingebaut werden. Die Membran muss luftdicht an aufgehende Wände angeschlossen werden, damit sich darunter ein Unterdruck aufbauen kann.

Die Normen enthalten für die Dimensionierung und konstruktive Durchbildung eine Reihe von Angaben, die im Folgenden zusammengefasst werden.

Einbauschicht für die Dränagerohre:

- Mindestdicke 150 mm (ČSN-Norm)

- Material: natürlicher oder gebrochener Kies, Kornklasse 16/32 (ČSN-Norm) bzw. Einbau in Schotter- oder Kiesschicht sowie in (locker gelagertem) Erdreich (Ö-Norm)

Angaben zu den Dränagerohren:

- Durchmesser 80-100 mm bei natürlichem Auftrieb und 50 bis 70 mm bei mechanischer Ablufführung (ČSN-Norm)
- Minstdurchmesser 80 mm (Ö-Norm)

Verlegung der Rohre

- Rohrabstand 2,00 bis 4,00 m (ČSN-Norm)
- Maximaler Rohrabstand 8,00 m bei Verlegung im Schotter- oder Kiesbett bzw. 1,00 bis 3,00 m bei Verlegung im Erdreich (Ö-Norm)
- Bei Verlegung im Kiesbett stern- oder schlangenförmige Verlegung (Ö-Norm)
- Abstand zu den Außenwänden 1,00 bis 2,00 m (Ö-Norm)
- Bei Einbau in Bestandsgebäuden wird vorgeschlagen, die Dränagerohre in der Nähe des Anschlusses Wand/Boden zu verlegen, da dort die größten Undichtheiten zu erwarten sind (ČSN-Norm)

Sonstige Hinweise:

- Bei hochdurchlässigen Böden wird die Verlegung in Magerbeton vorgeschlagen (Ö-Norm)
- Kiesschicht mit Gefälle zu einer Entwässerungsgrube verlegen (ČSN-Norm)

*Punktuelle Absaugung:*

Neben der Anlage von Schächten („Radonbrunnen“) werden auch punktuelle Absaugungen (ohne Schacht) sowie die Nutzung bestehender Brunnen aufgenommen. Die folgende Zusammenstellung fasst die entsprechenden Lösungen zusammen.

Punktuelle Absaugung (ohne Schacht)

- Angaben in der **Ö-Norm**:
  - Radondichte Rohre durch Bodenplatte oder Grundmauern führen
  - Unterdruck durch natürlichen Auftrieb oder mittels Ventilator
  - Hohe Permeabilität des Baugrundes erforderlich
  - Lüfterleistung 20 bis 100 W

- 50 bis 99% Reduktion erreichbar
- Angaben in **ČSN-Norm**:
  - Ein bis zwei Bohrungen je Raum
  - Wirkung zwischen 5 und 15 m<sup>2</sup> Grundfläche (abhängig von Permeabilität und Abdichtung)
- Angaben in der **CAN-Norm**:
  - Regellösung für Sanierung
  - Prüfverfahren für Bodendurchlässigkeit erläutert (s. Pkt. 2.2.3.5)

#### Absaugung über Schächte:

- In Ö-Norm nicht als eigenständige Lösung aufgeführt
- Angaben in **ČSN-Norm**:
  - Mindestgröße des Schachtes 10 dm<sup>3</sup>
  - Wirkungskreis bis 50 m<sup>2</sup>
  - Schacht kann unter oder neben dem Gebäude angeordnet werden
- Angaben in der **CAN-Norm**:
  - Schachtabmessungen; Durchmesser 50 cm, Tiefe 15 cm; größere Tiefe kann lagebedingt erforderlich werden (z.B. bei vorhandenen Streifenfundamenten)

#### Weitere Lösungen:

- Angaben in **ČSN-Norm**:
  - Nutzung eines bestehenden Brunnens, wenn dieser direkt neben dem Haus und der Wasserstand unterhalb der Absaugebene liegt; mechanische Absaugung erforderlich
- Angaben in der **CAN-Norm**:
  - Absaugung über bestehendes Entwässerungssystem

#### *Zwischenschichtenabsaugung:*

Die Lösung basiert auf dem gleichen Prinzip wie die Unterbodenlüftungssysteme, allerdings wird hier der Unterdruck innerhalb des Bodenaufbaues, zumeist oberhalb der Bodenplatte erzeugt. Diese Lösung wird ausführlich in der ČSN-Norm beschrieben. Die einzelnen Komponenten werden in der Norm zum Teil mit Angabe der Dimensionierung beschrieben. Das Verfahren ist desweiteren in der Ö-Norm enthalten.

Für die Ausbildung können der **ČSN-Norm** die folgenden Angaben entnommen werden:

- Lage der Lüftungsschicht in der Regel unterhalb der Radon- und Feuchteabdichtung. Falls die Lüftungsschicht Schicht über der Abdichtung liegt, ist darüber eine zweite Abdichtungslage einzubauen, damit keine Luft direkt aus dem Raum in die Lüftungsschicht eingezogen wird.
- Die Entlüftung ist aktiv (mit Lüfter) zu erzeugen, wenn folgende Daten vorliegen:
  - Höhe der Lüftungsschicht kleiner 20 mm
  - Höhe der Lüftungsschicht zwischen 20 und 50 mm und Fläche größer 50 m<sup>2</sup>
- In allen anderen Fällen kann der Unterdruck aktiv oder passiv erzeugt werden.
- Als Materialien kommen z.B. Noppenbahnen oder spezielle Betonplatten mit durchgehenden Aussparungen zum Einsatz.
- In der Ö-Norm wird eine Höhe von ca. 20mm angegeben, die aktiv und passiv entlüftet werden kann.

#### *Absaugkomponenten*

Die Angaben zu den Komponenten zur Abführung der Luft sind in den Normen in unterschiedlichen Abschnitten untergebracht: In der Ö-Norm im Zusammenhang mit der Radondränage (Normenteil Neubau), in der ČSN-Norm im Abschnitt „Bodenlüftungssysteme“ und in der CAN-Norm im Abschnitt „Druckreduzierung unter der Bodenplatte“, in dessen Schwerpunkt die punktuelle Absaugung steht.

Angaben zum Rohrsystem:

- Durchmesser 150 mm (Grenzwert 125 mm) (Ö-Norm)
- Durchmesser 80 bis 125 mm (aktive Systeme) und 150 bis 200 mm (passive Systeme) (ČSN-Norm)
- Durchmesser 75 bis 100 mm (CAN-Norm)
- Vorzugsweise Führung im Haus und über Dach (Ö-Norm und ČSN-Norm)
- Kondensatbildung vermeiden, ggf. Dämmung erforderlich (Ö-Norm und ČSN-Norm)

Angaben zur Lüfterleistung:

- Lüfterleistung unter 100 W; erforderlicher Unterdruck in der Entlüftungsschicht 5 bis 10 Pa (Ö-Norm)

Angaben zur Anordnung der Ausblasöffnungen:

- Bevorzugt über Dach (Ö-Norm und ČSN-Norm)
- Mindestabstand von Fenstern 2,00 m (Ö-Norm)
- Umfängliche Angaben zu Abständen in der CAN-Norm (s. Abschnitt 2.2.3.5)

**Für die DIN-Normung ergeben sich die folgenden Schlussfolgerungen:**

- **Die Festlegungen zu den einzelnen Komponenten in den ausgewerteten Normen variieren stark, sowohl was die Dimensionierung der Komponenten betrifft, als auch die Wertigkeit, die den einzelnen Lösungen zukommt. Isofern können verallgemeinerungsfähige Schlussfolgerungen nur bedingt formuliert werden.**
- **Insbesondere variieren die Angaben zu den Rohrquerschnitten sowie deren Verlegung deutlich.**
- **Für die punktuelle Absaugung wird die direkte Absaugung aus einer Bohrung durch Bodenplatte bzw. Grundwände als Vorzugslösung bzw. Regellösung bezeichnet. Für die Absaugung aus Schächten (Radonbrunnen i.e.S.) sind kleine Schächte ausreichend. Lediglich bei Streifenfundamenten oder ähnlichen tiefer liegenden Barrieren sind entsprechend tiefere Schächte erforderlich.**
- **Als Sonderlösung wird die Verwendung von Brunnenschächten in der tschechischen Norm aufgenommen.**
- **Die in der kanadischen Norm vorgestellte Lösung mit Verwendung des Abwassersystems für die Luftabsaugung wird kritisch bewertet, da hier die Gefahr einer ungewollten Lufteinströmung vorhanden ist. In Deutschland ist diese Lösung nicht bekannt.**
- **Zwischenbodenabsaugung wird in Deutschland (bisher) relativ selten ausgeführt. Rückschlüsse, inwieweit das auch für Tschechien gilt, können aus der dortigen Norm nicht gezogen werden. Auch ist nicht bekannt, wie deren Erfolgsaussichten zu bewerten sind. Hierzu fehlen bisher – unabhängig von der Beschreibung der Lösung in der tschechischen Norm – publizierte Ergebnisse. Für die DIN-Normungsarbeit wird vorgeschlagen, diese Lösung als eine Möglichkeit aufzunehmen, aber gleichzeitig darauf zu verweisen, dass auf Grund der noch geringen Anwendungserfahrungen die Erfolgsaussichten aktuell nicht quantifiziert werden können.**

#### **2.2.4.14 Weitere Lösungen**

##### **Nutzung von Kriechkellern**

Die Nutzung von Kriechkellern für den Radonschutz ist eine übliche, auch in Deutschland angewendete, Lösung. In der tschechischen Norm werden detaillierte bauliche und Lüftungstechnische Lösungen beschrieben, deren – modifizierte – Übernahme für die DIN-Norm geprüft werden sollte.

- Als Vorzugsvariante sollte der Kriechkeller aktiv belüftet werden. Bei passiven Lösungen sind Vorkehrungen für einen möglichen späteren Lüftereinbau sinnvoll.
- Die Decke über dem Kriechkeller ist luftdicht auszubilden.

### **Kellerräume als Puffergeschoss zu den Nutzräumen:**

Für diese – häufig anzutreffende - Situation werden in der ČSN-Norm abgeminderte Anforderungen an die Dichtheit der erdberührten Gebäudehülle sowie an die Dichtheit der Konstruktion zwischen nicht genutzten Kellerräumen und Nutzbereich anhand der Zuordnung zu Dichtheitskategorien formuliert. Des Weiteren wird auf die Durchlüftung der Kellerräume verwiesen und es wird ein Verfahren zur Berechnung des Luftwechsels und der Radonkonzentration angeführt.

In der Ö-Norm wird für Kellerräume eine Lösung angegeben, in der ein Überdruck im Keller erzeugt wird, indem Luft aus den oberen Geschossen in den Keller eingeblasen wird. Detaillierte Angaben zu dieser Lösung sind in der Ö-Norm mit Ausnahme des Hinweises, dass dichte Keller erforderlich sind, nicht enthalten. Es wird vermerkt, dass zur Wirksamkeit noch Langzeiterfahrungen fehlen.

### **Kombination von luftdichter Ausführung der erdberührten Gebäudehülle und Zwangslüftung**

Wird eine Zwangslüftung vorgesehen, können geringere Anforderungen an die Dichtheit der Gebäudehülle akzeptiert werden. In der tschechischen Norm werden hierzu Lösungen vorgestellt, wonach die Anforderungen an die Abdichtung reduziert werden kann.

### **Erhöhte Bodenlüftung unterhalb der Bodenplatte:**

Dieses Verfahren ist mit dem Kürzel „BB-Methode“ in der Ö-Norm, Teil 3 (Sanierung) aufgeführt. Dabei wird über seitliche Öffnungen bzw. über unterirdische Lüftungsleitungen Frischluft unter das Gebäude geführt und damit die Bodenluft mit der Außenluft mit dem Ziel vermischt, die Radonkonzentration in der Bodenluft entscheidend zu reduzieren. Das System kann aktiv oder passiv ausgelegt werden. Voraussetzung für die Anwendung ist eine hochpermeable Bodenschicht unter dem Gebäude sowie eine gute Erreichbarkeit.

### **Weitere Lösungen in der Ö-Norm:**

Für die im Teil 2 der Norm (Neubau) aufgeführten Lösungen „Erdsonden“, Luft- und Wärmetauscher“ sowie „Luftbrunnen“ werden lediglich einige wenige Hinweise gegeben. Insbesondere wird auf die erforderliche Dichtheit der Komponenten zum Erdreich verwiesen.

Im Teil 3 der Norm (Sanierung) wird als „INJ-Methode“ die „Abschirmung des Untergrundes durch Injektionsschirm“ kurz vorgestellt. Hierbei handelt es sich um eine von außen unter das Gebäude gepresste Injektion aus Zementsuspension bzw. Harz. Dadurch soll die radonhaltige Bodenluft vom Gebäude weggeleitet werden. Das Verfahren ist bisher wenig bekannt, Aussagen zur Wirkung sowie zu den zusätzlichen Kosten liegen noch nicht vor. Für Deutschland sind bisher keine Anwendungen bekannt.

### **Schlussfolgerungen für die DIN-Normungsarbeit:**

- **Die Nutzung von Kriechkellern als Entlüftungsraum ist auch in Deutschland bekannt, allerdings werden Kriechkeller hierzulande eher selten ausgeführt, weswegen die Lösung eher selten zur Anwendung kommt. Die Angaben in den ausgewerteten Normen sind vergleichsweise allgemein. Vor allen Dingen werden bauphysikalische Probleme (Kondenswasserbildung) nicht thematisiert.**
- **Kellerräume als Pufferbereich: Die Überlegungen der tschechischen Norm, wonach in diesen Fällen die Anforderungen an die Abdichtung reduziert werden können, sollte für die DIN-Norm aufgenommen werden.**
- **Die in der Ö-Norm aufgenommene Überdruckvariante für Kellergeschosse wird sehr kritisch gesehen. So kann diese Lösung nur dann funktionieren, wenn eine hohe Abdichtung der Kellerdecke gewährleistet ist. Als problematisch ist die Lösung auch hinsichtlich der bauphysikalischen Problematik insbesondere in der kalten Jahreszeit einzuschätzen, da die aus den Obergeschossen angesaugte Luft dann wärmer ist als die Kellerluft und somit zu Kondensatproblemen führen kann.**
- **Kombination von Zwangsbelüftung und (reduzierter) Abdichtung: Diese in der ČSN-Norm vorgestellte Lösung ist vor allem für Sanierungen sinnvoll, da dort die Realisierung von sicher funktionierenden Abdichtungen häufig nicht möglich bzw. wirtschaftlich nicht sinnvoll ist. Diese Lösung sollte deshalb in die DIN-Norm als eigenständige Variante aufgenommen werden.**
- **Erhöhte Bodenlüftung unterhalb der Bodenplatte: Diese Lösung stellt eine Ergänzung der Möglichkeiten für spezielle Aufgaben dar. Der Erfolg ist sehr stark von den Voraussetzungen am Ort abhängig. Es bedarf deshalb einer guten Vorplanung und Bauüberwachung sowie laufender Erfolgsüberwachung. Die Lösung sollte in der DIN beschrieben werden.**

### **Mechanische Belüftungssysteme**

Der Einsatz von Belüftungssystemen spielt in den ausgewerteten Normen eine untergeordnete Rolle.

In der **Ö-Norm** wird diese als Verfahren im Rahmen der Gebäudesanierung (MBG-Methode) aufgeführt und mit dem allgemeinen Hinweis, dass diese Lösungen mit Wärmerückgewinnung auszustatten sind und dass ein geringer Überdruck im Gebäude erforderlich ist, beschrieben. In der **ČSN-Norm** wird der Einsatz mechanischer Belüftungssysteme ausschließlich im Zusammenhang mit der Abdichtung (Kombinationslösung – s. Abschnitt 2.2.4.14) aufgeführt. Hier sind auch Berechnungsansätze für die Dimensionierung des Luftwechsels und der Lüfterleistung aufgenommen.

Die CAN-Norm enthält keine Angaben zu Lüftungsanlagen.

### **Schlussfolgerungen für die DIN-Normung:**

**Die Angaben zur Gestaltung und Dimensionierung von Lüftungsanlagen sind in den ausgewerteten Normen sehr allgemein. Substantielle Schlussfolgerungen, die über den Stand der DIN-Normung hinausgehen, können nicht entnommen werden.**

### 2.2.5 Offene Fragen und Hinweise auf weitere Untersuchungen

Die ausgewerteten Vorschriften geben nicht auf alle Fragen, die für die Erarbeitung der DIN-Norm von Interesse sind, ausreichende und widerspruchsfreie Antworten. Einige der offenen Fragen werden zumindest teilweise in nichtnormativen Veröffentlichungen (s. Abschnitt 3 des Berichtes) geklärt.

Aus den im Folgenden aufgeführten Punkten können weitere Forschungsthemen oder sonstige Untersuchungen abgeleitet werden.

- Die routinemäßige **Bewertung des Baugrundes** hinsichtlich der Einschätzung für die Maßnahmen des Radonschutzes (z.B. Durchlässigkeitswerte als Grundlage für den Wirkungsradius punktueller Absaugungen) wäre wünschenswert, wird aber nach allen Erfahrungen zur Zeit nicht entsprechend vorgenommen.
- **Berechnungen im Rahmen der Dimensionierung und Gestaltung von Radonschutzmaßnahmen** sind noch nicht befriedigend gelöst. Wünschenswert wäre z.B. ein Prognosemodell, über das durch Veränderung von Parametern (konvektive und diffusive Einströmung; Radonexhalation; Luftwechsel usw.) die zu erwartenden Veränderungen der Radonkonzentration in der Raumluft abgeschätzt werden können. Entscheidende Werte für die Ermittlung dürften hierbei die Radonquellstärke sowie der Luftwechsel sein. Ein solches Verfahren ist für die Prognose der Veränderung im Zusammenhang mit Sanierungsmaßnahmen wichtig. Vergleichend soll hier auf die Prognosemodelle in der Bauphysik (Feuchte- und Temperaturverläufe) verwiesen werden.
- **Exakte Beschreibung der Komponenten von Lösungen des Radonschutzes:** Die Auswertung der Normen zeigt, dass für die Dimensionierung und Gestaltung von Leitungen, Schächten, Lüftern usw. keine einheitlichen und vergleichbaren Werte in den jeweiligen Landesnormen aufgenommen sind. Deshalb sind für die Erarbeitung der DIN-Norm weitere Untersuchungen erforderlich. Diese können als erster Schritt eine kritische vergleichende Wertung der Angaben in den ausgewerteten Normen unter Einbezug weiterer Literaturquellen sein, es sind aber sicher auch weiterführende Untersuchungen erforderlich.
- **Radonmessungen:** Der Widerspruch zwischen den gesetzlichen Anforderungen (Langzeitmessungen) und den Anforderungen des Bauens (schnelle, preiswerte Lösungen) ist auch in den ausgewerteten Normen noch nicht befriedigend und abschließend gelöst, wenn auch interessante Ansätze und Vorschläge beschrieben werden. Für das Bauwesen ist es essenziell, diese Frage im Sinne einer verlässlichen, schnellen und preiswerten Vorgehensweise zu lösen. Dabei müssen ggf. lediglich auch in Deutschland vorhandene Lösungen und Erkenntnisse zusammengefasst und umgesetzt werden. Eine von Zeit und Aufwand her abgestufte Vorgehensweise ist zu bevorzugen.

### 3 Publikationen ohne normativen Charakter

#### 3.1 Allgemeines

Neben Normen und o.ä. Regelwerken existieren auch andere Publikationen zu diesem Themenbereich, die sich im Hinblick auf einen präventiven baulichen Radonschutz und einer Radonsanierung mit bau- und lüftungstechnischen Fragestellungen sowie verwendeten Materialien beschäftigen.

Hierzu zählen folgende Quellen:

- Publikationen von Behörden, öffentlichen Einrichtungen, Verbänden u.a. („Handbücher“);  
in der Regel umfangreiche Beschreibungen, z.T. mit detaillierten Anleitungen, Skizzen, Zeichnungen u.ä.; oftmals auch mit Grundlagen der Radonproblematik (z.B.: gesundheitliche Gefährdung, Herkunft und Quellen)
- Fachliteratur, Forschungsberichte, Tagungsbeiträge u.ä.;  
in der Regel Beschreibung grundsätzlicher Möglichkeiten bzw. konkreter Einzelfälle
- Beschreibungen konkreter baulicher und lüftungstechnischer Lösungen (Behandlung von Einzelthemen, Kurzanleitungen, Merkblätter u.ä.)

Es ist nicht Ziel des Vorhabens, eine vollständige und detaillierte Beschreibung aller möglichen Radonschutz- und -sanierungsmaßnahmen zu geben. Die wichtigsten Maßnahmen werden stichpunktartig aufgelistet (s. Kap. 3.2.1 und 3.2.2).

Anschließend werden sie im Hinblick darauf bewertet, ob und in welchem Maße eine Einbindung bzw. Berücksichtigung in einer deutschen DIN sinnvoll ist. Hierbei spielt eine Rolle, ob die Maßnahmen auf eine in Deutschland übliche Bauweise übertragen werden können. Für bestimmte Bereiche des Bauwesens (z.B.: Abdichtung, Feuchteschutz) existieren in Deutschland bereits Normen, auf die ggf. verwiesen werden kann. Daher konzentriert sich die Literatursauswertung auf radonspezifische Maßnahmen, die in Deutschland bislang nicht üblicherweise eingesetzt werden (z.B.: Radondrainage, -brunnen).

Nachfolgend sind die o.g. „**Handbücher**“ aufgelistet:

- Deutschland/BMU (2019): Radon-Handbuch Deutschland
- Deutschland/SMUL Sachsen (2018): Radonschutzmaßnahmen - Planungshilfe für Neu- und Bestandsbauten
- Schweiz/BAG (2000): Radonhandbuch Schweiz (Technische Dokumentation)
- England/BRE (2015): Radon – Guidance on protective measures for new buildings
- Irland/RPII (2002): Radon in existing buildings – Corrective Options
- Belgien/FANK (o.J.): Radon in Gebäuden - Sanierungs- und Vorbeugungsmaßnahmen
- Finnland/STUK (2008): Asuntojen radonkorjaaminen (STUK-A229; in finnisch, englisches Abstract)

- Dänemark/Statens Byggeforskningsinstitut Aalborg Universitaet (2015): Radonsikring af nye bygninger (in dänisch)
- Dänemark/Statens Byggeforskningsinstitut Aalborg Universitaet (2015): Radonsikring af eksisterende bygninger (in dänisch)
- Schweden/Clavensjö, Åkerblom (1994): The Radon Book (in englisch)
- Frankreich/CSTB (2008): Le radon dans les bâtiments (in französisch)
- Spanien/CSN (2010): Protección frente a la inmisión de gas radón en edificios (in spanisch)

Die hier zusammengestellten Publikationen beinhalten zumeist sowohl Maßnahmen zur Radonprävention als auch zur Radonsanierung. Lediglich die englische Veröffentlichung bezieht sich ausschließlich auf präventive Maßnahmen. In Dänemark sind für Prävention und Sanierung getrennte Veröffentlichungen erschienen.

In vielen Fällen werden auch zusätzliche, mehr oder weniger umfangreiche Informationen abseits der rein baulichen Aspekte gegeben. Hierzu zählen beispielsweise die gesundheitliche Gefährdung durch Radon, die Herkunft und die Quellen von Radon oder Hinweise zur Messtechnik i. w. S.

Der Kreis der Adressaten ist sehr unterschiedlich und beinhaltet u.a. Bauherren und Hauseigentümer, aber auch Architekten und Planer sowie Firmen und Handwerker, die mit diesen Fragen konfrontiert werden. Weil die beschriebenen Maßnahmen von unterschiedlicher Komplexität sind, reichen die Anforderungen an den Ausführenden von Heimwerkerkenntnissen bis zu speziellen Fachkenntnissen aus dem Abdichtungs- und/oder Lüftungswesen.

Die **Fachliteratur** sowie **Tagungsbeiträge** o.ä. beinhalten die Beschreibung und Bewertung von Maßnahmengruppen (z.B.: Abdichtung, Unterdruckhaltung) sowie von konkreten Einzelfällen, die detailliert erläutert werden. Daraus lassen sich in der Regel keine allgemeingültigen Aussagen ableiten, die für die Erstellung einer Norm nutzbar sind.

Angemerkt sei, dass Maßnahmen zur energetischen Ertüchtigung von Gebäuden, die seit einigen Jahren in umfangreichem Maße umgesetzt werden, in Wechselwirkung mit dem Radonschutz treten können. Die Möglichkeit einer systematischen Erhöhung der Radonkonzentrationen im Gebäude als Folge der Ertüchtigungsmaßnahmen wird zur Zeit diskutiert. Aus diesem Grund ist für diese Fälle eine gesonderte Betrachtung notwendig.

**Detailbeschreibungen** in Form von Kurzanleitungen, Merkblättern o.ä. beziehen sich stets auf eine konkrete Maßnahme und deren Umsetzung. Vom Aufbau und der Detailliertheit der Beschreibungen und Darstellungen wenden sich diese Publikationen oftmals an Baufachleute.

Beispielhaft seien hier Merkblätter aus England (BRE) oder Tschechien (Fakultät für Bauingenieurwesen der Technischen Universität Prag, in tschechisch) genannt (s. Kap. 3.3.4), die sich mit jeweils einem Einzelthema beschäftigen (z.B.: *radon sump*, Radondrainage).

Vereinzelt existieren **Sammlungen konkreter Fallbeispiele**. Hier seien genannt:

- Schweiz/BAG  
<https://worldradonsolutions.info/>
- Deutschland/KORA e.V.  
<http://datenbank.koraev.de/html/datenbank.html#eyJhY3Rpb24iOltDLiYXNlbWVudCI6W10sInVzYWdlIjpbXSwiY291bnRyeSI6W10sInBlcmVZCI6W10sImV4aXN0aW5nljotMSwic2xvcGUiOi0xLjZCI6MH0=>

Über Filter (z.B.: Land, Methode, Gebäudenutzung) können konkrete Fallbeispiele aufgerufen werden. Für die Inhalte ist in der Regel der jeweilige Autor verantwortlich, d.h. es existiert lediglich eine Vorgabe, welche Daten und Informationen erfasst werden sollten. Umfang und „Informationstiefe“ können daher sehr unterschiedlich sein.

## 3.2 Beschreibung möglicher Maßnahmen

In der Regel existiert keine strikte Trennung zwischen Präventions- und Sanierungsmaßnahmen. Dies ist aus praktischen Gründen durchaus erklärbar, weil je nach Situation die Anforderungen seitens des Architekten, Planers, Hauseigentümers u.a. unterschiedlich sein können. Somit können oder müssen verschiedene Maßnahmen oder Kombinationen mehrerer Maßnahmen zur Anwendung kommen.

### 3.2.1 Radonprävention

Grundsätzlich soll durch geeignete bauliche Maßnahmen beim Neubau der Eintritt radonhaltiger Bodenluft ins Gebäude soweit wie möglich unterbunden werden.

Folgende Maßnahmen können in der Praxis zur Anwendung kommen:

- (flächige) Abdichtung mittels „radondichter“ Membran über oder unter der Bodenplatte und Abdichtung der erdberührten Außenwände
- (lokale) Abdichtung potenzieller Eintrittspfade (z.B.: Fuge Bodenplatte – Mauerwerk, Mediendurchführungen)
- Unterdruckhaltung unter Bodenplatte (*Sub-slab depressurization*, SSD); prophylaktischer Einbau (z.B.: Radonbrunnen, -drainage) für eine (mögliche) spätere Aktivierung; Unterscheidung zwischen passivem und aktivem System: passiv = ausschließlich wind- bzw. temperaturinduzierte Luftbewegung; aktiv = Unterstützung durch Ventilator
- Sonstige (z.B.: WU-Beton)
- Kombinationen aus den o.g. Möglichkeiten

### 3.2.2 Radonsanierung

Der Eintritt radonhaltiger Bodenluft ins Gebäude wird hauptsächlich durch einen (leichten) Unterdruck im Gebäude gegenüber dem Boden in Gang gesetzt. Dieser Unterdruck wird primär durch eine Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Raumluft oder durch die Windlast verursacht. Er kann durch den Betrieb unterdruckerzeugender Geräte im Haus selbst (z.B.: Abluftanlage, Dunstabzug) verstärkt werden.

Folgende Maßnahmen können in der Praxis zur Anwendung kommen:

- Unterdruckhaltung unter Bodenplatte - *Sub-slab depressurization (SSD)* (z.B. Radondränage, Radonbrunnen, punktuelle Absaugung der Bodenluft)
- Verbesserung der (Be)Lüftung bzw. Erhöhung der Luftwechselrate; hierfür existieren verschiedene Möglichkeiten (z.B.: Überdruckhaltung, Kellerbelüftung, Verringerung des Unterdruckes im Gebäude)
- Abdichtung von Eintrittspfaden
- Sonstige (z.B.: Unterdruckhaltung in Zwischenbodenschichten und Kriechkellern)
- Kombinationen aus den o.g. Möglichkeiten

### 3.3 Beispiele

In den nachfolgenden Kapiteln werden exemplarisch und eingehender ausgesuchte landesspezifische Herangehensweisen beschrieben und bewertet. Hierbei wird sich auf die Länder konzentriert, in denen bereits langjährige Erfahrungen mit diesbezüglichen Fragestellungen vorliegen (z.B.: Schweiz, England, Tschechien). Die Vorgehensweise und die Maßnahmen in den anderen oben aufgeführten Ländern ähneln inhaltlich im Prinzip den nachfolgend beschriebenen Beispielen.

#### 3.3.1 Deutschland

Das **Radon-Handbuch Deutschland** liegt in einer Neubearbeitung aus dem Jahre 2019 vor. Es richtet sich an die interessierte Öffentlichkeit, Haus- und Immobilienbesitzer, die Wohnungswirtschaft sowie an die Bauwirtschaft. Ziel des Radon-Handbuches ist es, einen umfassenden Überblick über den gesamten Themenkomplex zu erbringen. Es hat nicht den Anspruch, bau- und lüftungstechnische Lösungen detailliert und fachlich exakt zu beschreiben.

Das Radon-Handbuches Deutschland ist wie folgt gegliedert:

1. Das natürliche radioaktive Edelgas Radon
2. Gesundheitsrisiko
3. Vorkommen
4. Radon in Gebäuden

5. Radonschutz im Strahlenschutzgesetz
6. Messung von Radon
7. Radonschutzmaßnahmen
8. Planung und Bauausführung
9. Schlusswort
10. Anhang

Hinsichtlich der bau- und lüftungstechnischen Aspekte sind die Abschnitte 7 und 8 sowie 10 von Interesse.

Im **Abschnitt 7 (Radonschutzmaßnahmen)** wird zu Beginn ein Überblick über alle Aspekte und Inhalte des Radonschutzes gegeben. Im Anschluss werden die einzelnen Schritte beschrieben.

Der erste Abschnitt „*Ausgangssituation erfassen*“ gibt für Neubauten orientierende Hinweise zur Einschätzung und Bewertung des Baugrundstückes. Für bestehende Gebäude werden Bewertungskriterien genannt, die auf eine erhöhte Radonbelastung schließen lassen und es werden Kriterien genannt, bei deren Vorliegen Radonmessungen in der Raumluft empfohlen werden.

Im Abschnitt „*Konzeptionelle Maßnahmen*“ werden Kriterien einer vorausschauenden Planung, wie z.B. Verzicht auf die Anordnung von Aufenthaltsräumen in radongefährdeten Bereichen, räumliche Abgrenzung von Kellergeschossen von den darüberliegenden Geschossen, zweckmäßige Leitungsführung usw., genannt und erläutert.

In dem Abschnitt „*Bautechnische Maßnahmen – Abdichtung gegen Radonzufuhr*“ werden zu Beginn die Eindringmechanismen Konvektion und Diffusion erläutert, um danach die verschiedenen Lösungen (Schließung von Leckagen in einer bestehenden Gebäudehülle, Innen- und Außenabdichtung, Abdichtungen von Durchführungen, Rissen und Löchern, Abdichtungen in Geschosdecken sowie Türabdichtungen) zu erläutern und mit Prinzipskizzen zu verdeutlichen.

Ein weiterer Abschnitt geht auf „*Lüftungstechnische Maßnahmen*“ ein. Hierunter werden die folgenden Lösungen zusammengefasst:

- Unterdruckerzeugende Faktoren eliminieren
- Unterdruck unter dem Gebäude aufrechterhalten
- Künstlicher Überdruck im Gebäude erzeugen
- Abführung radonhaltiger Luft aus dem Keller
- Abführung radonhaltiger Luft aus Aufenthaltsräumen.

Die verschiedenen Konzepte werden wiederum mit unterstützenden Prinzipskizzen erläutert.

Für die Luftabsaugung unter dem Gebäude werden zwei Prinzipien vorgestellt:

- Schaffung eines Unterdruckes im Erdreich gegenüber dem Luftdruck im Gebäude (Umkehr des konvektiven Luftstromes)
- Einspülung von Frischluft ins Erdreich zur Verdünnung der Radonkonzentration im Erdreich

Dabei wird die Unterdruckhaltung als das Verfahren mit den größten Erfolgsaussichten gekennzeichnet.

Ausführliche Erläuterungen, wiederum unterstützt durch Prinzipskizzen, sind den bekannten und eingeführten Bauformen Radondränge, Bodenentlüftung über zentralen Sammelschacht (Radonbrunnen), über Sammelkanal oder sowie über punktuelle „Sammelstellen“ gewidmet. Eine weitere in diesem Abschnitt vorgestellte Lösung ist die Luftabsaugung aus Hohlräumen in der Bodenkonstruktion („Zwischenbodenlüftung“).

Im **Abschnitt 8 (Planung und Bauausführung)** werden die Aspekte des Radonschutzes bei Planung und Bauausführung beschrieben. Im Einzelnen wird ein allgemeiner Überblick über das *Vorgehen*, werden die Besonderheiten bei der *Prävention bei Neubauten* sowie bei der *Radonsonierung bestehender Gebäude* beschrieben und wird abschließend auf *Synergien und Zielkonflikte* eingegangen.

Im **Abschnitt 10 (Anhang)** ist eine Zusammenstellung enthalten, die für die unterschiedlichen Maßnahmen und Strategien die erreichbare Reduzierung der Radonkonzentration einschätzt. Desweiteren enthält dieser Anhang eine Checkliste als Hilfe für die systematische Erfassung und Analyse des Zustandes von Gebäuden. Es wird empfohlen, in allen Gebäuden mit Radonkonzentrationen über 100 Bq/m<sup>3</sup> eine Erfassung nach der Checkliste durchzuführen.

Für die DIN-Normungsarbeit wird empfohlen, die Aussagen des Radon-Handbuches Deutschland vergleichend heranzuziehen. Dabei sollte der Vergleich hinsichtlich aufgenommener Maßnahmen und Methoden sowie die Integration von wesentlichen Aussagen und Strategien (wie z.B. die Gebäudeerfassung, die Vorgehensweise hinsichtlich Radonmessungen usw.) im Vordergrund stehen.

### 3.3.2 Schweiz

Im **Radonhandbuch Schweiz** (2000) sind verschiedene Maßnahmen(gruppen) für den Radonschutz beschrieben. Es wird eine Vorgehensweise für den präventiven Radonschutz bei Neubauten sowie die Radonsanierung im Bestand vorgeschlagen. Das Handbuch richtet sich in erster Linie an Architekten und andere mit Neubau und Sanierung von Gebäuden betraute Fachleute.

Aufgrund des Erscheinungsdatums spiegelt dieses Handbuch in bestimmten Punkten nicht mehr den aktuellen Kenntnisstand wider. Einerseits hat sich die rechtliche Situation geändert – mit einer Herabsetzung der „Richtwerte“ -, andererseits sind Änderungen oder Verbesserungen bei Materialien, Produkten und technischen Umsetzungen zu berücksichtigen. Die vorgestellten Methoden sind aber grundsätzlich noch gültig. Gleiches gilt für die abgestufte Vorgehensweise mit unterschiedlich aufwändigen Maßnahmen bei

Prävention und Sanierung, die unabhängig von der Höhe der „Richtwerte“ zur Anwendung kommen kann.

Zunächst wird die **allgemeine Herangehensweise** erläutert. Ein baulicher Radonschutz kann demnach bei Neubauten, im Zuge von Renovierungen bzw. Umbauten sowie bei festgestellten erhöhten Radonkonzentrationen in der Raumluft im Bestand („klassische“ Radonsanierung) umgesetzt werden.

Beim Neubau können präventive Schutzmaßnahmen verhältnismäßig einfach umgesetzt werden und zeigen in der Regel den gewünschten Erfolg. Anders sieht es bei Sanierungen aus: Hier kann der Aufwand sehr unterschiedlich sein, wobei aber nicht automatisch der gewünschte Erfolg garantiert werden kann. Daher ist die Verhältnismäßigkeit zu beachten, ggf. ist eine schrittweise Vorgehensweise notwendig, um sich dem Sanierungsziel anzunähern.

Vor der Planung und Umsetzung der eigentlichen baulichen Maßnahmen sind die spezifischen Rahmenbedingungen zu klären (z.B.: Lage des Gebäudes/Grundstücks („Radongebiet“), Bodenbeschaffenheit, Lage zukünftiger Aufenthaltsräume, Plausibilität existierender Messwerte, Möglichkeit der Einbindung in anderweitige Umbaumaßnahmen). Des Weiteren wird empfohlen, bestimmte konzeptionelle Punkte allgemeiner Art zu beachten (z.B.: besser Geschosstrennung als offenes Treppenhaus, keine Aufenthaltsräume im Keller, Planung von Leitungsdurchführungen ins Gebäude und Leitungsführungen im Gebäude selbst).

Anschließend werden verschiedene Radonschutzmaßnahmen beschrieben. Diese werden kategorisiert in die beiden großen Gruppen Abdichtung und Lüftung.

Bei der **Abdichtung** wird zwischen (flächiger) Diffusion und (punktuelle/lokaler) Leckage unterschieden.

Diffusion spielt in der Regel eine nur untergeordnete Rolle. Lediglich bei sehr hohen Bodenluftkonzentrationen bzw. Quellstärken im Untergrund ist der Diffusion besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Materialien können als „radondicht“ bewertet werden, wenn sie bestimmte Vorgaben erfüllen (s. Kap. 5 AP 4).

Wichtiger ist es, die Luftdichtheit der (erdberührten) Gebäudehülle zu gewährleisten. Zahlreiche mögliche Eintrittswege werden benannt (z.B.: Risse und Fugen in Böden und Wänden, Durchführungen von Kabeln (auch mit Leerrohren) und Leitungen, Kanalisationsrohre, Revisionsschächte, Kamine). Zudem sind auch Ausbreitungswege im Gebäudeinneren zu beachten (z.B.: durchlässige Geschosskonstruktionen wie Holzbalkendecken, Bruchsteinmauerwerk).

Eine saubere technische Ausführung der Abdichtungsmaßnahme ist grundsätzlich Voraussetzung dafür, den gewünschten Erfolg zu erzielen.

Es werden Beispiele verschiedener erd- und raumseitiger Abdichtungsmöglichkeiten gegeben. Diese umfassen sowohl das Einbringen flächiger Materialien (z.B.: Folie, Dichtungsschlamm) als auch punktuell anzuwendende Abdichtungsmaßnahmen (z.B.: Durchdringungen, Fugen und Risse, Türen, Klappen u.ä. Öffnungen zum Erdreich). Schemaskizzen sollen die Vorgehensweise verdeutlichen.

Insbesondere bei Sanierungen im Altbestand kann eine (nachträgliche) Abdichtung mitunter schwierig sein, so dass zusätzliche Maßnahmen – beispielsweise lüftungstechnischer Art – ergriffen werden müssen.

Ursache für das Eindringen radonhaltiger Bodenluft ins Gebäude ist stets ein Druckgefälle vom Erdreich zum Hausinneren. Der tatsächliche Radoneintritt ins Gebäude wird im Wesentlichen durch gebäudetypische Eigenschaften (z.B.: Vorhandensein von Rissen u.ä. im erdberührten Bereich, Gebäudehöhe, Geschosszahl) und Witterungsbedingungen (z.B.: Druck-/Temperaturdifferenzen innen – außen, Wind) bestimmt, woraus eine ganz normale Thermik im Haus selbst erzeugt wird. Verschärft werden kann die Situation durch den Betrieb unterdruckerzeugender Anlagen (z.B.: Abzüge in Bädern und Küchen, Kamine, Öfen). Die Verteilung innerhalb des Gebäudes hängt von baulichen Gegebenheiten ab (z.B.: Geschosstrennung, Leitungsführungen im Gebäude). Alle diese Faktoren müssen bei Überlegungen zu Radonschutzmaßnahmen mittels **Lüftung** einfließen. „Passiven“ Systemen, die ausschließlich durch natürliche Druck- und Temperaturdifferenzen „angetrieben“ werden, ist stets der Vorzug zu geben. Erst wenn diese nicht den gewünschten Erfolg zeigen, sollten „aktive“ Systeme mit einem Ventilator zum Einsatz kommen. Nachteilig sind hierbei die laufend anfallenden Betriebskosten sowie die Notwendigkeit einer regelmäßigen Wartung und Kontrolle (z.B.: Luftvolumenströme). Zudem bedarf es einer Dokumentation der Maßnahme(n), ggf. ergänzt um eine Bedienungsanleitung für eingebaute Geräte. Auch sollte auf die regelmäßige Prüfung der Höhe der Radonkonzentration hingewiesen werden.

Prinzipiell werden unterschiedliche Herangehensweise beschrieben: Eliminierung Unterdruck erzeugender Faktoren, Unterlüftung des Gebäudes, Erzeugung eines künstlichen Überdrucks im Gebäude sowie Weglüftung radonhaltiger Luft im Keller oder aus Aufenthaltsräumen.

Für die verschiedenen Möglichkeiten werden Beispiele gegeben. Ausführlich werden unterschiedliche Möglichkeiten zur Unterlüftung des Gebäudes beschrieben. Hierbei werden die Druckverhältnisse zwischen Boden und Gebäude umgekehrt, so dass der Radoneintritt ins Haus verhindert wird. Die Belüftung eines durchgehenden, nicht genutzten Hohlraumes unter dem Gebäude, eine flächige Radondrainage oder ein oder mehrere punktuelle Radonbrunnen sind entsprechende Möglichkeiten. Aber auch Entlüftungen unter Dichtungsbahnen, in Sammelkanälen, aus Hohlbodenkonstruktionen oder über existierende Sickerleitungen werden diskutiert. Eine leichte Überdruckhaltung (wenige Pascal) im Gebäude wird ebenfalls als eine geeignete Maßnahme angesehen. Die Reduzierung erhöhter Radonkonzentrationen aus dem Aufenthaltsbereich mittels „manueller“ Lüftung stellt nur eine Sofortmaßnahme dar. Als dauerhafte Lösung bietet sich hier der Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung an. Schemaskizzen verdeutlichen die Vorgehensweise.

Ausführlich und detailliert werden Anforderungen an Ventilatoren beschrieben (z.B.: technische Kennwerte, Schallschutz, Vermeidung von Kondensat), falls diese zum Einsatz kommen sollen/müssen.

Für die **Vorgehensweise** bei Radonprävention im Neubautgeschehen und bei Radon-sanierungen wurden einfache Ablaufschemata entwickelt.

Bei **Neubauten** wird zwischen einem Standardradonschutz und Zusatzmaßnahmen für eine erhöhte Radonprävention unterschieden. Grundsätzlich sollten keine offenen Verbindungen vom Untergeschoss ins Erdgeschoss und höhere Etagen eingeplant werden. Der Keller sollte gegenüber den anderen Gebäudeteilen stets abgetrennt (z.B.: Kellertür) sein.

Als Standardradonschutz wird eine dichte Bodenkonstruktion empfohlen (z.B.: Betonfundamentplatte); ggf. kann der Einbau einer zweiten „Dichtungsebene“ zwischen Keller und darüber liegendem Aufenthaltsbereich sinnvoll sein. Die Zahl der Durchdringungen ins umgebende Erdreich sollte minimiert werden. Schächte und Leitungsführungen sollten so ausgeführt sein, dass über sie keine Verbindungen zur Raumluft von Aufenthaltsräumen bestehen. Lüftungstechnisch sollten keine unterdruckerzeugenden Anlagen geplant werden.

Zusatzmaßnahmen für eine erhöhte Radonprävention beinhalten im Wesentlichen die (prophylaktische) Vorbereitung einer Unterbodenabsaugung (z.B.: Drainage). Der Einbau einer zweiten „Dichtungsebene“ zwischen Keller und darüber liegendem Aufenthaltsbereich wird empfohlen. Geprüft werden kann der Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.

Unabhängig davon, ob es sich um Standard- oder Zusatzmaßnahmen handelt, sollten nach Fertigstellung der Maßnahme(n) eine Kontrollmessung der Raumluftkonzentration bei regulärer Nutzung erfolgen. Im letzteren Fall empfiehlt sich eine Wiederholung im Fünfjahresabstand.

Für die **Radonsanierung** spielt die Ausgangssituation eine entscheidende Rolle. Da es sich um eine bereits existierende konkrete Radonbelastung im Haus handelt, ist die geographische Lage des Gebäudes (z.B. Lage in einem „Radongebiet“) nachrangig. Allgemeingültige Angaben zur Vorgehensweise können nicht gemacht werden. Von Bedeutung ist jedoch, ob es sich um eine reine Radonsanierungsmaßnahme oder eine davon unabhängige Umbau- oder Renovierungsmaßnahme handelt. Im letzteren Fall können umfangreichere Maßnahmen unter Umständen einfacher umgesetzt werden. In jedem Fall wird eine stufenweise Vorgehensweise mit zwischengeschalteten Kontrollmessungen empfohlen. Stets sollte man mit einfach durchzuführenden und in der Regel kostengünstigen „Sofortmaßnahmen“ beginnen. Daran sollten sich innerhalb eines vertretbaren zeitlichen Rahmens die eigentlichen Radonsanierungsmaßnahmen anschließen.

Im Zuge einer sogenannten „einfachen Radonsanierung“ kommen Maßnahmen zur Anwendung, die einfach und kostengünstig und in der Regel vom Hausbesitzer selbst (ohne bautechnische Kenntnisse) durchzuführen sind. Hier seien beispielhaft aufgeführt: Verhinderung des Unterdruckes im Untergeschoss (z.B.: Nachströmöffnungen für Abluftanlagen), Verbrennungsluftzufuhr von außen für Heizkessel, Abdichtung offensichtlicher lokaler „Leckagen“ zum umgebenden Erdreich (Fugen, Risse), Abdichtung von Wänden, Decken und Türen zwischen Aufenthalts- und Kellerräumen, Belüftung von Kriechkellern und Unterbodenhohlräumen.

Eine „umfassende Radonsanierung“ beinhalten dementsprechend aufwändigere Maßnahmen, die in der Regel durch Fachpersonal oder -firmen umgesetzt werden müssen. Hierzu zählen

beispielsweise der Einbau einer Lüftungstechnischen Anlage oder die gezielte Erzeugung eines Unterdruckes unter dem Gebäude.

In einem weiteren Kapitel werden **Synergien und Zielkonflikte** diskutiert, die im Zuge der Radonprävention bzw. –sanierung auftreten können. Hierzu zählen u.a. Wärme- und Feuchteschutz, die Luftdichtigkeit der Gebäudehülle sowie Schallschutz und Brandschutz.

### 3.3.3 England

Umfangreich und detailliert beschäftigt sich die englische Publikation BR 211 „**Radon – Guidance on protective measures for new buildings**“ (BRE 2015) mit präventiven Radonschutzmaßnahmen bei Neubauten.

Bei der BRE (*British Research Establishment*) handelt es sich um einen Zusammenschluss von Forschern, Wissenschaftlern Ingenieuren und Technikern aus dem Bereich des Bauwesens. Bei der Erstellung der radon-relevanten Publikationen waren zusätzlich Experten aus anderen Fachbereichen (z.B.: Geologie, Gesundheitswesen) involviert. U.a. resultieren aus dieser Zusammenarbeit die flächendeckenden Radonkarten für alle Landesteile, welche im Anhang der Publikation zusammengestellt sind (s. Kap. 2.1.3).

Die Publikation BR 211 „**Radon – Guidance on protective measures for new buildings**“ gliedert sich in mehrere Teile:

Zunächst werden kurz und allgemein Möglichkeiten des Radonschutzes beschrieben. Es wird unterschieden zwischen „passiven“ und „aktiven“ Systemen. Mittels passiver Systeme wird eine Abdichtung gegenüber dem Baugrund hergestellt, beispielsweise durch Einziehen von Folien. Eine 0,3 mm dicke „gasdichte“ PE-Folie (*1200 gauge damp-proof membrane (DPM)*) wird für diesen Zweck - auch in Gebieten mit einem erhöhten Radonpotenzial - als ausreichend angesehen. Diese Maßnahme stellt die sogenannte „*basic radon protection*“ dar. Wenn die Bauweise es erlaubt, kann sie durch eine natürliche Unterlüftung des Gebäudes ergänzt werden. Ein aktives System beinhaltet eine natürliche oder mechanisch (durch einen Ventilator) unterstützte Unterlüftung des Gebäudes oder eine Bodenluftabsaugung unter dem Gebäude. Dieses soll in Gebieten mit hohem Radonpotenzial eingesetzt werden und wird als „*full radon protection*“ bezeichnet. Auf Sonderfälle wie beispielsweise die Nähe zu Deponien oder (alten) Kohleabbaugebieten mit dem möglichen Auftreten von Methan wird hingewiesen.

Ebenso kurz wird erläutert, wie ermittelt werden kann, welche Maßnahmen für das „eigene“ Gebäude als notwendig erachtet werden. Hier wird auf die o.g. Karten Bezug genommen. Aus den Karten ist das höchste Radonpotenzial innerhalb desjenigen Rasterelementes (1 x 1 km) zu entnehmen, in dem das geplante Haus liegt. Dies bedeutet (natürlich) nicht zwangsläufig, dass diese Einstufung für das gesamte Rasterelement zutrifft. Die Karten enthalten drei Klassen bzgl. des (präventiven) Radonschutzes: kein Schutz, „*basic radon protection*“ oder „*full radon protection*“ notwendig. Bei Vorhandensein einer postalischen Anschrift kann eine

„bauplatz-spezifische“ Einstufung abgefragt werden. Diese kann von der Einstufung der Rasterkarte abweichen.

Anschließend werden bauliche Maßnahmen für „*basic radon protection*“ und „*full radon protection*“ beschrieben. Dies geschieht zumeist mittels detaillierter Schemaskizzen, die jedoch nicht als Bauzeichnung zu verstehen sind. Grundsätzlich beziehen sich alle beschriebenen Maßnahmen auf in England gängige Bauweisen. Folgende wesentliche Unterscheidungen zu den in Deutschland typischen Bauweisen haben Einfluss auf die Gestaltung der Radonschutzmaßnahmen:

- In der Regel sind Wohnhäuser in England nicht unterkellert.
- Häufig wird die Erdgeschossboden aufgeständert, sodass ein Hohlraum zwischen Oberfläche Erdreich und Bodenplatte entsteht (entspricht einer Durchlüftungsebene und kann im Sinne eines Kriechkellers behandelt werden). Als zweite Bauform für den unteren Gebäudeabschluss kommt der auch in Deutschland typische Aufbau direkt auf dem Erdreich zur Anwendung
- Außenwände werden in England zumeist als mehrschalige, hinterlüftete Konstruktion mit schwerer äußerer Vorsatzschale (Klinker) ausgebildet. Typisch für diese Bauform ist der zwischen tragender Innen- und Vorsatzschale befindliche durchgehende Luftspalt, der in der Regel vertikal über die gesamte Gebäudehöhe verläuft (hinterlüftete Wandkonstruktion). Für die Grundmauern kommen häufig vorgefertigte zweisechalige Betonelemente zum Einsatz, wobei der Hohlraum in der Regel ausbetoniert wird.
- Neben monolithisch gegossenen Stahlbetondecken kommen häufig sogenannte Handmontagendecken, bei denen zwischen Beton- oder Stahlträgern leichte Einhangkörper eingebaut werden, zum Einsatz. Oberhalb der Einhangdecke wird in Abhängigkeit von den statisch-konstruktiven Anforderungen ggf. eine monolithische Betonschicht eingebaut (*beam and block-Bauweise*).

Sowohl die Bauformen für Grund und Außenwände als auch für Decken sind weit weniger konvektionsdicht als die in Deutschland üblichen Massivkonstruktionen. Günstig hinsichtlich des baulichen Radonschutzes sind die aufgeständerten Deckenkonstruktionen über dem Boden. Eine unmittelbare Übertragbarkeit auf die Verhältnisse in Deutschland ist somit nicht automatisch gegeben

Die baulichen Maßnahmen für „*basic radon protection*“ beinhalten das Einbringen einer sogenannten „*radon barrier*“ im Bodenaufbau. Im Prinzip ist hiermit eine „gasdichte“ Folie (s.o.) gemeint. Dies kann oberhalb des Bodens erfolgen, wobei ein gasdichter Anschluss an die horizontale Sperrschicht (*DPM*, s.o. bzw. *cavity tray*) zu gewährleisten ist. Auf diese Weise wird zudem der Luftraum bei Vorhandensein einer Doppelwand „unterbrochen“, so dass Bodenluft nicht innerhalb der Wände nach oben gelangen kann. Alternativ kann die Folie unter dem Boden (unmittelbar) auf dem Baugrund ausgelegt werden, wobei sie bis unter die anschließend zu errichtenden Wände geführt wird. In diesem Fall ist darauf zu achten, dass die Folie eine entsprechend ausreichende mechanische Widerstandsfähigkeit besitzt bzw. abgedeckt (z.B.: Sand, Magerbeton) eingebaut wird, um eine Beschädigung während des

weiteren Baufortschrittes zu verhindern.-Es wird darauf hingewiesen, dass grundsätzlich auf die Abdichtung von Durchdringungen zu achten ist.

Die baulichen Maßnahmen für „**full radon protection**“ beinhalten den Einbau eines Radonbrunnens („*radon sump*“) oder die Schaffung eines durchgehenden Hohlraumes unter dem Boden, der über mehrere Belüftungsöffnungen (wenn nötig, auch aktiv mittels Ventilator) entlüftet wird. Erfolgt die Ableitung der Bodenluft durch ein im Haus geführtes Rohr besteht die Möglichkeit, dass bei ausreichender Höhe des Gebäudes und Wärmeisolierung des Rohres der normale (saisonal unterschiedliche) thermische Auftrieb ausreicht, um die Bodenluft abzuführen. Zu beachten ist, dass in Gebieten mit hohem Radonpotenzial eine Folie möglicherweise den Radoneintritt ins Gebäude nicht ausreichend verhindern kann, so dass die o.g. Maßnahmen zusätzlich zum Einbau der Abdichtung zu ergreifen sind.

Abschließend werden **Detaillösungen** für ganz unterschiedliche bauliche Situationen beschrieben. Vorab wird ausdrücklich auf die Notwendigkeit einer sorgfältigen Ausführung aller baulichen Maßnahmen, der kontinuierlichen Baubegleitung und Kontrolle sowie die Wahl geeigneter Firmen o.ä. hingewiesen. Hierfür wird dem Architekten bzw. Planer eine Checkliste an die Hand gegeben.

Die o.g. Detaillösungen befassen sich mit ganz verschiedenen Fragestellungen. Hierzu zählen u.a. Aspekte beim Einbringen von Folien u.ä. (z.B.: Ausführung von Überlappungen, Nutzung vorgefertigter Formteile an Durchdringungen, Materialeignung, Kontrolle der Gasdichtigkeit), zur Vorgehensweise beim Vorhandensein von Holzböden oder im Falle von An- und Umbauten (z.B.: Dichtheit von Kontaktbereich zwischen altem und neuem Gebäudeteil) sowie Renovierungen.

Auch die Themen **Unterbodenbelüftung sowie Radonbrunnen** werden detailliert beleuchtet und es werden konkrete Angaben zur baulichen Umsetzung gemacht.

#### *Radonbrunnen:*

Bei Vorhandensein einer gut durchlässigen Kiesschüttung unter dem Gebäude reicht in der Regel ein Radonbrunnen für das Gebäude aus. Hierbei geht man von einem Absaugradius um Brunnen von ca. 9 m aus, was einer Einzugsfläche von ca. 250 m<sup>2</sup> entspricht. In einem hochpermeablen Untergrund kann der Absaugradius bis zu 15 m betragen. Die Platzierung des Brunnens kann randlich oder zentral unter dem Gebäude erfolgen; letztere wird insbesondere bei unregelmäßigen Gebäudegrundrissen empfohlen. Ist der Bereich unterhalb des Gebäudes baulich in mehrere Bereiche unterteilt (z.B. durch Grundmauern und Fundamente), sind ggf. mehrere Brunnen notwendig. Diese können miteinander verbunden werden und somit die Bodenluftabsaugung in einem vertikalen Strang gebündelt werden. Zur Reduzierung der Schachanzahlen können diese auch an den Rand eines Bereiches gelegt werden und dort durch Durchbohrung o.a. des Fundamentes ein zweiter Bereich lufttechnisch angekoppelt werden. Zum Einsatz können kommerziell erhältliche Radonbrunnen, aber auch Eigenbauten (z.B. aus versetzt angeordneten Mauerziegeln mit Durchlassöffnungen für

Rohre) kommen. Eine Sonderform des Radonbrunnens in Bestandsgebäuden stellt die Anordnung unmittelbar neben der Außenwand (Fundament) dar. Hier wird unterhalb der Bodenplatte eine kleiner Fertigteilschacht oder ein individuell errichteter Schacht (Größe etwa 40 \* 40 \* 40 cm), eingebaut und über eine Bohrung durch das Fundamentmauerwerk die Absaugung direkt ins Freie vorbereitet. Diese Lösung hat sich nach Aussage der Broschüre für kleine Gebäude als eine einfache und ausreichend wirksame Methode erwiesen.

Die Abführung der abgesaugten Bodenluft soll über undurchlässige PVC-Rohre (Durchmesser: 11 cm) erfolgen. Ihre Dimensionierung muss den späteren Einbau eines Ventilators möglich machen. Die Positionierung der Rohrführung für die Ableitung der Bodenluft ist vorab zu planen, beispielsweise an der Hausaußenseite oder durch das Hausinnere über das Dach. Ein Ventilator ist stets nahe am Rohrausgang anzubringen, um sicherzustellen, dass das gesamte Rohrsystem unter Unterdruck steht.

Bei einem unterkellerten Gebäude kann zur Druckentspannung im verfüllten Baugrubenbereich vor der Wand eine Geotextilmatte eingebaut werden. Dieser so entstehende Hohlraum wird an die Abluftführung angeschlossen.

#### *Radondränage:*

Alternativ zum Radonbrunnen kann ein Dränagerohr in einer Kiesschicht unterhalb der Bodenplatte oder ein noppenartiges Geotextil direkt unterhalb der Bodenplatte verlegt werden (bei dieser Lösung wird die Luft aus dem Raum zwischen den Noppen abgesaugt). Die Verlegung der perforierten Drainagerohre kann mehr oder weniger beliebig erfolgen (ring-/schlangenförmig, geometrisch rechteckig); es muss lediglich die gesamte Fläche abgedeckt werden.

Sowohl Radonbrunnen als auch Radondränagen werden in der Regel als zusätzliche Maßnahmen zur Abdichtung eingebaut. Ein Lüftereinbau erfolgt erst dann, wenn sich nach Abschluss der Baumaßnahme ergibt, dass die Abdichtung allein nicht ausreichend ist.

#### **Gebäudeerweiterungen:**

Ein gesonderter Abschnitt wird den Besonderheiten von Gebäudeerweiterungen gewidmet. Dabei wird die Frage diskutiert, welche Radonschutzmaßnahmen in Abhängigkeit von der Größe der Erweiterung sowie von den Radonschutzmaßnahmen im bestehenden Gebäude angewendet werden sollen. Besonderes Augenmerk wird dem Anschluss von Radonbarrieren im Anbau an die Wände des Bestandsgebäudes gewidmet, da in diesem Bereich durch mögliche Gebäudebewegungen Undichtigkeiten entstehen können, die ein konvektives Einströmen zulassen.

#### **Aufenthaltsräume in Kellern und unterirdischen Räumen**

Ebenfalls gesondert wird die Situation von Aufenthaltsräumen mit Erdberührung behandelt. Zu Beginn dieses Abschnittes wird darauf verwiesen, dass solche Räume besonders gefährdet sind. Für die nachträgliche Umnutzung von Keller- in Aufenthaltsräume ist in England eine gängige Bauweise, an der Raumseite der Kellerwand eine durchgehende Noppenbahn als Feuchteschutz anzuordnen. Dadurch kann hier eine „Konkurrenz“ zwischen dem Schutz gegen Bodenfeuchte/drückendes Wasser und dem Radonschutz entstehen. Bei dieser

Lösungen dienen die raumseitig verbauten Noppenbahnen als Feuchteschutz, wobei (kondensiertes) Wasser im Hohlraum zwischen den Noppen abfließen kann. Dieser Hohlraum, der sich über den gesamten Wandbereich erstrecken kann, bietet radonhaltiger Bodenluft gute Wegsamkeiten zum Aufstieg. In solchen Fällen ist es wichtig, dass ein horizontaler Radonschutz zwischen Keller und Erdgeschoss die Ausbreitung des Gases in den Aufenthaltsbereich verhindert. Ggf. kann der Hohlraum zwischen den Noppen für eine Luftabsaugung genutzt werden (s.o.).

Da in Deutschland diese Lösung des Feuchteschutzes nicht angewendet wird, besteht kein weiterer Diskussionsbedarf zu dieser Lösung.

### **Umbauten und Sanierungen**

Wenn Nichtwohnungen in Wohnungen umgebaut werden oder umfassende Sanierungen geplant sind, ist der Radonschutz einzubeziehen.

Der Einbau einer Radonbarriere führt in der Regel zu keinem befriedigenden Ergebnis, da die Boden-Wandanschlüsse zumeist nicht sicher konvektionsdicht ausgeführt werden können. Es wird deshalb der Einbau von Radonbrunnen vorgeschlagen.

Unabhängig davon, welche baulichen Maßnahmen zum Radonschutz ergriffen werden, sollten anschließend stets **Kontrollmessungen** durchgeführt werden, um den Erfolg der Maßnahme(n) beurteilen zu können.

Ein abschließendes Kapitel beschäftigt sich in kurzer Form mit Empfehlungen für Informationen bezüglich des Radonschutzes, die sinnvollerweise dem Käufer eines Hauses gegeben werden sollten. Zuvorderst soll im Falle eines vorhandenen Radonschutzes darüber informiert werden, ob es sich um eine „*basic*“ oder „*full radon protection*“ handelt und ob sich eine „Radonsperre“ über oder unter der Bodenplatte bzw. dem Fundament befindet. Während bzw. nach Ende der Bauphase durchgeführte Qualitätssicherungsmaßnahmen sollen benannt werden. Die Lage des Radonbrunnens bzw. seiner potenzieller Anschlusspunkte - wenn vorhanden - muss beschrieben werden; eine eindeutige Kennzeichnung ist zu empfehlen. Auf die Notwendigkeit einer regelmäßigen Inspektion und Reinigung von Ventilations- und/oder Drainageöffnungen ist hinzuweisen.

Einen vergleichbaren, z.T. identischen Inhalt haben die BRE-Publikationen aus der *Good Building Guide*-Reihe:

- GG 73 (2015): *Radon protection for new domestic extensions and conservatories with solid concrete ground floors*
- GG 74 (2015): *Radon protection for new dwellings*
- GG 75 (2015): *Radon protection for new large buildings*

Gleiches gilt für die BRE-Publikationen aus der *Reducing Radon Quick Guide*-Reihe:

- Quick Guide 1: Improving natural under-floor ventilation
- Quick Guide 2: Fan-assisted under-floor ventilation
- Quick Guide 3: Positive house ventilation
- Quick Guide 4: Mini sump system with high level exhaust
- Quick Guide 5: Mini sump system with low level exhaust
- Quick Guide 6: Internal mini sump system
- Quick Guide 7: Underground rooms – cellars and basements

### 3.3.4 Tschechien

#### 3.3.4.1 Überblick über die Publikationen

In Tschechien gibt es seit vielen Jahren umfangreiche praktische Erfahrungen mit baulichem Radonschutz bei Neubauten sowie Maßnahmen bei der Radonsanierung. Im Rahmen des Radonprogramms der Tschechischen Republik (Radonový Program České Republiky; <https://www.radonovyprogram.cz>) wurde eine Reihe von Broschüren (Arbeitsmappen) erarbeitet, die von der Fakultät für Bauingenieurwesen der Technischen Universität Prag veröffentlicht wurden und sich jeweils unterschiedlichen Themen widmen. Die vor kurzem aktualisierten Schriften aus 2017 liegen ausnahmslos in tschechischer Sprache vor.

Diese Veröffentlichungsreihe gibt einen umfassenden Überblick über die folgenden Fragestellungen:

- **Arbeitsmappe O:** Wahl der Radonschutzmaßnahmen in neuen und bestehenden Gebäuden
- **Arbeitsmappe C:** Berechnungen nach der Norm CSN 73 0601
- **Arbeitsmappe I:** Anforderungen an die radonsichere Gebäudeabdichtung
- **Arbeitsmappe D:** Berechnung des Diffusionskoeffizienten für Abdichtungen
- **Arbeitsmappe P:** Beschreibung von Systemen für die Untergrundbelüftung in Neubauten und Sanierungen
- **Arbeitsmappe M:** Entwurf und Ausführung von Lüftungsschichten in neuen und bestehenden Gebäuden
- **Arbeitsmappe S R N A:** Beschreibung und Dimensionierung der Komponenten für Entlüftungssysteme
- **Arbeitsmappe G:** Baustoffe als Quelle der Radonbelastung und Gammastrahlung
- **Arbeitsmappe V:** Einsatz einfacher Belüftungssysteme

Die Publikationen wenden sich zum einen an die Fachöffentlichkeit (z.B.: Planer, Bauausführende), zum anderen an Bauherren, Behörden u. ä. Die Inhalte lehnen sich eng an die Tschechische Radonnorm ČSN 73 0601 an (s. Kap. 2.2.2) und enthalten im Grunde genommen Erläuterungen und Weiterführungen der Normeninhalte.

Im Folgenden werden die Inhalte der Arbeitsmapen erläutert. Dabei werden die Ausführungen zu Arbeitsmapen, die sich auf die Wiedergabe und Kommentierung von Normeninhalten beschränken, nur kurz, Arbeitsmapen, deren Inhalte über die Norm hinausgehen, dagegen ausführlich beschrieben.

### 3.3.4.2 Arbeitsmappe O: Wahl der Radonschutzmaßnahmen

Zu Beginn wird in dieser Arbeitsmappe die Frage erörtert, welche Gebäude und Räume radongeschützt ausgeführt werden müssen und es werden die Ziele der Radonschutzmaßnahmen erläutert.

Neben der allgemeinen Anforderung zur Einhaltung bzw. Unterschreitung des Referenzwertes geht die Broschüre auf den Zusammenhang zwischen Radonschutz und Luftwechselraten ein. Danach sind nach der tschechischen Wärmeschutznorm (ČSN 73 0540: 2007) folgende Frischluftmengen für die Bestimmung der Luftwechselrate zugrunde zu legen:

- 15 m<sup>3</sup> / h pro Person in Räumen mit geringer körperlicher Aktivität;
- bis 25 m<sup>3</sup> / h pro Person in Räumen mit körperlicher Aktivität über 80 W / m<sup>2</sup>;
- 20 bis 30 m<sup>3</sup> / h pro Schüler in Klassenräume und
- 20 bis 90 m<sup>3</sup> / h pro Schüler in Turnhallen.

Die sich hieraus ergebenden Luftwechselraten können für die Radonberechnungen gem. ČSN 73 0601 zugrunde gelegt werden. Werden in Messungen hiervon abweichende Bedingungen vorgefunden, sind die Luftwechselraten oder die Berechnung anzupassen.

Im Weiteren werden in der Arbeitsmappe die Grundlagen für die Auslegung der **Radonschutzmaßnahmen in Neubauten** erläutert. Diese basieren auf Abschnitt 3.3 und 5.1.ff. der Norm ČSN 73 0601 (s. Bericht Teil1, Punkt 2.2.2.3).

Die Schutzart im Neubau wird durch die folgenden Kriterien bestimmt:

- Radonindex der Umgebung sowie des Baugrundes;
- Lage der Wohnräume im Gebäude;
- Art der Belüftung des Gebäudes;
- Vorliegen bestimmter Risikofaktoren.

Zur Bestimmung des **Radonindexes** wird das Verfahren der Norm ČSN 73 0601 erläutert (s. Bericht Teil 1, Abschnitt 2.2.2.3). Ergänzend wird in der Arbeitsmappe die Bestimmung der Gasdurchlässigkeit des Bodens beschrieben. In diese Bestimmung gehen die Permeabilität sowie der prozentuale Anteil feinkörniger Bestandteile im Boden ein. Es wird für die einzelnen Gruppen auf typische Bodenarten nach ČSN 73 1001 verwiesen.

- Geringe Gasdurchlässigkeit des Bodens:

- Permeabilität  $k < 3 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2$
- Prozentualer Anteil feinkörniger Bestandteile:  $f > 65\%$
- Mittlere Gasdurchlässigkeit des Bodens:
  - Permeabilität  $3 \cdot 10^{-15} < k < 5 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$
  - Prozentualer Anteil feinkörniger Bestandteile:  $15\% < f < 65\%$
- Hohe Gasdurchlässigkeit des Bodens:
  - Permeabilität  $k > 5 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$
  - Prozentualer Anteil feinkörniger Bestandteile:  $f < 15\%$

Die verschiedenen Lagen der Wohn- bzw. Nutzräume im Gebäude werden anhand von einfachen Schemaskizzen beschrieben.

Hinsichtlich der **Belüftungsart** wird zwischen Zwangsbelüftung und natürlicher Belüftung unterschieden. Die Aussagen bleiben aber in dieser Arbeitsmappe allgemein.

Als **Risikofaktoren** werden Bodenschichten mit besonders hoher Durchlässigkeit sowie Fußbodenheizungen aufgeführt. Danach kann auf Grund des größeren Temperaturunterschiedes zwischen Erdreich und Fußbodenheizung in etwa die doppelte Menge an Bodenluft konvektiv ins Gebäude eindringen. Es wird deshalb bei Fußbodenheizungen empfohlen, eine zusätzliche Entlüftungsmaßnahme im Erdreich (Arbeitsmappe P) oder der Konstruktion (Arbeitsmappe M) vorzusehen.

Für die Auswahl der **Radonschutzmaßnahmen bei Neubauten** ist in der Arbeitsmappe ein Ablaufdiagramm enthalten. In diesem sowie den detaillierten Ausführungen hierzu wird die in der Norm ČSN 73 0601, Punkt 5.3 bis 5.5 beschriebene Vorgehensweise erläutert (s. Bericht, Teil 1, Abschnitt 2.2.2.3).

Die folgenden Abschnitte der Arbeitsmappe erläutern die **Radonschutzmaßnahmen in Bestandsgebäuden**. Diese basieren auf Abschnitt 5.6.ff. der Norm ČSN 73 0601 (s. Bericht Teil1, Punkt 2.2.2.3).

Als Grundlagen gehen in die Entscheidung zur Wahl der Radonschutzmaßnahmen die Ergebnisse von Messungen im Gebäude sowie die Zustandsbewertung der Baukonstruktion ein. Messungen sind immer dann erforderlich, wenn „aufgrund der verfügbaren Daten keine verantwortungsvolle Entscheidung getroffen werden kann“. Messungen sind in allen erdberührten sowie einem Drittel der in oberen Geschossen gelegenen Nutzräumen durchzuführen. Die Messdauer soll mindestens eine Woche betragen. Der Beitrag von Baustoffen zur Radonkonzentration in der Raumluft wird über die Bestimmung der Dosisleistung von Gammastrahlung eingeschätzt (s. Arbeitsmappe G). Liegt der Wert im Bereich der natürlichen Hintergrundstrahlung (in der Regel unterhalb  $0,2 \mu\text{Sv/h}$ ) sind Baumaterialien keine signifikante Radonquelle. Bei Werten über  $0,3 \mu\text{Sv/h}$  ist ein Beitrag zur Radonbelastung durch Baustoffe möglicherweise vorhanden.

Weitere diagnostische Untersuchungen für Radonsanierungen können sein:

- Zeitverlauf der Radonkonzentration
- Sniffingmessungen
- Blower-door-Messungen
- Bestimmung des Radonindex eines Gebäudes

- Bestimmung der Gasdurchlässigkeit eines Bodens sowie des vertikalen Profils der Gasdurchlässigkeit als Grundlage für die Wahl möglicher Bodenlüftungs- und Unterdrucksysteme
- Bestimmung der Radonzufuhr durch Wasser
- Parallel zur Radonmessung in den Räumen sollte die Luftwechselrate als wichtige Grundlage für die Festlegung der Radonschutzmaßnahmen bestimmt werden.

Im Abschnitt „**Wahl der Radonschutzmaßnahmen für bestehende Gebäude**“ werden zu Beginn verschiedene Aspekte des Entscheidungsprozesses erläutert. Auf Grund der nicht verallgemeinerungsfähigen Grundlagen ist häufig eine stufenförmige Realisierung der Radonsanierungsmaßnahmen sinnvoll. Weiterhin wird darauf verwiesen, dass verschiedene Maßnahmen den aktuellen Zustand der Gebäude mit Auswirkung auf die Radonzufuhr verändern können. So kann eine neue Dämmung den Feuchtegehalt von Wänden beeinflussen, können Entlüftungssysteme im Boden zu einer Abkühlung führen. Radonschutzmaßnahmen sind deshalb im breiten Kontext zu bauphysikalischen und bautechnischen Maßnahmen zu lösen.

Im Anschluss an allgemeine Aussagen zum Entscheidungsprozess werden die Radonschutzmaßnahmen in Abhängigkeit von der vorhandenen Radonkonzentration in den Räumen beschrieben. Hier wird die in der Norm ČSN 73 0601, Punkt 5.6 bis 5.8) beschriebene Vorgehensweise erläutert (s. Bericht, Teil 1, Abschnitt 2.2.2.3). Ergänzt werden die Beschreibungen durch ein Flussdiagramm.

Abschließend werden in der Arbeitsmappe ausführliche Hinweise zur **Durchführung von Radonmessungen** in Gebäuden gegeben, die auf die Messmethoden, die Messdauer sowie Auswertung der Messungen eingehen.

### **3.3.4.3 Arbeitsmappe C: Berechnungen nach CSN 73 0601**

#### **Dimensionierung von Radonschutzmaßnahmen**

In dieser Arbeitsmappe werden alle Berechnungsansätze der Norm ausführlich dargestellt und anhand von Beispielrechnungen, in die eine Reihe von Zeichnungen eingebunden sind, erläutert.

Folgende Berechnungen sind enthalten:

- Berechnung der Dicke von Radonabdichtungen;
- Berechnung der Dicke von Radonabdichtungen in Kombination mit der Belüftung des Untergrundes;
- Berechnung der Anforderungen an die Kontaktkonstruktionen in Gebäuden mit Kriechkellern
- Berechnung der Anforderungen an die Kontaktkonstruktionen in Gebäuden mit ungenutzten Kellergeschossen

Diese Arbeitsmappe ist eine wichtige Ergänzung für das Verständnis und die ordnungsgemäße Anwendung der unterschiedlichen Berechnungsverfahren in der Norm ČSN 73 0601. Die Berechnungsverfahren sind im Berichtsteil 1, dort Abschnitt 2.2.6 und ausführlich in Anlage 2 zum Bericht aufgeführt.

### **3.3.4.4 Arbeitsmappe I: Radonschutz**

#### **Entwurf und Ausführung von Radon-Abdichtungen in neuen und bestehenden Gebäuden**

Die Ausführungen in dieser Arbeitsmappe basieren auf der Norm ČSN 73 0601 (2006) „Schutz von Gebäuden gegen Radon aus dem Boden (s. Berichtsteil 1, Abschnitt 2.2.2 und Anlage 2 zum Bericht), Es werden die Ausführungen des Normenabschnitt 6.2 der Norm erläutert.

Zu Beginn wird betont, dass es die wichtigste Funktion der Radonschutzschichten ist, die Dichtheit der Konstruktion zu gewährleisten (durchgehendes System), um somit die konvektive Komponente des Radontransports vom Erdreich ins Gebäude zu unterbinden. Des Weiteren ist der Radontransport durch Diffusion erheblich zu reduzieren.

Die Radonschutzschichten erfüllen gleichzeitig die Funktion der Abdichtung gegen Wasser, zusätzlich ist der Radondiffusionskoeffizient zu berücksichtigen. Der Koeffizient ist dabei für die Abdichtungsschichten selbst sowie für die Fugen und Anschlüsse zu bestimmen. Für die Verbindungen dürfen keine selbstklebenden Bänder verwendet werden, da deren Langzeitwirkung nicht nachgewiesen ist. Weiter Anforderungen sind die Langlebigkeit, die zerstörungsfreie Aufnahme der anfallenden Belastungen sowie die Materialverträglichkeit. Zwischen den Anforderungen an den Feuchtschutz sowie den Radonschutz besteht ein Widerspruch dahingehend, dass dort, wo erhöhte Anforderungen an die Abdichtung gegen Wasser vorliegen (z.B. drückendes Wasser, bindige Böden) die Radonkonzentrationen im Boden gering und umgekehrt dort, wo geringe Anforderungen an die Feuchteabdichtung bestehen (nichtbindige Böden, kein drückendes Wasser) die Anforderungen an den Radonschutz i.A. hoch sind. Zur Lösung dieses Widerspruchs sind entweder hochwertige Abdichtungssysteme auch dort, wo es aus dem Feuchteschutz nicht zwingend erforderlich wäre, anzuwenden oder es sind zusätzliche Maßnahmen, wie z.B. die Entlüftung des Bodens oder die Erzeugung eines Unterdruckes im Boden, anzuwenden.

Ausführlich geht das Arbeitsbuch auf die Beschreibung und korrekte Anwendung der Abdichtungsmaterialien ein. Diese Ausführungen werden unterschieden in

- Bituminöse Bahnen
- Kunststofffolien
- Beschichtungssysteme sowie
- Betonit-Abdichtungen

Die sehr ausführlichen Erläuterungen zu bituminösen- und Kunststoffbahnen können hier nicht in der gleichen Tiefe wiedergegeben werden, zumal die Aussagen, soweit es sich um in Deutschland eingeführte Lösungen handelt, aus den Abdichtungsregelungen bekannt sind.

Für am Ort aufgebrachte Beschichtungssysteme auf Epoxidharz und PU-Basis sowie Zementbasis muss hinsichtlich der Eignung für die Radonabdichtung eine ausreichende Überbrückung vorhandener Risse gewährleistet sein. Risse, die nach Aufbringen der Beschichtungen entstehen, können mit diesen hier angesprochenen Systemen nicht überbrückt werden. Abdichtungssysteme auf Zementbasis eignen sich in der Regel nicht für eine sichere Radonabdichtung, da die Permeabilität dieser Lösungen sehr hoch ist.

Abdichtungen auf Basis von Betonit bestehen aus einer Mischung verschiedener Tonmineralien, die eine starke Wasseraufnahme bei gleichzeitig hoher Quellfähigkeit aufweisen. Damit kann eine auf eine erdberührte Wand aufgebrachte Betonit-Beschichtung bei Feuchtigkeit im Erdreich durch das Quellverhalten eine zuverlässige Abdichtung ermöglichen. Da im Boden mit Feuchteschwankungen bis hin zur Austrocknung des Erdreiches zu rechnen ist, eignen sich diese Abdichtung nicht als Radonbarriere.

Für Bestandsgebäude ist die Realisierung einer dichten Gebäudehülle mit einer Reihe von Problemen verbunden. Insbesondere sind die Anschlüsse von neu eingebauten horizontalen Abdichtungen an die Querschnittsabdichtung in den Wänden, die oft fehlende oder unwirksame Querschnittsabdichtung in den Wänden sowie die fehlende und häufig nicht nachrüstbare vertikale Außenabdichtung Problemstellen. Die sichere Abdichtung gegen Radoneintritt ist deshalb bei Sanierungen zumeist sehr teuer und in ihrer Wirkung begrenzt. Abdichtungen in bestehenden Gebäuden sind demnach zumeist nur dann sinnvoll und wirtschaftlich realisierbar, wenn gleichzeitig umfangreiche Arbeiten, wie z.B. der Einbau einer neuen Bodenplatte geplant sind. Sind solche umfassenden Sanierungsmaßnahmen nicht vorgesehen, ist eine mögliche ergänzende Lösung der Einbau von Belüftungsschichten im Fußboden oder/und im Wandbereich (s. Arbeitsmappe M), durch die gleichzeitig die Entfeuchtung unterstützt wird. Sehr ausführlich werden die möglichen Lösungen zum nachträglichen Einbau einer Abdichtung in den aufgehenden Wänden beschrieben.

Für die Ausführung luftdichter Anschlüsse von Abdichtungsbahnen untereinander sowie von Mediendurchführungen sind in der Broschüre neben der Beschreibung im Text eine Reihe von Detailzeichnungen und Fotos enthalten.

Qualitätsbeeinflussende Faktoren beim Einbau der Abdichtungen sind die Verarbeitungsfähigkeit der Abdichtungsbahnen, die Lage von Durchdringungen, das Bautempo sowie die Maßnahmen zur Qualitätskontrolle.

Für Neubauten liegt der Anteil der Häuser, in denen nach Einbau der Abdichtung die Radonkonzentration im Gebäude unter  $200 \text{ Bq/m}^3$  liegt, zwischen 80 und 90%. Dagegen beträgt der Wirkungsgrad einer nachträglich eingebauten Abdichtung in Sanierungsobjekten nach Ermittlungen der Autoren bei lediglich ca. 37%, d.h. die Radonkonzentration in der Raumluft wird im Durchschnitt lediglich auf 63% des Wertes vor dem Einbau reduziert. Insbesondere bei hohen Ausgangsbelastungen ist deshalb die nachträgliche Abdichtung nicht zielführend.

In weiteren Abschnitten der Broschüre werden die Bemessungsgrundlagen für Neubauten sowie bestehende Gebäude beschrieben.

Für Neubauten gehen in die Auslegung des Radonschutzes die folgenden Kriterien ein:

- Radonuntersuchung des Baugrundes

- Auswertung geotechnischer Untersuchungen
- Gebäudedaten

Für bestehende Gebäude ist eine gründliche Voruntersuchung erforderlich, in die die folgenden Aspekte einzubeziehen sind:

- Qualität der Bestandskonstruktionen
- Aufbau des Untergrundes (Erdreich)
- Hydrologische Daten
- Diagnosemessungen zur Ortung von Eintrittspfaden von Radon

#### **3.3.4.5 Arbeitsmappe D: Radondiffusionskoeffizienten**

##### **Berechnung der erforderlichen Schichtstärken für die Begrenzung der Radon-diffusion.**

In dieser Broschüre wird das in der Norm ČSN 73 0601 (2006) „Schutz von Gebäuden gegen Radon aus dem Boden“ (s. Berichtsteil 1, Abschnitt 2.2.2 und Anlage 2 zum Bericht) verankerte Verfahren zur Bestimmung der Radonexhalationsrate E (dort Abschnitt 6.2.6.ff) erläutert. Die Erläuterung der Berechnungsansätze wird in der Arbeitsmappe durch eine umfangliche Tabelle mit Werten für die Radon-Diffusionskoeffizienten und Diffusionslängen in Abdichtungsmaterialien ergänzt. In dieser Tabelle sind weit über 200 Folien und Beschichtungen aus tschechischer sowie slowakischer Produktion zusammengefasst.

#### **3.3.4.6 Arbeitsmappe P: Untergrundbelüftungssysteme**

##### **Entwurf und Einbau von Lüftungssystemen in neuen und bestehenden Gebäuden**

In dieser Arbeitsmappe werden alle Systeme erläutert, mit denen ein Unterdruck unterhalb des Gebäudes generiert und somit das konvektive Einströmen von Bodenluft ins Gebäude verhindert wird. Als Nebeneffekt dieser Maßnahmen wird auf die Verdünnung der Bodenluft im gebäudeangrenzenden Bereich verwiesen. Die Erläuterungen korrespondieren mit den Ausführungen der Norm ČSN 73 0601, dort Abschnitt 6.3 (s. Bericht, Teil 1, Abschnitt 2.2.2.7 und Anlage 2).

Zu Beginn werden die Komponenten der Belüftungssysteme beschrieben. Faktoren, die die Effizienz der Systeme beeinflussen, sind:

- Durchlässigkeit der Bodenschichten unterhalb des Gebäudes
- Anordnung und Tiefe der Fundamente
- Dichtheit des Geländes am Haus

Im Folgenden wird ausführlich auf die geologischen und hydrologischen Randbedingungen eingegangen. Danach sind homogene geologische Schichtungen nicht ideal, günstiger ist es, wenn die obere Schicht eine hohe Permeabilität aufweist, darunter dichter gelagerte Schichten vorhanden sind. Ausführlich werden des Weiteren verschiedene Kriterien beschrieben, die die

Radonkonzentration unterhalb des Gebäudes erhöhen oder reduzieren können. Hierzu sind ergänzende bildliche Darstellungen enthalten.

Ein weiterer Abschnitt der Arbeitsmappe beschreibt mögliche Nebenwirkungen der Bodenlüftungssysteme mit:

- Kühlung der Fußböden und Fundamente
- Feuchtigkeitsreduzierung im Untergrund und in den Baukonstruktionen
- Erhöhung des Luftaustauschs durch die Kontaktkonstruktionen, welcher allerdings in Summe als vernachlässigbar eingeschätzt wird.

Für die Effizienz von Untergrundlüftungssystemen wird in Ergänzung des in der Norm ČSN 73 0601 (Abschnitt 8) aufgenommenen Bewertungsverfahrens die aus einer Großzahl von Messungen ermittelte Verteilung der Wirksamkeit mit den folgenden Ergebnissen dargestellt.

- Wirksamkeit von 70 bis 80 % erreichen 6,1% der Lösungen
- Wirksamkeit von 80 bis 90 % erreichen 40,8 % der Lösungen
- Wirksamkeit von 90 bis 95 % erreichen 38,8 % der Lösungen
- Wirksamkeit über 95 % erreichen 14,3 % der Lösungen

Diese Zahlen zeigen eindrucksvoll die hohe Wirksamkeit von Absaugungen der Bodenluft!

In den weiteren Abschnitten der Arbeitsmappe werden die folgenden Lösungen für Neubau und Sanierung textlich und durch Zeichnungen erläutert:

- Neubau: Radondränage, über horizontale Sammelleitung verbunden, Entlüftung über Dach
- Neubau: Radondränage, Dränagerohre direkt an vertikales Entlüftungsrohr angebunden
- Neubau: Radondränage, Entlüftung neben Gebäude (im Freien)
  - Detail: Vorbereitung für späteren Anschluss eines Lüfters (prophylaktischer Einbau der Dränage)
- Sanierung: Radondränage in Kiesschicht unter der Bodenplatte verlegt
- Sanierung: Verlegung der Dränagerohre in neu angelegten Kanälen unter der Bodenplatte
- Sanierung: Einbau der Dränagerohre von außen (über Bohrung durch die Grundmauern)
  - Variante: Axialventilator direkt im Bohrloch der Grundmauern eingebaut
  - Variante: Anordnung eines Radialventilators außen, vor dem Bohrloch
  - Variante: Anlage einer Sammelleitung außen (z.B. in der Baugrube) zu einer gemeinsamen Ablufführung
- Sanierung, teilunterkellerte Gebäude: Einbau der Dränagerohre vom unterkellerten Bereich aus; Ablufführung im Gebäude über Dach
- Wie vorhergehende Variante, aber Ablufführung nach außen.
- Sanierung: neu teilweiser Einbau von neuer Bodenplatte und Fußboden; In der Bauphase (Ausbau des alten Fußbodens und Bodenaushub für Einbau der neuen Bodenplatte) werden von dort horizontale Löcher durch die anliegenden Grundmauern gebohrt und von dort Dränagerohre unter die nichterneuerten Bodenaufbauten geführt;

Zusammenführung des Dränagesystems im neu errichteten Bereich und Entlüftung über Dach

- Neubau: Errichtung von Sammelgruben (Radonschächte) unterhalb der neu aufgebauten Bodenplatte und Zusammenführung der Schächte über Sammelrohr; Entlüftung über Dach
- Sanierung: Einbau eines Schachtes unterhalb der bestehenden Bodenplatte über einen Durchbruch in der Außenwand; Entlüftung außerhalb Gebäude. In dieser Variante liegt der Schacht direkt an die Außenwand angelehnt.
- Sanierung, teilunterkellerte Gebäude: analog vorhergehende Variante, aber Absaugung im unterkellerten Bereich angelegt; Entlüftung über Dach
- Sanierung, nicht- oder vollständig unterkellerte Gebäude: Errichtung von zwei Schächte unmittelbar neben den Grundmauern (Fundamentmauerwerk) und Zusammenführung der Schächte durch Stichkanal; Entlüftung über Dach
- Sanierung: Nutzung eines ehemaligen Brunnen- oder Kontrollschachtes: Absaugleitung nach außen.

### 3.3.4.7 Arbeitsmappe M: Lüftungsschichten

#### **Entwurf und Ausführung von Lüftungsschichten in neuen und bestehenden Gebäuden**

In diesem Heft wird die Konstruktion und Ausführung horizontaler und vertikaler Lüftungsschichten im Bereich des Bodenaufbaus sowie der erdberührten Kellerwände beschrieben. Diese Ausführungen basieren auf der Norm ČSN 73 0601 (2006) „Schutz von Gebäuden gegen Radon aus dem Boden“, dort Abschnitt 6.4 (s. Teil 1 des Berichtes, Punkt 2.2.2.8 und Anlage 2). Ziel dieser Schichten ist es, die Druckverhältnisse so zu verändern, dass keine Bodenluft konvektiv vom Erdreich ins Gebäude dringt. Für diese Belüftungsschichten können die unterschiedlichsten Materialien, wie Noppenbahnen, Wellpappen, Wellbleche verschiedene Folien usw. zur Anwendung kommen. Die Höhe des Luftspaltes beträgt zwischen 20 und 300 mm.

Die Belüftungsschichten können sowohl innerhalb des Gebäudes (an der Innenwand; innerhalb des Fußbodenaufbaues) als auch außerhalb (unter der Bodenplatte; vor der Außenwand) angeordnet werden.

Die Entlüftung erfolgt passiv oder aktiv. Der Wirkungsgrad passiver Lösungen ist dabei deutlich geringer. So liegt die durchschnittliche Reduktion der Radonkonzentrationen im Gebäude bei passiven Lösungen im Bereich von 50%, bei aktiven im Bereich von 80 bis 90%.

Es folgen ausführliche Erläuterungen zur Ausführung dieser Belüftungsschichten. Ein besonderes Problem kann dabei die Unterkühlung im Winter durch eindringende Außenluft darstellen. Liegen die Belüftungsschichten außerhalb des Gebäudes, kann es zu einer Austrocknung des Erdreichs führen, die bei bindigen Böden zu verstärkter Rissbildung im Boden und damit verstärkter Radonzufuhr führen kann.

Die detaillierte Beschreibung der Lösungen wird durch insgesamt 17 Zeichnungen ergänzt und erläutert.

Zu den folgenden Lösungen sind Detailzeichnungen enthalten (teilweise sind zwei Zeichnungen für eine Lösung aufgenommen):

- **M1:** Neubauten - Belüftungsschicht aus starren Betonschalen unter der Radonschutzschicht
- **M2:** Neubauten - Belüftungsschicht aus Noppenfolie über der Radonschutzschicht
- **M3:** Bestehende Gebäude - Belüftungsschicht unter der Radonschutzschicht; mehrere Varianten
- **M4:** Bestehende Gebäude - Belüftungsschicht über der Radonschutzschicht
- **M5:** Bestehende Gebäude - Belüftungsschicht über der Radonschutzschicht und an der Innenseite der Kellerwand; mehrere Detailzeichnungen zu Varianten
- **M6:** Horizontale Belüftungsschicht unterhalb der Radonschutzschicht (z.B. nach M1; vertikale Belüftungsschicht an der Außenseite der Kellerwände; dadurch keine Verbindung von horizontaler und vertikaler Belüftungsschicht

### 3.3.4.8 Arbeitsmappe S R N A: Elemente von Radonschutzsystemen

#### Lüfter – Lüfterturbinen - Verteiler

Die Erläuterungen dieser Arbeitsmappe sind untergliedert in Lüfter, Lüftungsturbinen und Verteiler. Neben der Beschreibung der Anforderungen, der Auswahlkriterien und Einsatzbereiche sowie der Beschreibung der Bedienelemente und der Bedienregularien werden die Gerätelösungen mit ihren charakteristischen Daten unter Einbezug von Skizzen zu den Einbaulösungen vorgestellt.

#### **Lüfter**

Bei Untergrundlüftungssystemen (gem. Arbeitsmappe P) wird der Ventilator nach den folgenden Kriterien ausgewählt:

- Größe des erforderlichen Luftstromes,
- Druckverluste im Untergrund in Abhängigkeit von der Durchlässigkeit des Untergrunds,
- Verhältnis der Durchlässigkeit von Lüftungsschicht und gewachsenem Erdreich  $k_d / k_s$
- Dichtheit des Bodens.

Bei Vorliegen von Belüftungsschichten (s. Arbeitsmappe M) hängt die Auswahl des Lüfters von folgenden Kriterien ab:

- Dichtheit des angrenzenden Bodens,
- Anzahl, Größe und Form der Vertiefungen,
- Fläche und Höhe der Lüftungsschicht.

Es können Rohr-, Dach- und Wandventilatoren eingesetzt werden, sie müssen einer Luftfeuchtigkeit von 80 bis 100% und Kondenswasser widerstehen. Bei der Auswahl muss zudem eine mögliche erhöhte Staubbelastung berücksichtigt werden. Der Lüfter wird so

platziert, dass sich der durch den Innenraum verlaufende Kanal auf der Saugseite des Lüfters befindet. Auf den ausreichenden Schutz vor Vibrations- und Geräuschübertragung ist zu achten.

Lüfter sollten den Betrieb mit verschiedenen Leistungsstufen ermöglichen. Eine ideale Lösung wäre die Steuerung in Abhängigkeit von der aktuellen Radonkonzentration in der Raumluft. Allerdings fehlen hierfür aktuell noch praktikable, zuverlässige und preiswerte Sensoren.

Lüfbertypen:

#### *Dachradialventilator*

- Anwendung: Längere Rohre mit höherem Druckverlust. Geeignet zum Absaugen von Luft aus allen Arten von Unterdrucksystemen. Einbau des Lüfters am Ende des Belüftungsrohrs. Der Ventilator ist für den Betrieb im Freien ausgelegt. Er ist kondenswasserbeständig.
- Leistungsmerkmale: 100 bis 250 Pa bei einem Luftvolumenstrom von 250 bis 100 m<sup>3</sup>/h. Leistungsaufnahme: 19–86 W

Einbauvarianten (mit bildlicher Darstellung in der Arbeitsmappe):

- S1: Einbau am Ende eines Steigrohres in einem ungenutzten Schornstein oberhalb Schornsteinkopf.
- S2: Einbau am Ende eines separat durchs Haus geführten Steigrohres oberhalb der Dachhaut.
- S3: Einbau am Ende eines Abluftrohres oberhalb der Geländeoberfläche (mind. 60 cm über Gelände). Zuführrohr durchs Erdreich.
- S4: Einbau außerhalb des Gebäudes oberhalb des Geländes; Befestigung an der Hauswand.

#### *Rohrradialventilatoren:*

- Anwendung: Längere Rohre mit höherem Druckverlust. Geeignet zum Absaugen von Luft aus allen Arten von Unterdrucksystemen. Einbau im Innenbereich der Gebäude. Es kann bei horizontalem Einbau der Ventilatoren zu Kondenswasserbildung kommen.
- Leistungsmerkmale: 100 bis 250 Pa bei einem Luftvolumenstrom von 250 bis 100 m<sup>3</sup>/h. Leistungsaufnahme: 40–70 W

Einbauvarianten (mit bildlicher Darstellung in der Arbeitsmappe):

- R1: Einbau des Ventilators in einem separaten Steigrohr unmittelbar unter der Dachhaut.
- R2: Führung des Steigrohres in einem bestehenden Schornstein. Für den Ventilatoreinbau muss das Steigrohr aus dem Schornstein herausgeführt und danach wieder eingeführt werden; Einbau in der Regel im Dachgeschoss.
- R3: Einbau in einem horizontalen Abluftrohr im nichtunterkellerten Bereich, in der Regel direkt vor der Abluftöffnung nach außen. Diese Einbauvariante erfordert die Möglichkeit der Kondensatabführung.
- R4: Einbau in einem vertikalen Abluftrohr im unterkellerten Bereich, in der Regel direkt vor der Ablufführung nach außen.

#### *Radialventilatoren mit direkter Wandmontage:*

- Anwendung: Längere Kanäle mit größerem Druckabfall. Geeignet zum Absaugen von Luft aus allen Arten von Abluftsystemen. Installation am Ende des Abluftrohres an der Außenwand. Ggf. Kondensatprobleme
- Leistungsmerkmale: 100 bis 250 Pa bei einem Luftvolumenstrom von 250 bis 100 m<sup>3</sup>/h. Leistungsaufnahme: 60–110 W

Einbauvarianten (mit bildlicher Darstellung in der Arbeitsmappe):

- N1: Installation außen an der Außenwand (oberhalb Geländeoberkante)

#### *Kanal-Axiallüfter*

- Anwendung: Kürzere Kanäle mit geringem Druckverlust, z.B. um den Luftaustausch in Kellern oder Nebenräumen zu erhöhen oder um Luft direkt aus dem Abluftkanal oder einzelnen Brunnen abzusaugen. Vorzugsweise horizontaler Einbau. Nicht geeignet für den Lufttransport durch Steigleitungen, für Gebäude mit undichten Böden, für ein niedriges  $k_d / k_p$ -Verhältnis und bei geringer Durchlässigkeit des Bodens unter dem Gebäude. Kondensatbildung im Winter beachten!
- Leistungsmerkmale: 30 bis 60 Pa bei einem Luftvolumenstrom von 20 bis 120 m<sup>3</sup>/h. Leistungsaufnahme: 12–20 W

Einbauvarianten (mit bildlicher Darstellung in der Arbeitsmappe):

- A1: Direkter Anschluss an Dränagerohr unter dem Gebäude, welches in diesem Fall von außen durch die Grundmauer über eine Bohrung eingebaut worden ist; Lage des Lüfters in der Außenwandbohrung.
- A2: Einbau in einer Kelleraußenwand zur direkten Luftabsaugung aus dem Keller (Erhöhung des Luftwechsels im Kellerraum)
- A3: Einbau in einer Kelleraußenwand mit Anschluss innen an eine Abluftleitung zur Anbindung nicht direkt hinter dem Lüfter liegender Räume oder Bodenlüftungsschichten.

### **Lüftungsturbinen**

Lüftungsturbinen sind rotierende Windräder aus speziell geformten Lamellen, die sich unter dem Einfluss des Windes drehen und den Luftaustritt aus den Rohrleitungen fördern, auf denen sie montiert sind. Die Luftmenge, die durch sie strömt, hängt von der Windgeschwindigkeit ab. Daher ist es sehr wichtig, dass diese Köpfe dem Wind ausgesetzt sind und nicht im Windschatten liegen.

Lüftungsturbinen sind in verschiedenen Größen erhältlich. Für die Unterstützung des Radontransportes sind Typen geeignet, die an Rohren mit einem Durchmesser von 200 bis maximal 300 mm montiert werden können. Turbinen dieser Kategorie können bei einer Windgeschwindigkeit von 8 km/h 160 bis 600 m<sup>3</sup>/h absaugen. Die beim Einsatz der Lüfterturbinen erzeugte Druckdifferenz ist gering. Da diese Geräte zudem auf Grund ihres Einbauortes über Dach relativ weit entfernt vom Unterboden entfernt liegen, entstehen durch die lange Strecke zusätzlich relativ große Druckverluste. Insgesamt ist der Wirkungsgrad dieser Lösung relativ gering und zudem stark vom Windaufkommen abhängig. Sie kommt

deshalb ausschließlich für die Unterstützung passiver Systeme in Frage, zudem nur dort, wo die Widerstände in der Entlüftungsschicht gering sind (z.B. bei gut durchlässigen, relativ hohen Kiesschichten).

Aus Deutschland ist diese Lösung bisher nicht bekannt.

### **Verteiler**

In diesem Abschnitt werden die verschiedenen Rohrarten und Querschnittslösungen für die Verteilerrohre vorgestellt und deren Verlegung erläutert.

#### **3.3.4.9 Arbeitsmappe G: Baumaterialien als Radonquelle und Gammastrahlung**

Vor allen Dingen in älteren Bestandsgebäuden können Baustoffe mit einem erhöhten Gehalt an radioaktiven Bestandteilen aus der Uran-Radium- und Thorium-Zerfallsreihe verbaut worden sein. Aufgrund der langen Halbwertszeit einiger Radionuklide werden solche Materialien praktisch zu konstanten Quellen für Radon- und Gammastrahlung. Es wird geschätzt, dass solche Baumaterialien in bis zu 30.000 Wohngebäuden in Tschechien enthalten sind. Die Arbeitsmappe enthält detaillierte Informationen zu allen Baustoffen mit höherem Gehalt an Radio-226, die in der Tschechischen Republik in der Vergangenheit verwendet wurden. Hierzu zählen insbesondere Abfälle aus dem Abbau von Silber- und Uranerzen in Jáchymov, Bausteine aus Rynholec-Asche sowie Gassilikatblöcke aus Flugasche des Kraftwerks in Trutnov-Poříčí. Die Situation wird durch Tabellen veranschaulicht, in denen die Radonkonzentrationen und Dosisraten der Gammastrahlung angegeben sind, die in den jeweiligen Häusern mit welcher Häufigkeit zu erwarten sind.

Besonderes Augenmerk wird auf die Beschreibung der erforderlichen Schritte im Rahmen der Voruntersuchungen und Planungsschritte sowie der Umsetzung von Maßnahmen gegen Radon- und Gammastrahlung gelegt.

Auf die detaillierte Beschreibung der Untersuchungen an Bestandsgebäuden wird im Rahmen dieses Berichtes nicht näher eingegangen, da es sich um spezifische Lösungen aus Tschechien handelt, die sich nicht oder nur bedingt mit den Verhältnissen in Deutschland vergleichen lassen.

Die in dieser Arbeitsmappe erläuterten Untersuchungen von Baumaterialien sind nicht in der Norm CSN 73 0601 enthalten, weswegen diese im Folgenden detailliert beschrieben werden.

Zu Beginn werden die Voruntersuchungen beschrieben:

Der erste Schritt bei der Ausarbeitung des Maßnahmenentwurfs ist danach die Prüfung der verfügbaren Dokumente mit:

- Erfassung bisheriger Messungen der Radonkonzentration- und Gammadosisleistung;
- Auswertung vorhandener Projektunterlagen und Gebäudebestandsaufnahme, insbesondere Erfassung der eingebauten Baumaterialien;
- Auswertung früherer Messungen;
- Auswertung von Bautagebüchern und Inspektionsaufzeichnungen usw.

Weiterhin können diagnostische Messungen mit dem Ziel, die Ursachen für erhöhte Werte zu finden, durchgeführt werden. Hierzu kommen die folgenden Messungen zur Anwendung:

- Zeitaufgelöste Messungen der Radonkonzentration in der Raumluft;
- Messungen zur Ortung von Leckagen, u.a. mittels der Blower-door-Methode usw.;
- Bestimmung der Luftwechselrate;
- Messung der Dosisleistung von Gammastrahlung in einer Höhe von 1 m über dem Boden und in einem Abstand von mind. 0,5 m von den Wänden;
- Ggf. ergänzende Laboruntersuchungen zur spektrometrischen Analyse der Baustoffe und weiterer spezifischer Werte.

Für die Dosisraten der Gammastrahlung gilt, dass Gammadosisraten von mehr als 0,3  $\mu\text{Gy} / \text{h}$  als erhöht angesehen werden

Berechnungsverfahren:

Ein wichtiger Parameter, der direkten Einfluss auf den Umfang der erforderlichen Maßnahmen hat, ist die Emissionsrate von Radon  $E_j$  an der Oberfläche von Gebäudekonstruktionen oder eines bestimmten Baustoffs. Sie kann entweder durch direkte in situ Messung oder durch Berechnung anhand einer Laboranalyse von Proben zur Bestimmung der Ra-226 - Massenaktivität und des Emanationskoeffizienten  $f$  bestimmt werden. Für die Berechnung gilt die folgende Beziehung:

$$E_j = a_{\text{Ra}} \cdot \rho \cdot f \cdot \lambda \cdot d_m \quad [\text{Bq}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})] \quad (5)$$

- mit:
- $a_{\text{Ra}}$  Massenaktivität von Ra-226 im Baumaterial [Bq/kg],
  - $\lambda$  Radonzerfallskonstante [ $0,00756 \text{ h}^{-1}$ ],
  - $f$  Emissionskoeffizient [-]
  - $d_m$  Anteil des Baumaterials, aus dem Radon eindringt [m] mit  
 $d_m = t$  für Oberflächen (Putze, Fliesen, Pflaster usw.),  
 $d_m = t/2$  für Innenwände und  
für Außenwände wird  $d_m$  zwischen  $t/2$  und  $t$  angenommen
  - $t$  Gesamtdicke der Oberfläche oder der Wand [m]
  - $\rho$  Dichte des Baumaterials [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ].

Bei unterschiedlichen Oberflächenmaterialien in den Wand- und Deckenkonstruktionen des Raumes wird die Gesamtemission aus der Summe der Einzelwerte bestimmt.

Für Ziegelmauerwerk kann die Emission nach der folgenden Beziehung bestimmt werden:

$$E_j = E_c \cdot \varepsilon_c + E_m \cdot \varepsilon_m \quad [\text{Bq}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})] \quad (6)$$

- mit:
- $E_c / E_m$ : Radonoberflächenemissionsraten von Ziegeln / Mörtel [ $\text{Bq} / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ]
  - $\varepsilon_c / \varepsilon_m$ : Anteile von Steinen und Mörtel im Bauvolumen [-].

Genauere Berechnungen der Radonemissionsrate von der Oberfläche mehrschichtiger und heterogener Strukturen (Konstruktionen mit Hohlräumen, Fugen, Rissen usw.) können durch Lösen der Differentialgleichung des Radontransports im stationären Zustand unter Einsatz einer Finite-Methode Berechnung in einer 2D-Umgebung durchgeführt werden.

Eine weitere Berechnung ist für die Ermittlung der Geschwindigkeit der Oberflächenemission von Radon aus der Oberfläche der begrenzenden Flächen eines Raumes aufgenommen.

Das Berechnungsverfahren wird in der Arbeitsmappe durch Beispielrechnungen erläutert.

In einem weiteren Abschnitt wird anhand von Simulationsberechnungen die Frage diskutiert, welchen Einfluss die Schichtenfolge einer Konstruktion sowie mögliche Risse auf die Exhalation aus den Baustoffen haben. Für die Untersuchung von insgesamt 7 exemplarischen Varianten wurde hierbei eine 300 mm dicke Wand aus einem speziellen Aschebeton zugrunde gelegt. Als Rissbreite wurde einheitlich 1 mm angenommen. Für die Berechnungen wurde kein Druckunterschied zwischen den Wandseiten angenommen, d.h., dass kein konvektiver Radontransport vorliegt.

Die sieben Varianten sind:

- S1: Einschichtige, ungestörte Wand;
- S2: Einschichtige Wand mit dichter Beschichtung auf einer Wandseite (z.B. Tapete, Epoxidfarbe)
- S3: Wie S2, aber mit einem Riss in der dichten Beschichtung
- S4: Durchgehender Wandriss
- S5: Wie S2, aber Riss in der Wand und anschließend in der dichten Beschichtung
- S6: Wand mit Wärmedämmverbundsystem (WDVS) auf der Außenseite der Wand
- S7: Wie S6, aber Riss durch die Wand; WDVS ohne Riss.

Die Ergebnisse der Berechnungen sollen hier nicht detailliert für die einzelnen Varianten beschrieben werden. Zusammenfassend ergeben sich die folgenden Erkenntnisse:

- Risse in der Konstruktion erhöhen die Geschwindigkeit Radonemission auf der Oberfläche. Ähnlich wirken sich die Fugen zwischen Mauersteinen aus.
- Eine Reduzierung der Radonemission an der Oberfläche von Strukturen durch dichte Oberflächenbehandlungen ist in der Praxis nicht sehr effektiv. Solche Beschichtungen sind völlig wirkungslos, wenn starre Farben auf Strukturen aufgetragen werden, in denen sich aktive Risse oder Fugen befinden (z. B. Plattenfugen).
- Wärmedämmverbundsysteme (WDVS), die auf Konstruktionen ohne Risse aufgebracht werden, haben keinen Einfluss auf die Oberflächenemission von Radon von der inneren Oberfläche der Konstruktion. Wenn sich durchgehende Risse in der Konstruktion hinter dem WDVS befinden, kann das die Emission nur bis zu etwa 20% erhöhen. In Anbetracht typischer Risszenarien dürfte sich dadurch die Radonkonzentration in Innenräumen um maximal 5% bis 10% erhöhen.

Da die Frage der Exhalation aus Baustoffen vor allen Dingen in älteren Gebäuden relevant ist, wird in der Broschüre ausführlich auf die möglichen Veränderungen im Zusammenhang von energetischen Sanierungen eingegangen. Berechnungen zeigen, dass Luftwechsel unter 0,3

$h^{-1}$ , die in energetisch sanierten Gebäuden durchaus auftreten können, zu einer erheblichen Steigerung der Radonkonzentration in der Raumluft führen.

Als Maßnahmen gegen erhöhte Exhalationsrate werden in der Arbeitsmappe die folgenden Lösungen vorgestellt und zum Teil unter Einbezug von Beispielrechnungen erläutert:

1. Entfernung von Materialien mit einer hohen Massenaktivität von  $^{226}\text{Ra}$  oder einer hohen Radonemissionsrate.  
Diese Variante eignet sich für gut abnehmbare Schichten (z.B. Putze)
2. Reduzierung der Radonemissionen durch luftdichte innere Schichten  
Wie in der zuvor vorgestellten Simulation herausgearbeitet, ist diese Variante mit erheblichen Risiken verbunden. Es muss sichergestellt sein, dass die Schichten rissüberbrückend sind. Sie müssen durch Schutzschichten gegen Beschädigung geschützt werden
3. Vorblendung einer hinterlüfteten Vorsatzschale  
Eine innen angebrachte Vorsatzschale muss gegenüber dem Raum luftdicht abgeschlossen sein. Der i.A. wenige cm dicke Luftraum zwischen Bestandswand und Vorsatzschale muss so belüftet werden, dass keine Erhöhung der Radonkonzentration im Raum entsteht.
4. Erhöhen der Luftwechselrate  
Bei bestehenden Luftwechselraten kleiner  $0,3 h^{-1}$  kann durch Erhöhen der Luftwechselrate eine deutliche Reduzierung der Radonkonzentration im Raum erreicht werden. Bei vorhandenen höheren Luftwechselraten ist der Effekt deutlich geringer bei anhaltender Verschlechterung der Energiebilanz des Gebäudes.
5. Innenluftfilterung  
In den 90-er Jahren wurden tragbare Innenraumluftfilter zur Reduzierung der Radontöchter in der Raumluft eingesetzt. Diese Methode hat sich nicht bewährt und wird deshalb gegenwärtig nicht empfohlen.

### 3.3.4.10 Arbeitsmappe V: Lüftungssysteme in Wohngebäuden

Zu Beginn werden die verschiedenen Lüftungslösungen und -systeme vorgestellt.

- 1 Natürliche Lüftung durch Infiltration über Undichtigkeiten (Fenster, Türen)
- 2 Natürliche Lüftung durch Lüftungsschlitze in den Fensterrahmen
- 3 Abluftsystem, Luftansaugung über Lüftungsschlitze in den Fensterrahmen
- 4 Dezentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
- 5 Zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

Im Anschluss werden die Elemente der Lüftungssysteme mit „Lüftungsschlitze für Außenluftzufuhr“, „Überströmöffnungen“ und „Auslassventile“ beschrieben.

Im Abschnitt „Anforderungen an die Lüftung“ wird die Bestimmung der erforderlichen Luftwechselraten nach der Norm „ČSN 73 0540: 2011 Wärmeschutz von Gebäuden - Teil 2: Anforderungen“ erläutert. Der Ermittlung werden Mindestfrischluftmengen je Person von  $15 \text{ m}^3/\text{h}$  (geringe körperliche Arbeit) bzw.  $25 \text{ m}^3/\text{h}$  (schwere körperliche Arbeit) zugrunde gelegt.

Beispielhaft werden aus dieser Forderung für typische Wohnräume Luftwechselraten von 0,2 bis 0,4 h<sup>-1</sup> (eine Person) bzw. 0,5 bis 0,7 h<sup>-1</sup> für zwei Personen ermittelt. Für Neubauten mit dichten Fenstern und Außendämmung liegen die natürlichen Luftwechselraten bei oder unter 0,1 h<sup>-1</sup> und damit deutlich unter den Werten, die für den Radonschutz erforderlich sind. In Bestandsgebäuden mit alten Fenstern liegen die natürlichen Luftwechselraten dagegen zwischen 0,2 und 0,45 h<sup>-1</sup>. Abschließend wird in diesem Abschnitt eine Beispielrechnung für die Abhängigkeit zwischen Luftwechselrate und Radonkonzentration durchgeführt, in der zum Erreichen bzw. Unterschreiten von 200 Bq/m<sup>3</sup> in der Raumluft eine Luftwechsel 0,3 h<sup>-1</sup> erforderlich wird. Dieses Ergebnis wird als „ein sehr häufiger Fall“ klassifiziert.

Im Abschnitt „Lüftungskonzept zur Reduzierung der Radonkonzentration“ wird die Bestimmung des Volumenstroms der Außenluft sowie des Wärmeverlustes durch erhöhte Belüftung vorgestellt und werden Konstruktionsprinzipien für Lüftungsanlagen beschrieben.

Die Bestimmung des Außenluftvolumenstromes erfolgt nach der folgenden Beziehung

$$n_{ei} = (c_{mi} * n_{mi}) / c_{poz} \quad [h^{-1}] \quad (7)$$

- mit:  $c_{mi}$ : Radonkonzentration im i-ten Raum [Bq/m<sup>3</sup>]  
 $n_{mi}$ : Luftwechselrate zum Zeitpunkt der Messung [h<sup>-1</sup>]  
 $c_{poz}$ : Sollwert der Radonkonzentration im i-ten Raum [Bq/m<sup>3</sup>]

Um die Luftwechselrate von  $n_{mi}$  auf  $n_{ei}$  zu steigern, muss die Außenluftzufuhr erhöht werden. Diese Erhöhung wird nach der folgenden Beziehung berechnet:

$$Q_{ei} = (n_{ei} - n_{mi}) V_i \quad [m^3/h] \quad (8)$$

- mit:  $V_i$ : Raumvolumen [m<sup>3</sup>]

Die Wärmeverluste infolge Erhöhung der Luftwechselrate können nach der folgenden Beziehung ermittelt werden:

$$Q_{VET} = 2,778 * 10^{-7} * Q_e * \rho_{av} * c_d \Sigma 24 * d_m (\theta_i - \theta_{me}) \quad [kWh] \quad (9)$$

- mit:  $Q_{VET}$ : jährlicher Wärmeverlust durch Belüftung [kWh]  
 $2,778 * 10^{-7}$ : Umrechnungsfaktor von Joule in kWh  
 $\rho_a$ : Luftdichte (1,230 kg/m<sup>3</sup>)  
 $c$ : spezifische Wärmespeicherefähigkeit von Luft (1005 J / kg \* K)  
 $d_m$ : Anzahl der Tage im betrachteten (Heiz-)Monat  
 $m$ : Heizmonate  
 $\theta_i$ : Innentemperatur (20 °C)  
 $\theta_{me}$ : durchschnittliche Außentemperatur im Monat [°C]

Werden Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung eingesetzt, verringern sich die Wärmeverluste. Das hier beschriebene Berechnungsverfahren wird in der Broschüre durch Beispielrechnungen erläutert.

Im Abschnitt „Effizienz und Anwendbarkeit von Lüftungssystemen“ wird die Berechnung des Wirkungsgrades der Verringerung der Radonkonzentration in der Raumluft vorgestellt.

Für die einfachste Variante der natürlichen Belüftung über Belüftungsschlitze wurden in zwei Versuchsobjekten Reduzierungen der Radonkonzentration um ca. 60% gemessen. Diese hohe Reduzierung wurde nach Bewertung der Versuchsobjekte auf Grund von sehr günstigen Randbedingungen erreicht, tatsächlich dürfte sie bei max. 50% liegen. Durch weitere Beispielrechnungen wird verdeutlicht, dass der Erfolg dieser Variante der Belüftung begrenzt ist und für große Räume zudem ungeeignet.

Für die Variante mit Abluftsystem und Luftansaugung über Lüftungsschlitze in den Fensterrahmen wurden in Versuchsobjekten Reduzierungen von bis zu 72% erreicht, wobei sich die Luftwechselrate von 0,1 auf 0,2 h<sup>-1</sup> erhöhte. Unter Berücksichtigung der konkreten Randbedingungen liegt die Reduzierung der Radonkonzentration typischer Weise zwischen 65 bis 85%.

Die Versuchsbeispiele mit Lokaler Lüftung mit Wärmerückgewinnung ergaben eine Wirksamkeit von 65 bis 75% bzw. eine Reduzierung der Radonkonzentration in der Raumluft auf 35 bis 25 %. Dabei ist der Wirkungsgrad wiederum sehr stark vom Ausgangsluftwechsel abhängig.

In einem abschließenden Abschnitt werden die langfristigen Betriebskosten betrachtet. Hierfür werden wiederum über Beispielrechnungen typische Kosten für die betrachteten Varianten ermittelt.

### **3.4 Zusammenfassende Bewertung**

Im Gegensatz zu den reinen Radonnormen (s. Kap. 2.2) sind die Inhalte der o.g. „**Handbücher**“ stark an der Praxis orientiert. So sind in fast allen Fällen zumindest Prinzipskizzen enthalten, nicht selten aber auch detaillierte Zeichnungen, aus denen die betreffenden baulichen Details hervorgehen. Die bildlichen Darstellungen stellen eine erhebliche Erleichterung des Verständnisses für den Leser dar. Dies gilt insbesondere, wenn es sich um komplexe Situationen handelt (z.B.: Einbau von Membranen, Folien o.ä. im Gesamtverbund des Bodenaufbaus).

Dem Praktiker liefern diese „Handbücher“ eine Übersicht möglicher Präventiv- und/oder Sanierungsmaßnahmen. Es wird beschrieben, welche Maßnahmen existieren bzw. möglich und welche Schritte bei der Umsetzung notwendig sind. Im Bereich der Bauwerksabdichtung betrifft dies beispielsweise die Art der Einbringung von Folien oder ähnlichen flächigen Abdichtungen im Boden- und Wandaufbau. Für Bodenluftabsaugungen unterhalb des Gebäudes werden konkrete Vorschläge zu Zahl und Anordnung von Absaugpunkten sowie zur Auslegung der hierzu passenden Absauganlage gemacht.

Die Radonprävention (bei Neubauten) folgt einer „allgemeingültigen“ prinzipiellen Herangehensweise. Diese beinhaltet in der Regel eine geeignete Abdichtung gegen das Erdreich oder die prophylaktische Verlegung einer Radondrainage. Im Gegensatz dazu erfordern Radonsanierungen stets eine Einzelfallentscheidung. Hierbei spielen eine Reihe von Faktoren eine Rolle (z.B.: Höhe der festgestellten Radonbelastung, Sanierungszielwert, Zustand der Bausubstanz), die nicht zu verallgemeinern sind. Letztendlich sind die Entscheidungen über Umfang und Art der Maßnahme(n) in Abstimmung zwischen Eigentümer, Architekten bzw. Planer und bauausführender Firma zu treffen.

Grundsätzlich gilt, dass einfache Maßnahmen prinzipiell durch den Bauherren oder Eigentümer selbst durchzuführen sind. Komplexere Maßnahmen bedürfen entsprechender Fachkenntnisse. Speziell für diese Fälle sollte im Vorfeld fachlicher Rat eingeholt werden, welche Maßnahme sinnvoll ist. Des Weiteren sollte die Maßnahme selbst bei ihrer baulichen Umsetzung fachlich begleitet werden.

Unabhängig, ob es sich um eine Präventions- oder Sanierungsmaßnahme handelt, wird anschließend stets die Durchführung einer **Kontrollmessung** in der Raumluft empfohlen, um den Erfolg der Maßnahme bewerten zu können.

Inhalte der **Fachliteratur** sind in der Regel nur für Experten interessant und sinnvoll nutzbar. Die Artikel beschäftigen sich zumeist mit konkreten Fallbeispielen, die detailliert und einzelfallbezogen beschrieben und bewertet werden. Allgemeingültige Aussagen lassen sich daraus zumeist nicht ableiten.

Von Interesse für den Praktiker können Veröffentlichungen sein, in denen Maßnahmen beschrieben werden, die in der Praxis NICHT zum Erfolg geführt haben. Im günstigsten Fall werden hierfür auch Erklärungen geliefert, die helfen können, Fehler zukünftig zu vermeiden.

**Detailbeschreibungen** (z.B.: Kurzanleitungen, Merkblätter) sind oftmals mehr oder weniger identische Auszüge aus den o.g. „Handbüchern“, haben aber jeweils nur eine spezifische Maßnahme zum Inhalt. Die Zielgruppe ist identisch. Konkret seien hier Merkblätter aus England (BRE) oder Tschechien (Fakultät für Bauingenieurwesen der Technischen Universität Prag) genannt (s. Kap. 3.3.4).

#### 4 Dauerhaftigkeit von Radonschutzmaßnahmen

Radonschutzmaßnahmen beim Bauen sind ein vergleichsweise neues Thema – insbesondere in Deutschland. Dies gilt sowohl für Prävention als auch Sanierung. Entsprechende Erfahrungen aus anderen Ländern reichen in der Regel auch nicht mehr als ca. 25 Jahre zurück.

Die nachfolgenden Aussagen beziehen sich vorrangig auf Radonsanierungsmaßnahmen. Je nach Situation lassen sich daraus aber „Anhaltswerte“ für präventive Maßnahmen ableiten.

Grundsätzlich ist zwischen zwei Aspekten zu unterscheiden.

Einerseits ist die **Effizienz** bzw. Wirksamkeit unterschiedlicher Maßnahmen zu untersuchen. Hier wird der Vorher-/Nachher-Zustand bewertet. In einem Gebäude wurde eine erhöhte Radonkonzentration festgestellt, woraufhin eine Radonsanierungsmaßnahme durchgeführt wurde. Anschließend gibt eine Kontrollmessung Auskunft darüber, in welchem Maße die gewünschte Reduzierung der Werte erreicht wurde. Auf diese Weise können unterschiedliche Maßnahmen miteinander verglichen werden.

Der andere Aspekt betrifft die **Langzeitwirkung** von Sanierungsmaßnahmen. Hier wird über einen längeren Zeitraum hinweg untersucht, inwieweit die Schutzwirkung einer durchgeführten Maßnahme Bestand hat. In einem Gebäude wurde eine Maßnahme durchgeführt, deren Erfolg durch eine Kontrollmessung bestätigt wurde. Anschließend werden in bestimmten Zeitabständen – im besten Fall über viele Jahre hinweg - im gleichen Haus erneute Kontrollmessungen durchgeführt, um die Langzeitwirkung der Maßnahme bewerten zu können.

Will man diese beiden Aspekte anhand veröffentlichter Literaturdaten beurteilen, müssen verschiedene Voraussetzungen erfüllt sein. Zunächst ist die Maßnahme genau zu benennen bzw. zu beschreiben, um sicherzustellen, dass vergleichbare Maßnahmen bewertet werden. Des Weiteren sollte eine ausreichend große Anzahl von Fällen pro Maßnahme vorliegen, um ggf. einen Trend erkennen zu können. Unabdingbar ist zudem die Kenntnis über die Vorgehensweise, wie Radonkonzentrationen ermittelt worden sind. Im besten Fall wurde hierbei ein standardisiertes Messverfahren eingesetzt. Eine Kontrollmessung unmittelbar nach Durchführung der Maßnahme liefert Aufschluss über deren Erfolg, was u.a. ein primäres Ziel des Nutzers/Bewohners ist. Für die belastbare Bewertung eines Zeitraumes, der der normalen Lebens- bzw. Nutzungsdauer eines Gebäudes (mehrere Jahrzehnte) entspricht, reicht dies nicht aus. Hierfür müssen die Ergebnisse von Wiederholungsmessungen im selben Objekt vorliegen, beispielsweise durchgeführt im Abstand jeweils einigen Jahre nach Abschluss der Radonschutzmaßnahme.

Der erste Aspekt – Effizienz unterschiedlicher Maßnahmen – wird nachfolgend anhand von Beispielen aus England behandelt, der zweite Aspekt – langjährige Schutzwirkung in konkreten Gebäuden – anhand einer schwedischen Studie.

Unabhängig davon finden sich in der Literatur verschiedentlich Beschreibungen von Einzelfalluntersuchungen. Hier wurde die Radonkonzentration nach Durchführung einer Radonschutzmaßnahme im selben Haus einmalig im Abstand mehrerer Jahre oder über einen Zeitraum von mehreren Jahren hinweg in regelmäßigen Abständen gemessen. Verallgemeinernde Aussagen sind aus solchen Daten bzw. Informationen nur schwer abzuleiten.

#### 4.1 Effizienz von Radonschutzmaßnahmen

In einer Veröffentlichung der englischen Health Protection Agency (Hodgson et al.: An analysis of radon remediation methods. – HPA-CRCE-019, 2011) werden die Erfahrungen aus England beschrieben.

Inhalt des Berichtes sind die Ergebnisse von ca. 2 700 Sanierungsmaßnahmen in ca. 2 400 Häusern in England, die im Zeitraum zwischen 2000 und 2007 durchgeführt wurden. Verschiedene Maßnahmen wurde untereinander verglichen sowie im Hinblick darauf, durch wen (z.B.: Fachfirma, Hauseigentümer) sie ausgeführt wurden. Des Weiteren wurde versucht, die Wirksamkeit in Abhängigkeit verschiedener baulicher Charakteristika (z.B.: Haustyp, Baualter, Unterkellerung) zu bewerten. Die Radonkonzentrationen wurden jeweils durch 3-Monatsmessungen vor und (innerhalb von 3 Jahren) nach der Sanierung ermittelt. Hierbei kamen Kernspurexposimeter zum Einsatz, die jeweils im Wohn- und Schlafzimmer aufgestellt worden waren. Um die Werte aus Häusern mit unterschiedlichen Gebäudeeigenschaften miteinander vergleichen zu können, wurde ein multiples Regressionsverfahren eingesetzt.

Als „Bezugsgröße“ für den Erfolg einer Maßnahme wurde der in England verwendete *action level* von 200 Bq/m<sup>3</sup> herangezogen.

Die Radonkonzentrationen vor der Sanierung überdeckten eine weite Spanne und überschritten in den meisten Fällen den genannten *action level*. In ca. 10 % der Fälle lagen sie über 1 000 Bq/m<sup>3</sup>.

In ca. 90 % der Häuser wurde nur eine einzige Sanierungsmethode angewandt.

Im ersten Schritt wurden die Maßnahmen kategorisiert (s. folgende Zusammenstellung). Es wurden 9 Gruppen gebildet:

- *active sump*
- *passive sumps, pipe inside*
- *passive sumps, pipe outside*
- *positive ventilation*
- *natural under-floor ventilation*
- *active under-floor ventilation*
- *passive ventilation*
- *Sealing floors*

- *Sealing loft hatch*

In der Untersuchung wurden zwei Kenngrößen definiert und bewertet.

- Prozent der (erfolgreichen) Reduzierung unter den o.g. *action level*: Die Angabe bezieht sich auf die Gesamtzahl der Sanierungen innerhalb der Gruppe. Konkret bedeutet also eine Effizienz von 75 %, dass drei von vier Sanierungen mit der Maßnahme x zu einer Unterschreitung des *action levels* geführt haben.

- Reduktionsfaktor (dimensionslose Zahl):

Quotient aus Radonkonzentration vor und nach der Sanierung. Je höher der Faktor, desto stärker konnte die Ausgangskonzentration abgesenkt werden. Der Faktor sagt nichts über die Absolutkonzentration (beispielsweise nach der Sanierung) aus. Eine Reduzierung von 600 Bq/m<sup>3</sup> vor der Sanierung auf 100 Bq/m<sup>3</sup> nach der Sanierung ergibt einen Reduktionsfaktor von 6.

In einer Abbildung der Veröffentlichung ist die Gesamtverteilung der Radonmesswerte vor und nach den Sanierungen für alle Lösungen zusammengefasst dargestellt. Die Werte dieser Abbildung ergeben folgende Situation (Werte anhand der dargestellten Balkendiagramme abgeschätzt):

- bis 200 Bq/m<sup>3</sup>:
  - Vor der Sanierung ca. **8 %** der Objekte;
  - nach der Sanierung ca. **56 %** der Objekte
- 200 bis 400 Bq/m<sup>3</sup>:
  - Vor der Sanierung ca. **56 %** der Objekte;
  - nach der Sanierung ca. **28 %** der Objekte
- 400 bis 1.000 Bq/m<sup>3</sup>:
  - Vor der Sanierung ca. **28 %** der Objekte;
  - nach der Sanierung ca. **14 %** der Objekte
- über 1.000 Bq/m<sup>3</sup>:
  - Vor der Sanierung ca. **8 %** der Objekte;
  - nach der Sanierung ca. **2 %** der Objekte

Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass die Sanierungsmaßnahmen eine deutliche Verbesserung brachten, aber trotzdem eine Reihe von Objekten auch nach der Sanierung Werte über 200 Bq/m<sup>3</sup> aufwiesen.

Eine detaillierte, auf die einzelnen Sanierungsmaßnahmen herunter gebrochene Zusammenfassung ist in Tabelle 3 der Veröffentlichung enthalten, deren wesentlichste Ergebnisse im Folgenden wiedergegeben werden:

### ***active sump***

- 771 Beispiele (29% aller erfassten Sanierungsmaßnahmen)
- Geometrisches Mittel vor der Sanierung: 523 Bq/m<sup>3</sup>
- Geometrisches Mittel nach der Sanierung: 88 Bq/m<sup>3</sup>
- Reduktionsfaktor: 6,0
- Prozentualer Erfolg (unter 200 Bq/m<sup>3</sup> nach Sanierung): 74%

### ***passive sumps, pipe inside***

- 77 Beispiele (3% aller erfassten Sanierungsmaßnahmen)
- Geometrisches Mittel vor der Sanierung: 360 Bq/m<sup>3</sup>
- Geometrisches Mittel nach der Sanierung: 189 Bq/m<sup>3</sup>
- Reduktionsfaktor: 1,9
- Prozentualer Erfolg (unter 200 Bq/m<sup>3</sup> nach Sanierung): 42%

### ***passive sumps, pipe outside***

- 131 Beispiele (5% aller erfassten Sanierungsmaßnahmen)
- Geometrisches Mittel vor der Sanierung: 348 Bq/m<sup>3</sup>
- Geometrisches Mittel nach der Sanierung: 193 Bq/m<sup>3</sup>
- Reduktionsfaktor: 1,8
- Prozentualer Erfolg (unter 200 Bq/m<sup>3</sup> nach Sanierung): 47%

### ***positive ventilation***

- 495 Beispiele (18% aller erfassten Sanierungsmaßnahmen)
- Geometrisches Mittel vor der Sanierung: 371 Bq/m<sup>3</sup>
- Geometrisches Mittel nach der Sanierung: 176 Bq/m<sup>3</sup>
- Reduktionsfaktor: 2,1
- Prozentualer Erfolg (unter 200 Bq/m<sup>3</sup> nach Sanierung): 56%

### ***natural under-floor ventilation***

- 636 Beispiele (24% aller erfassten Sanierungsmaßnahmen)
- Geometrisches Mittel vor der Sanierung: 317 Bq/m<sup>3</sup>
- Geometrisches Mittel nach der Sanierung: 189 Bq/m<sup>3</sup>

- Reduktionsfaktor: 1,7
- Prozentualer Erfolg (unter 200 Bq/m<sup>3</sup> nach Sanierung): 50%

#### ***active under-floor ventilation***

- 128 Beispiele (5% aller erfassten Sanierungsmaßnahmen)
- Geometrisches Mittel vor der Sanierung: 494 Bq/m<sup>3</sup>
- Geometrisches Mittel nach der Sanierung: 225 Bq/m<sup>3</sup>
- Reduktionsfaktor: 2,2
- Prozentualer Erfolg (unter 200 Bq/m<sup>3</sup> nach Sanierung): 44%

#### ***passive ventilation***

- 259 Beispiele (10% aller erfassten Sanierungsmaßnahmen)
- Geometrisches Mittel vor der Sanierung: 291 Bq/m<sup>3</sup>
- Geometrisches Mittel nach der Sanierung: 226 Bq/m<sup>3</sup>
- Reduktionsfaktor: 1,3
- Prozentualer Erfolg (unter 200 Bq/m<sup>3</sup> nach Sanierung): 44%

#### ***Sealing floors***

- 185 Beispiele (7% aller erfassten Sanierungsmaßnahmen)
- Geometrisches Mittel vor der Sanierung: 338 Bq/m<sup>3</sup>
- Geometrisches Mittel nach der Sanierung: 260 Bq/m<sup>3</sup>
- Reduktionsfaktor: 1,3
- Prozentualer Erfolg (unter 200 Bq/m<sup>3</sup> nach Sanierung): 35%

#### ***Sailing loft hatch***

- 17 Beispiele (<1% aller erfassten Sanierungsmaßnahmen)
- Geometrisches Mittel vor der Sanierung: 260 Bq/m<sup>3</sup>
- Geometrisches Mittel nach der Sanierung: 219 Bq/m<sup>3</sup>
- Reduktionsfaktor: 1,2
- Prozentualer Erfolg (unter 200 Bq/m<sup>3</sup> nach Sanierung): 35%

## Gesamt

- 2700 Beispiele (100% aller erfassten Sanierungsmaßnahmen)
- Geometrisches Mittel vor der Sanierung: 386 Bq/m<sup>3</sup>
- Geometrisches Mittel nach der Sanierung: 157 Bq/m<sup>3</sup>
- Reduktionsfaktor: 2,5
- Prozentualer Erfolg (unter 200 Bq/m<sup>3</sup> nach Sanierung): 56%

Demnach sind die Maßnahmen *active sump*, *positive ventilation* und *natural underfloor ventilation* nicht nur die am häufigsten eingesetzten Verfahren, sondern auch diejenigen mit den höchsten prozentualen Reduzierungsquoten (74, 56 bzw. 50 %). Der Reduktionsfaktor ist bei der Maßnahme *active sump* mit Abstand am höchsten (Faktor 6). Alle anderen anderen Maßnahmen erreichen hier Werte zwischen 1,2 und 2,6.

Zusammenfassend liefert die Untersuchung folgende Ergebnisse:

1. Die effektivste Methode ist der *active sump* mit einem Reduktionsfaktor von 6 und einer ca. 75 %-igen Erfolgsquote.
2. Maßnahmen der Gruppen *positive ventilation*, *active under-floor ventilation*, *passive sumps* und *natural under-floor ventilation* liefern Reduktionsfaktoren um 2, d.h. (nur) jede 2. Sanierung führte zu der gewünschten Reduzierung unter den *action level*.
3. Die Maßnahmen mit der geringsten Wirksamkeit sind *passive ventilation* und *sealing floors* mit Faktoren um ca. 1,5.
4. In ca. 70 % der Fälle wurde eine Reduzierung der Ausgangswerte um mindestens ca. 25 % erreicht. In ca. 20 % der Fälle lag die Reduzierung unter 25 % und in ca. 10 % der Fälle zeigte sich nach der Sanierung (!) ein Anstieg der Ausgangswerte um mehr als 25 %.

Der Datensatz wurde zusätzlich daraufhin ausgewertet, ob in einem Gebäude nur eine oder mehrere Sanierungsmaßnahmen zur Anwendung kamen und wie im letzteren Fall das Endresultat aussah. Eine Kombination aus verschiedenen Maßnahmen kam in aller Regel dann zum Einsatz, wenn eine erste – und zumeist einfache und kostengünstige – Methode nicht zu dem gewünschten Erfolg geführt hatte. Unabhängig davon, welche Maßnahmen miteinander kombiniert wurden, ließen sich generell keine signifikanten Verbesserungen der Effizienz oder der Reduktionsfaktoren beobachten.

In einigen wenigen 100 Fällen wurden mehrere, aufeinander folgende Versuche der Radonsanierung durchgeführt. Die Auswertung dieser Daten ist nicht trivial. Einerseits wurden nicht in jedem Gebäude, das nach der Erstsanierung Werte oberhalb des *action levels* aufwies, weitere Maßnahmen ergriffen. Andererseits ist zu berücksichtigen, dass beispielsweise die

Erhöhung des Luftvolumenstroms in einem Lüfter als neuer „Sanierungsversuch“ angesehen wurde, obwohl natürlich keine grundlegend andere Maßnahme umgesetzt wurde.

Die Auswertungen zeigten, dass mit jedem zusätzlichen Sanierungsversuch in ca. einem Drittel der betroffenen Häuser eine Reduzierung der Radonwerte unter den *action level* erreicht werden konnte. Hierbei ist zu beachten, dass mehrere Sanierungsversuche häufig in Häusern durchgeführt wurden, die hohe Ausgangskonzentrationen aufwiesen.

In ca. 60 % der sanierten Gebäude lagen die Radonkonzentrationen nach der Sanierung unter dem *action level*. Hierzu reichte zumeist ein Versuch aus. Von den ca. 40 % der Gebäude, in denen diese Unterschreitung nicht erreicht wurde, wurden in der überwiegenden Zahl, nämlich 36,4 %, keine weiteren Sanierungen durchgeführt. In 3,0 % der Fälle wurde auch nach einer zweiten Sanierungsmaßnahme der Zielwert nicht erreicht, für 1,1 % der Fälle gilt das sogar für das Ergebnis nach drei oder vier Sanierungsversuchen.

In einem weiteren Schritt wurde der Erfolg der Sanierungsmaßnahmen in Abhängigkeit von der Höhe der Ausgangskonzentrationen (vor der Sanierung) untersucht. Die Ausgangskonzentrationen wurden hierzu in die Klassen < 300, 301 – 600, 601 – 1 000 und > 1 .000 Bq/m<sup>3</sup> unterteilt.

Es zeigten zwei Trends:

1. Je höher der Ausgangswert der Radonkonzentration ist, desto geringer ist der Prozentsatz einer (erfolgreichen) Sanierung unter den *action level*.
2. Gleichzeitig steigt bei einer höheren Ausgangskonzentration der Reduktionsfaktor an. Dieser Anstieg ist bei der Maßnahme *active sump* am stärksten ausgebildet.

Innerhalb dieser allgemeinen Trends sind die einzelnen Bewertungsgruppen durchaus unterschiedlich zu betrachten, wie die folgenden Auswertungen zeigen. Dabei sind die aufgeführten Werte aus Diagrammen abgegriffen und bilden demnach einen ca.-Wert ab.

### **Absenkung der Radonkonzentration in Abhängigkeit von der Höhe des Ausgangswertes sowie der Maßnahmengruppe (Bestimmung des Reduktionsfaktors):**

#### **1. Active sump:**

Der Reduktionsfaktor beträgt in Abhängigkeit von den Ausgangswerten:

- Ausgangswert unter 300 Bq/m<sup>3</sup>: Reduktionsfaktor ca. 3,8
- Ausgangswert zwischen 300 und 600 Bq/m<sup>3</sup>: Reduktionsfaktor ca. 4,5
- Ausgangswert zwischen 600 und 1.000 Bq/m<sup>3</sup>: Reduktionsfaktor ca. 7,5
- Ausgangswert über 1.000 Bq/m<sup>3</sup>: Reduktionsfaktor ca. 13

2. *Positive ventilation:*

Der Reduktionsfaktor beträgt in Abhängigkeit von den Ausgangswerten:

- Ausgangswert unter 300 Bq/m<sup>3</sup>: Reduktionsfaktor ca. 1,8
- Ausgangswert zwischen 300 und 600 Bq/m<sup>3</sup>: Reduktionsfaktor ca. 2,2
- Ausgangswert zwischen 600 und 1.000 Bq/m<sup>3</sup>: Reduktionsfaktor ca. 2,8
- Ausgangswert über 1.000 Bq/m<sup>3</sup>: Reduktionsfaktor ca. 3,2

3. *Active unter-floor ventilation:*

Der Reduktionsfaktor beträgt in Abhängigkeit von den Ausgangswerten:

- Ausgangswert unter 300 Bq/m<sup>3</sup>: Reduktionsfaktor ca. 1,8
- Ausgangswert zwischen 300 und 600 Bq/m<sup>3</sup>: Reduktionsfaktor ca. 2,2
- Ausgangswert zwischen 600 und 1.000 Bq/m<sup>3</sup>: Reduktionsfaktor ca. 3,4
- Ausgangswert über 1.000 Bq/m<sup>3</sup>: Reduktionsfaktor ca. 3,2

4. *Passiv-sump:*

Der Reduktionsfaktor beträgt in Abhängigkeit von den Ausgangswerten:

- Ausgangswert unter 300 Bq/m<sup>3</sup>: Reduktionsfaktor ca. 1,8
- Ausgangswert zwischen 300 und 600 Bq/m<sup>3</sup>: Reduktionsfaktor ca. 2,2
- Ausgangswert zwischen 600 und 1.000 Bq/m<sup>3</sup>: Reduktionsfaktor ca. 4,3
- Ausgangswert über 1.000 Bq/m<sup>3</sup>: Reduktionsfaktor ca. 3,2

5. *Natural unter-floor ventilation*

Der Reduktionsfaktor beträgt in Abhängigkeit von den Ausgangswerten:

- Ausgangswert unter 300 Bq/m<sup>3</sup>: Reduktionsfaktor ca. 1,9
- Ausgangswert zwischen 300 und 600 Bq/m<sup>3</sup>: Reduktionsfaktor ca. 1,9
- Ausgangswert zwischen 600 und 1.000 Bq/m<sup>3</sup>: Reduktionsfaktor ca. 2,0
- Ausgangswert über 1.000 Bq/m<sup>3</sup>: Reduktionsfaktor ca. 3,7

**Prozentuale Reduzierung der Radonkonzentration nach Sanierungsmaßnahme unter den action level (AL) in Abhängigkeit von der Höhe des Ausgangswertes sowie der Maßnahmengruppe:**

1. *Active sump:*

Prozentualer Anteil, deren Ergebnis unterhalb des AL-Wertes (200 Bq/m<sup>3</sup>) liegt:

- Ausgangswert unter 300 Bq/m<sup>3</sup>: 84 %
- Ausgangswert zwischen 300 und 600 Bq/m<sup>3</sup>: 78%
- Ausgangswert zwischen 600 und 1.000 Bq/m<sup>3</sup>: 68 %
- Ausgangswert über 1.000 Bq/m<sup>3</sup>: 58 %

2. *Positive ventilation:*

Prozentualer Anteil, deren Ergebnis unterhalb des AL-Wertes (200 Bq/m<sup>3</sup>) liegt:

- Ausgangswert unter 300 Bq/m<sup>3</sup>: 70 %
- Ausgangswert zwischen 300 und 600 Bq/m<sup>3</sup>: 53%
- Ausgangswert zwischen 600 und 1.000 Bq/m<sup>3</sup>: 42 %
- Ausgangswert über 1.000 Bq/m<sup>3</sup>: 19 %

3. *Active unter-floor ventilation:*

Prozentualer Anteil, deren Ergebnis unterhalb des AL-Wertes (200 Bq/m<sup>3</sup>) liegt:

- Ausgangswert unter 300 Bq/m<sup>3</sup>: 62 %
- Ausgangswert zwischen 300 und 600 Bq/m<sup>3</sup>: 46%
- Ausgangswert zwischen 600 und 1.000 Bq/m<sup>3</sup>: 22 %
- Ausgangswert über 1.000 Bq/m<sup>3</sup>: 28 %

4. *Passiv-sump:*

Prozentualer Anteil, deren Ergebnis unterhalb des AL-Wertes (200 Bq/m<sup>3</sup>) liegt:

- Ausgangswert unter 300 Bq/m<sup>3</sup>: 59 %
- Ausgangswert zwischen 300 und 600 Bq/m<sup>3</sup>: 31%
- Ausgangswert zwischen 600 und 1.000 Bq/m<sup>3</sup>: 42 %
- Ausgangswert über 1.000 Bq/m<sup>3</sup>: 19 %

## 5. *Natural unter-floor ventilation*

Prozentualer Anteil, deren Ergebnis unterhalb des AL-Wertes (200 Bq/m<sup>3</sup>) liegt:

- Ausgangswert unter 300 Bq/m<sup>3</sup>: 62 %
- Ausgangswert zwischen 300 und 600 Bq/m<sup>3</sup>: 44%
- Ausgangswert zwischen 600 und 1.000 Bq/m<sup>3</sup>: 22 %
- Ausgangswert über 1.000 Bq/m<sup>3</sup>: 28 %

Auf die Auswertungen des Sanierungserfolges der verschiedenen Maßnahmen in Abhängigkeit von bestimmten Gebäudecharakteristika wird hier nicht weiter eingegangen. Einerseits beziehen sich die Zahlen auf die Bauweise in englischen Häusern vor 2007, die nicht unbedingt auf die heutige Bauweise in Deutschland zu übertragen ist. Andererseits gab es nur in wenigen Fällen signifikante Effekte.

Ebensowenig wird der Zusammenhang zwischen der Erfahrung des Ausführenden (Fachfirma, Firma des „allgemeinen“ Baugewerbes, Do-it-yourself des Gebäudenutzers/-eigentümers) beschrieben. Auch diese Punkte lassen sich nicht auf die heute in Deutschland anzutreffende Situation übertragen.

Die Ergebnisse der englischen Studie lassen wie folgt zusammenfassen:

1. Für den Erfolg einer Sanierung spielen drei Faktoren eine Rolle: Art der Maßnahme, Höhe der Radon(ausgangs)konzentration und Gebäudeeigenschaften. Die „effektivste“ Sanierungsmethode für ein konkretes Gebäude ergibt sich aus dem Zusammenspiel dieser Faktoren.
2. Die Erfolgsquote, d.h. das Erreichen des Sanierungsziels (Unterschreitung des *action levels*), sinkt mit ansteigender Radonausgangskonzentration – unabhängig von der Art der Maßnahme.
3. Der Reduktionsfaktor nimmt mit ansteigender Radonausgangskonzentration zu, z.T. maßnahmenabhängig.
4. Dies bedeutet, dass trotz geringer Erfolgsquote der Reduktionsfaktor dennoch hoch sein kann und eine Sanierung – auch bei Nicht-Erreichen des *action levels* – durchaus als effektiv angesehen werden kann, weil die Absolutgehalte deutlich abgesenkt wurden.
5. Aktive Maßnahmen sind wirksamer als das jeweils passive Pendant.
6. Als effektivste Methode hat sich der *active sump* erwiesen, der auch in vielen Fällen als Sanierungsmethode gewählt wurde. Sie zeigt eine ca. 75 %-ige Erfolgsquote und mit 6 den deutlich höchsten Reduktionsfaktor aller Maßnahmen.

7. Abdichtungsmaßnahmen zeigten den geringsten Erfolg, insbesondere auch bei hohen Ausgangskonzentrationen. Grund hierfür ist vermutlich die schwierige technische Umsetzung. Nichtsdestotrotz macht es Sinn, offensichtliche Eintrittswege (z.B.: deutlich sichtbare Risse in erdberührten Bauteilen, undichte Rohrdurchdringungen) gezielt abzudichten.
8. Kombinationen verschiedener Maßnahmen führen nur in wenigen Fällen zu einer signifikanten Erhöhung der Wirksamkeit.

## **4.2 Schwedische Studie „Langzeitwirkung verschiedener Radonsanierungsmethoden in Schweden“**

### **4.2.1 Einführung**

Der umfangreichste Untersuchungsbericht zur Wirksamkeit und Dauerhaftigkeit von Sanierungsmaßnahmen wurde 2002 in Schweden angefertigt. Erstellt und herausgegeben wurde diese knapp 200 Seiten umfassende Veröffentlichung von der „Swedish Radiation Protection Authority“ (Statens strålskyddinstitut) Der genaue Titel der Studie lautet: Bertil Clavensjö: „Radonatgärders beständighet (Long term performance of different radon remedial methods in Sweden)“ SSI rapport 2002:10, Juni 2002.

Abgesehen von einer kurzen Zusammenfassung in Englisch ist dieser Bericht in Schwedisch verfasst. Das Ziel des Projektes war die Untersuchung der Langzeitwirkungen von zwölf verschiedenen Sanierungsmaßnahmen oder Maßnahmenkombinationen. Das Projekt lief über zehn Jahre, in die Untersuchungen waren 105 Wohnungen eingebunden. Davon waren 91 Objekte Einfamilienhäuser die restlichen 14 Wohnungen befanden sich in Mehrfamilienhäusern. Messungen der Radonkonzentrationen erfolgten unmittelbar vor und nach der Durchführung der Sanierungsmaßnahmen sowie im Abstand von drei Jahren (1991, 1994, 1997, 2000). Die Messungen der Radonkonzentrationen wurden jeweils über drei Monate von Januar bis März mit Kernspurdetektoren durchgeführt.

Der Bericht ist wie folgt gegliedert:

1. Zusammenfassung der Ergebnisse
  2. Auswahl der Häuser
  3. Meßmethoden
  4. Beeinflussende Faktoren für die Radonwerte
  5. Ergebnisse
  6. Schlussfolgerungen und Vorschläge für weitere Forschungen
- Anlage 1: Ausführliche Beschreibung der Gebäude und der durchgeführten Messungen
- Anlage 2: Graphische Darstellung der Messergebnisse

Die folgende Vorstellung der Ergebnisse konzentriert sich vor allen Dingen auf die ausführlichen Erläuterungen in Anlage 1 und 2 der Schwedischen Studie.

### **4.2.2 Überblick über das Untersuchungsprogramm**

Die zwölf verschiedenen Maßnahmen oder Maßnahmekombinationen umfassten folgende Systeme:

- **Gruppe 1:** Einbau eines mechanischen Abluftsystems (zum Teil mit Wärmepumpe gekoppelt)
- **Gruppe 2:** Installation eines mechanischen Zu- und Abluftsystems

- **Gruppe 3:** Abdichtung der Fußbodenkonstruktion über einem unter dem Gebäude befindlichen Kriechkeller
- **Gruppe 4:** Abdichtung von Leckstellen / Radoneintrittspfaden an der Bodenplatte und an den erdberührten Außenwänden
- **Gruppe 5:** Installation eines Luftkissensystems unterhalb der Bodenplatte
- **Gruppe 6:** Kombination eines Abluftsystems mit der Abdichtung von Leckstellen / Radoneintrittspfaden an der Bodenplatte und an den erdberührten Außenwänden
- **Gruppe 7:** Kombination eines Zu- und Abluftsystems mit Wärmerückgewinnung und der Absaugung der Luft unter dem Gebäude
- **Gruppe 8:** Kombination eines Abluftsystems mit gleichzeitiger Absaugung von Bodenluft unter dem Gebäude
- **Gruppe 9:** Punktuelle Absaugung der Bodenluft unter dem Gebäude
- **Gruppe 10:** Einbau eines Radonbrunnens
- **Gruppe 11:** Verbesserung der natürlichen Belüftung der Räume
- **Gruppe 12:** Kombination aus einer Veränderung des natürlichen Belüftungssystems in ein Abluftsystem und der Abdichtung der Bodenkonstruktion.

Alle untersuchten Gebäude sind mit einer Buchstaben-Nummern-Kennung versehen, in der die Gruppe und eine fortlaufende Zahl innerhalb der Gruppe sowie eine Buchstabenkennung für den Ort, an dem das Gebäude steht, enthalten sind. Die Ortskennung spielt für die Auswertung keine Rolle und wird deshalb zum Teil weggelassen.

Die Untersuchungsobjekte sind in mehrere Gebäudetypen unterteilt mit:

*Kleine, ebenerdige Häuser (Einfamilienhäuser) mit folgenden Typen:*

Typ 1: nichtunterkellertes eingeschossiges Haus, Wohnräume direkt auf Bodenplatte

Typ 2: eingeschossiges Haus mit Kriechkeller

Typ 3: unterkellertes eingeschossiges Haus

Typ 4: eingeschossiges Haus mit Kellergeschoss, Keller teilweise als Wohnung genutzt (hängiges Gelände)

*1,5-stöckige oder höhere Häuser*

Typ 11: nichtunterkellertes Haus, Wohnräume direkt auf Bodenplatte

Typ 12: Haus mit Kriechkeller

Typ 13: unterkellertes Haus

Typ 14: Haus mit Keller, Kellergeschoss teilweise als Wohnung genutzt (hängiges Gelände)

Ergänzt wird die Typisierung durch

Typ 15: Mehrfamilienhäuser mit Unterkellerung

Die Bauzeit der untersuchten Gebäude liegt zwischen 1891 und 1981, wobei der Schwerpunkt auf Gebäuden liegt, die nach 1945 errichtet worden sind.

### **4.2.3 Auswertung der schwedischen Untersuchungen**

#### **4.2.3.1 Vorgehensweise**

Die Auswertung folgt der Gruppeneinteilung der schwedischen Studie. Für jede Gruppe wird zu Beginn die Lösung kurz vorgestellt. Im Anschluss daran werden die Messergebnisse für eine Gruppe zusammengefasst dargestellt. Die Ergebnisse der einzelnen Gebäude sind zusätzlich in Blockdiagrammen des Berichtes (ohne Barrierefreiheit) detailliert wiedergegeben. Abschließend erfolgt eine Bewertung der Ergebnisse.

Abgeschlossen werden die Ausführungen zur schwedischen Studie mit einer Gesamtbewertung einschließlich der Formulierung von Schlussfolgerungen.

#### **4.2.3.2 Gruppe 1: Einbau eines mechanischen Abluftsystems (zum Teil mit Wärmepumpe gekoppelt)**

In dieser Gruppe sind insgesamt 12 Objekte untersucht worden. Während die ersten 6 Objekte (G 01.01 bis 06) in einer Mehrfamilienhaussiedlung liegen, sind die restlichen in Einfamilienhäusern ohne Kellergeschoss angeordnet. Da zwischen diesen beiden Gruppen hinsichtlich der Wirksamkeit der Sanierungen signifikante Unterschiede vorliegen, erfolgt eine getrennte Auswertung der beiden Gruppen.

#### **Auswertung der Objekte G 01.01 bis 06 (unterkellerte Mehrfamilienhaussiedlung)**

- Durchschnittswert vor der Sanierung: 272 Bq/m<sup>3</sup>
- Durchschnittswert direkt nach der Sanierung: 214 Bq/m<sup>3</sup>
- Durchschnittswert 1. Nachmessung (1991) 243 Bq/m<sup>3</sup>
- Durchschnittswert 2. Nachmessung (1994) 170 Bq/m<sup>3</sup>
- Durchschnittswert 3. Nachmessung (1997) 652 Bq/m<sup>3</sup>
- Durchschnittswert 4. Nachmessung (2000) 198 Bq/m<sup>3</sup>

### Auswertung der Objekte G 01.07 bis 12 (nichtunterkellerte Einfamilienhäuser)

• Durchschnittswert vor der Sanierung:	1.210 Bq/m <sup>2</sup>
• Durchschnittswert direkt nach der Sanierung:	226 Bq/m <sup>3</sup>
• Durchschnittswert 1. Nachmessung (1991)	430 Bq/m <sup>3</sup>
• Durchschnittswert 2. Nachmessung (1994)	450 Bq/m <sup>3</sup>
• Durchschnittswert 3. Nachmessung (1997)	340 Bq/m <sup>3</sup>
• Durchschnittswert 4. Nachmessung (2000)	333 Bq/m <sup>3</sup>

Für die 6 Wohnungen in der Mehrfamilienhaussiedlung (G01.01 bis 06) ergibt sich folgendes zusammenfassendes Bild:

- Reduzierung der Werte zwischen Ausgangssituation und der Messung direkt nach Fertigstellung der Radonschutzmaßnahme auf 69 %
- Reduzierung der Werte zwischen Ausgangssituation und dem Durchschnitt der Nachmessungen (1991 bis 2000) auf 116 % (d.h., es liegt keine Reduzierung vor!)
- Obwohl der Durchschnitt der Ausgangswerte unter 300 Bq/m<sup>3</sup> liegt, wurden nach der Sanierungsmaße bei 3 der 6 Objekte zum Teil deutlich über 300 Bq/m<sup>3</sup> liegende Werte gemessen.

Für die 6 Einfamilienhäuser (G-01-07 bis 12) sind die Ergebnisse wie folgt zu bewerten:

- Reduzierung der Werte zwischen Ausgangssituation und der Messung direkt nach Fertigstellung der Radonschutzmaßnahme auf 22 %
- Reduzierung der Werte zwischen Ausgangssituation und dem Durchschnitt der Nachmessungen (1991 bis 2000) auf 48 %
- In 5 von 6 Objekten liegt der langfristige Durchschnittswert nach der Sanierung über 300 Bq/m<sup>3</sup>.

Insgesamt kann diese Gruppe wie folgt bewertet werden:

1. Für die Gruppe der Mehrfamilienhäuser ist diese Maßnahme absolut ungeeignet, die Reduzierung unmittelbar nach Abschluss der Sanierung ist sehr gering, im langfristigen Vergleich liegen die durchschnittlichen Werte sogar über der Situation vor der Sanierung.
2. Der signifikante Anstieg der Messwerte im Jahr 1997 (Messgruppe Mehrfamilienhäuser) wird im Bericht mit einer technischen Panne im Lüftungssystem begründet.
3. Für die Gruppe der Einfamilienhäuser sieht das Ergebnis geringfügig besser aus, kann aber ebenfalls nicht befriedigen, da trotz einer ca. 50%-igen Reduzierung gegenüber der Situation vor der Sanierung die langfristigen Werte in den meisten Objekten nicht unter 300 Bq/m<sup>3</sup> fallen.

#### 4.2.3.3 Gruppe 2: Installation eines mechanischen Zu- und Abluftsystems

In dieser Gruppe sind insgesamt 17 Objekte untersucht worden. Für die Untersuchung sind diese Objekte in insgesamt drei Gruppen zusammengefasst:

- Nichtunterkellerte Gebäude; genutzte Räume grenzen an erdberührte Gebäudehülle
- Gebäude mit teilweiser Kellernutzung (Gebäude in Hanglage)
- Unterkellerte Gebäude

Die Messungen haben keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen ergeben, weswegen die Auswertung zusammengefasst vorgenommen wird.

#### Auswertung der Objekte Gruppe 2 (Gebäude mit mechanischem Zu und Abluftsystem)

- |  |                       |
|--|-----------------------|
| • Durchschnittswert vor der Sanierung:         | 870 Bq/m <sup>3</sup> |
| • Durchschnittswert direkt nach der Sanierung: | 120 Bq/m <sup>3</sup> |
| • Durchschnittswert 1. Nachmessung (1991)      | 202 Bq/m <sup>3</sup> |
| • Durchschnittswert 2. Nachmessung (1994)      | 217 Bq/m <sup>3</sup> |
| • Durchschnittswert 3. Nachmessung (1997)      | 205 Bq/m <sup>3</sup> |
| • Durchschnittswert 4. Nachmessung (2000)      | 196 Bq/m <sup>3</sup> |

Für die Gruppe 2 ergibt sich folgendes zusammenfassendes Bild:

- Reduzierung der Werte zwischen Ausgangssituation und der Messung direkt nach Fertigstellung der Radonschutzmaßnahme auf 14 %
- Reduzierung der Werte zwischen Ausgangssituation und dem Durchschnitt der Nachmessungen (1991 bis 2000) auf 24%
- Bis auf ein Objekt (U.02.11) liegen alle Messwerte direkt nach Abschluss der Maßnahme als auch bei den langfristigen Messungen unterhalb 300 Bq/m<sup>3</sup>.
- Tendenziell ist zwischen den Messungen direkt nach Abschluss der Maßnahme und der späteren Kontrollmessungen ein Anstieg der Messwerte zu beobachten. Aus der Studie sind die Gründe hierfür nicht erkennbar.

#### 4.2.3.4 Gruppe 3: Abdichtung der Fußbodenkonstruktion über einem unter dem Gebäude befindlichen Kriechkeller

In dieser Gruppe ist lediglich eine Maßnahme mit den folgenden Werten erfasst:

- |   |   |
|---|---|
| • Messwert vor der Sanierung:                   | 460 Bq/m <sup>3</sup>                   |
| • Messwert direkt nach Abschluss der Sanierung: | 200 Bq/m <sup>3</sup>                   |
| • Messwerte 1991 / 94 / 97 /2000:               | 240 / 270 / 230 / 230 Bq/m <sup>3</sup> |

Damit konnte eine Reduzierung von ca. 50% bei Vergleichbarkeit der Werte über die gesamte Beobachtungszeit erreicht werden. Weitere Schlussfolgerungen lassen sich für diese Sanierungsmaßnahme nicht formulieren.

#### **4.2.3.5 Gruppe 4: Abdichtung von Leckstellen / Radoneintrittspfaden an der Bodenplatte und an den erdberührten Außenwänden**

In dieser Gruppe sind insgesamt 6 Objekte untersucht worden. Bei 4 Objekten (04.01, 02, 05 und 06) handelt es sich um den Haustyp mit Teilnutzung im Kellergeschoss, 2 Objekte (04.03 und 04) sind vollunterkellerte Gebäude.

##### **Auswertung der Objekte Gruppe 4 (Abdichtung der Grundplatte gegenüber dem Erdreich)**

- |  |                       |
|--|-----------------------|
| • Durchschnittswert vor der Sanierung:         | 998 Bq/m <sup>2</sup> |
| • Durchschnittswert direkt nach der Sanierung: | 64 Bq/m <sup>3</sup>  |
| • Durchschnittswert 1. Nachmessung (1991)      | 155 Bq/m <sup>3</sup> |
| • Durchschnittswert 2. Nachmessung (1994)      | 155 Bq/m <sup>3</sup> |
| • Durchschnittswert 3. Nachmessung (1997)      | 182 Bq/m <sup>3</sup> |
| • Durchschnittswert 4. Nachmessung (2000)      | 127 Bq/m <sup>3</sup> |

##### **Auswertung der Objekte in Gruppe 4:**

- Reduzierung der Werte zwischen Ausgangssituation und der Messung direkt nach Fertigstellung der Radonschutzmaßnahme auf **6 %**
- Reduzierung der Werte zwischen Ausgangssituation und dem Durchschnitt der Nachmessungen (1991 bis 2000) auf **15 %**
- Bis auf ein Objekt (U.04.05) liegen alle Messwerte direkt nach Abschluss der Maßnahme als auch bei den langfristigen Messungen unterhalb 300 Bq/m<sup>3</sup>, die Überschreitung des Referenzwertes im Objekt 03.05 ist relativ gering.
- Tendenziell ist zwischen den Messungen direkt nach Abschluss der Maßnahme und der späteren Kontrollmessungen auch in dieser Gruppe ein Anstieg der Messwerte zu beobachten, allerdings fällt dieser relativ gering aus.

Die sehr guten Ergebnisse dieser Gruppe waren nicht unbedingt so zu erwarten, da gemeinhin die Meinung vorherrscht, dass eine alleinige Schließung von offensichtlich erkennbaren Fehlstellen und Eintrittspfaden nicht ausreichend ist. Aus den Ausführungen des Berichtes ist allerdings nicht erkennbar, ob hier darüberhinausgehende flächige Abdichtungen eingebaut worden sind.

#### 4.2.3.6 Gruppe 5: Installation eines Luftkissensystems unterhalb der Bodenplatte

Bei dieser Lösung wird über eine Bohrung in der Bodenplatte angesaugte Außenluft in das Erdreich direkt unterhalb der Bodenplatte eingeblasen. Damit entsteht unterhalb der Bodenplatte ein Überdruck im Erdreich bei gleichzeitiger Verdünnung der dortigen Radonkonzentration. Bei genügender Permeabilität des Bodens kann die eingeblasene Luft einen Luftstrom hin zur Außenluft induzieren. Diese Lösung hat sich in Deutschland bisher nicht etablieren können.

In dieser Gruppe sind drei Beispiele zusammengefasst.

#### Auswertung der Objekte Gruppe 5 (Luftkissensystem unterhalb der Bodenplatte)

- |  |                         |
|--|-------------------------|
| • Durchschnittswert vor der Sanierung:         | 2.173 Bq/m <sup>3</sup> |
| • Durchschnittswert direkt nach der Sanierung: | 143 Bq/m <sup>3</sup>   |
| • Durchschnittswert 1. Nachmessung (1991)      | 347 Bq/m <sup>3</sup>   |
| • Durchschnittswert 2. Nachmessung (1994)      | 190 Bq/m <sup>3</sup>   |
| • Durchschnittswert 3. Nachmessung (1997)      | 550 Bq/m <sup>3</sup>   |
| • Durchschnittswert 4. Nachmessung (2000)      | 155 Bq/m <sup>3</sup>   |

Auswertung der Objekte in Gruppe 5:

- Reduzierung der Werte zwischen Ausgangssituation und der Messung direkt nach Fertigstellung der Radonschutzmaßnahme auf 7 %
- Reduzierung der Werte zwischen Ausgangssituation und dem Durchschnitt der Nachmessungen (1991 bis 2000) auf 14 %
- Für ein Objekt (N.05.03) liegen die Messwerte deutlich über dem Referenzwert von 300 Bq/m<sup>3</sup>.
- Tendenziell ist zwischen den Messungen direkt nach Abschluss der Maßnahme und der späteren Kontrollmessungen auch in dieser Gruppe ein Anstieg der Messwerte zu beobachten.

Insgesamt wird eine deutliche Reduzierung der Radonkonzentration in der Raumluft erreicht. Allerdings ist die Gruppe mit lediglich drei Beispielen zu gering, um allgemeingültige Aussagen treffen zu können.

#### **4.2.3.7 Gruppe 6: Kombination eines Abluftsystems mit der Abdichtung von Leckstellen / Radoneintrittspfaden an der Bodenplatte und an den erdberührten Außenwänden**

In dieser Gruppe ist lediglich eine Maßnahme mit den folgenden Werten erfasst:

- Messwert vor der Sanierung: 866 Bq/m<sup>3</sup>
- Messwert direkt nach Abschluss der Sanierung: 332 Bq/m<sup>3</sup>
- Messwerte 1991 / 94 / 97 / 2000: 340 / 100 / 430 / 520 Bq/m<sup>3</sup>

Für dieses Beispiel konnte eine Reduzierung auf ca. 40% erreicht werden, allerdings mit einer großen Schwankungsbreite bei den Nachmessungen. Aus dem Bericht geht nicht hervor, wodurch diese Schwankungen entstanden sind.

Weitere Schlussfolgerungen lassen sich für diese Sanierungsmaßnahme nicht formulieren.

#### **4.2.3.8 Gruppe 7: Kombination eines Zu- und Abluftsystems mit Wärmerückgewinnung und der Absaugung der Luft unter dem Gebäude**

Bei dieser Gruppe handelt es sich um eine Kombination der Maßnahmen nach Gruppe 2 und 9. Die Gruppe besteht aus insgesamt 12 Objekten, die in solche mit Kellergeschoss und Teilunterkellerung sowie ohne Kellergeschoss unterteilt ist. Die Messungen haben keine signifikanten Unterschiede in Abhängigkeit der Haustypen ergeben, weswegen die Auswertung zusammengefasst vorgenommen wird.

#### **Auswertung der Objekte Gruppe 7 (Kombination zu- und Abluftsystem mit Absaugung der Luft unter dem Gebäude)**

- Durchschnittswert vor der Sanierung: 1.767 Bq/m<sup>3</sup>
- Durchschnittswert direkt nach der Sanierung: 368 Bq/m<sup>3</sup>
- Durchschnittswert 1. Nachmessung (1991) 277 Bq/m<sup>3</sup>
- Durchschnittswert 2. Nachmessung (1994) 264 Bq/m<sup>3</sup>
- Durchschnittswert 3. Nachmessung (1997) 190 Bq/m<sup>3</sup>
- Durchschnittswert 4. Nachmessung (2000) 208 Bq/m<sup>3</sup>

Auswertung der Objekte in Gruppe 7:

- Reduzierung der Werte zwischen Ausgangssituation und der Messung direkt nach Fertigstellung der Radonschutzmaßnahme auf 21 %
- Reduzierung der Werte zwischen Ausgangssituation und dem Durchschnitt der Nachmessungen (1991 bis 2000) auf 13 %

- Insgesamt 5 Objekte liegen, allerdings knapp, über dem Referenzwert von 300 Bq/m<sup>3</sup>, allerdings sind die Ausgangswerte (vor Durchführung der Sanierungsmaßnahmen) im Durchschnitt relativ hoch gewesen, sodass die Ergebnisse trotzdem positiv zu bewerten sind.
- Die Ergebnisse sind über die gesamte Zeit sehr stabil.

Insgesamt kann eingeschätzt werden, dass die Sanierungen dieser Gruppe ein positives, wenn auch nicht vollständig befriedigendes Ergebnis erbringen.

#### **4.2.3.9 Gruppe 8: Kombination eines Abluftsystems mit gleichzeitiger Absaugung von Bodenluft unter dem Gebäude**

In dieser Gruppe ist lediglich eine Maßnahme mit den folgenden Werten erfasst:

- Messwert vor der Sanierung: 1290 Bq/m<sup>3</sup>
- Messwert direkt nach Abschluss der Sanierung: 180 Bq/m<sup>3</sup>
- Messwerte 1991 / 94 / 97 / 2000: 240 / 150 / 180 / 130 Bq/m<sup>3</sup>

Für dieses Beispiel konnte eine Reduzierung auf ca. 14% erreicht werden.

Weitere Schlussfolgerungen lassen sich für diese Sanierungsmaßnahme nicht formulieren.

#### **4.2.3.10 Gruppe 9: Punktuelle Absaugung der Bodenluft unter dem Gebäude**

Bei dieser Lösung wird über eine oder mehrere Bohrungen in der Bodenplatte Luft aus der Bodenschicht unterhalb des Gebäudes abgesaugt und so – bei genügend durchlässigem Erdreich – ein Unterdruck unter dem Gebäude induziert. Damit wird der konvektive Luftstrom vom Erdreich ins Gebäude umgekehrt und ein Einströmen der Bodenluft ins Gebäude verhindert bzw. stark reduziert. Die Durchbohrungen durch die Bodenplatte müssen gegen das Erdreich gut abgedichtet sein, um Fehlströmungen zu vermeiden. Die Luftabsaugung erfolgt durch Einsatz eines oder mehrerer Lüfter.

Insgesamt besteht diese Gruppe aus 18 Objekten. Die untersuchten Wohnungen liegen in vollunterkellerten Mehrfamilienhäusern, teilunterkellerten sowie kellerlosen Einfamilienhäusern. Da es zwischen den einzelnen Gruppen keine signifikanten Unterschiede gibt, werden alle 18 Objekte für die Auswertung zusammengefasst.

#### **Auswertung der Objekte Gruppe 9 (Punktuelle Absaugung der Bodenluft unter dem Gebäude)**

- Durchschnittswert vor der Sanierung: 1.572 Bq/m<sup>3</sup>
- Durchschnittswert direkt nach der Sanierung: 165 Bq/m<sup>3</sup>

- |   |                       |
|---|-----------------------|
| • Durchschnittswert 1. Nachmessung (1991) | 281 Bq/m <sup>3</sup> |
| • Durchschnittswert 2. Nachmessung (1994) | 241 Bq/m <sup>3</sup> |
| • Durchschnittswert 3. Nachmessung (1997) | 227 Bq/m <sup>3</sup> |
| • Durchschnittswert 4. Nachmessung (2000) | 234 Bq/m <sup>3</sup> |

Auswertung der Objekte in Gruppe 9:

- Reduzierung der Werte zwischen Ausgangssituation und der Messung direkt nach Fertigstellung der Radonschutzmaßnahme auf 10 %
- Reduzierung der Werte zwischen Ausgangssituation und dem Durchschnitt der Nachmessungen (1991 bis 2000) auf 16 %
- Insgesamt 2 Objekte (09.17 und 09,19) liegen nach der Sanierung deutlich über dem Referenzwert von 300 Bq/m<sup>3</sup>, in einem der beiden Fälle (Objekt 09.17) haben sich die Werte gegenüber dem Ausgangswert fast verdoppelt! In beiden Fällen hat die Messung direkt nach Abschluss der Sanierung eine Verbesserung gegenüber dem Ausgangswert gezeigt, erst danach ist ein starker Anstieg der Messwerte eingetreten.
- Mit Ausnahme der beiden Beispiele, in denen die Ziele nicht erreicht worden sind (Objekt 09.17 und 19), sind die Ergebnisse über die gesamte Laufzeit des Projektes sehr stabil.

Insgesamt kann für die Gruppe der Bodenabsaugungen eine hohe Wirksamkeit bescheinigt werden. Die zwei „Ausreiser“ in dieser Gruppe verdeutlichen aber, dass die Funktionsfähigkeit durch geringe Durchlässigkeit des Bodens, Undichtheiten in der Absauganlage, aber auch durch Veränderungen im Laufe der Nutzungsdauer den Erfolg einschränken bzw. ganz verhindern kann. Die Untersuchungen bestätigen demnach, dass Kontrollmessungen unmittelbar nach Abschluss der Maßnahme als auch in regelmäßigen Abständen zwingend erforderlich sind.

#### **4.2.3.11 Gruppe 10: Einbau eines Radonbrunnens**

Bei dieser Gruppe sind Lösungen zusammengefasst, bei denen ein Radonbrunnen außerhalb der Gebäude angeordnet worden ist. Die Brunnenschächte sind dabei so konzipiert, dass deren Sohle unterhalb der Fundamentsohle endet. Da in dieser Gruppe nahezu ausschließlich Gebäude mit Unterkellerung zusammengefasst sind, müssen die Schächte relativ tief ins Erdreich eingebunden werden – im Bericht wird von 4 m Schachttiefe gesprochen. Für das Funktionieren der Variante ist eine gute Durchlässigkeit des Bodens erforderlich.

Insgesamt besteht diese Gruppe aus 16 Objekten, von denen 12 unterkellerte Ein- oder Mehrfamilienhäuser sind, die restlichen vier mit teilweiser Wohnnutzung im Keller. Da es

zwischen den einzelnen Gruppen keine signifikanten Unterschiede gibt, werden alle 18 Objekte für die Auswertung zusammengefasst.

#### **Auswertung der Objekte Gruppe 10 (Radonbrunnen außerhalb des Gebäudes)**

- |  |                         |
|--|-------------------------|
| • Durchschnittswert vor der Sanierung:         | 2.283 Bq/m <sup>3</sup> |
| • Durchschnittswert direkt nach der Sanierung: | 122 Bq/m <sup>3</sup>   |
| • Durchschnittswert 1. Nachmessung (1991)      | 349 Bq/m <sup>3</sup>   |
| • Durchschnittswert 2. Nachmessung (1994)      | 233 Bq/m <sup>3</sup>   |
| • Durchschnittswert 3. Nachmessung (1997)      | 186 Bq/m <sup>3</sup>   |
| • Durchschnittswert 4. Nachmessung (2000)      | 232 Bq/m <sup>3</sup>   |

Auswertung der Objekte in Gruppe 10:

- Reduzierung der Werte zwischen Ausgangssituation und der Messung direkt nach Fertigstellung der Radonschutzmaßnahme auf 5 %
- Reduzierung der Werte zwischen Ausgangssituation und dem Durchschnitt der Nachmessungen (1991 bis 2000) auf 11 %
- Insgesamt 2 Objekte liegen nach der Sanierung deutlich über dem Referenzwert von 300 Bq/m<sup>3</sup>, ein weiteres knapp über 300 Bq/m<sup>3</sup>. Insbesondere das Objekt 10.13 liegt mit einem über die Nutzungszeit ermittelten Durchschnittswert von 1205 Bq/m<sup>3</sup> deutlich zu hoch, trotz eines gegenüber dem Ausgangswert um 85 % reduzierten Wertes. Im Objekt 10.14 konnte die Radonkonzentration nur um ca. 50% reduziert werden. Werden diese beiden „Problemfälle“ aus der Bewertung herausgenommen, verbessert sich der Reduzierungswert für den langfristigen Mittelwert noch einmal von 11 auf 7%.
- Mit Ausnahme der beiden Beispiele, in denen die Ziele nicht erreicht worden sind (Objekt 10.13 und 14), sind die Ergebnisse über die gesamte Laufzeit des Projektes sehr stabil.

Insgesamt werden mit der Gruppe der Radonbrunnen die besten Ergebnisse aller untersuchten Beispiele mit einer Reduzierung deutlich über 90% erreicht. Die Beispiele zeigen aber auch, dass es auch Fehllösungen geben kann. Die Untersuchungen bestätigen demnach, dass Kontrollmessungen unmittelbar nach Abschluss der Maßnahme als auch in regelmäßigen Abständen zwingend erforderlich sind.

#### 4.2.3.12 Gruppe 11: Verbesserung der natürlichen Belüftung der Räume

In den Wohnungen der Gebäude dieser Gruppe wurde der natürliche Luftwechsel mit der Außenluft erhöht. Dieses wurde zum Beispiel durch Ausschneiden von Fensterdichtungen, Einbau von „Außenluftdiffusoren“ usw. erreicht. Die tatsächliche Veränderung der Luftwechselrate wurden im Rahmen des Projektes nicht erfasst.

In dieser Gruppe sind insgesamt 13 Objekte enthalten.

#### Auswertung der Objekte Gruppe 11 (Verbesserung der natürlichen Belüftung der Räume)

- |  |                       |
|--|-----------------------|
| • Durchschnittswert vor der Sanierung:         | 995 Bq/m <sup>2</sup> |
| • Durchschnittswert direkt nach der Sanierung: | 201 Bq/m <sup>3</sup> |
| • Durchschnittswert 1. Nachmessung (1991)      | 412 Bq/m <sup>3</sup> |
| • Durchschnittswert 2. Nachmessung (1994)      | 228 Bq/m <sup>3</sup> |
| • Durchschnittswert 3. Nachmessung (1997)      | 298 Bq/m <sup>3</sup> |
| • Durchschnittswert 4. Nachmessung (2000)      | 241 Bq/m <sup>3</sup> |

Auswertung der Objekte in Gruppe 11:

- Reduzierung der Werte zwischen Ausgangssituation und der Messung direkt nach Fertigstellung der Radonschutzmaßnahme auf 20 %
- Reduzierung der Werte zwischen Ausgangssituation und dem Durchschnitt der Nachmessungen (1991 bis 2000) auf 31 %
- In insgesamt 4 Objekten liegen die Langzeitwerte zwischen 458 und 813 Bq/m<sup>3</sup> und damit deutlich über dem Referenzwert von 300 Bq/m<sup>3</sup>.
- Die vergleichsweise geringe Wirkung dieser Maßnahme zeigt sich auch darin, dass der langfristige Durchschnittswert mit 310 Bq/m<sup>3</sup> über dem Referenzwert und die durchschnittliche Absenkung in keinem Beispiel unterhalb 12% liegt.
- Mit Ausnahme der beiden Objekte, in denen die Ziele nicht erreicht worden sind (10.13 und 14), sind die Ergebnisse über die gesamte Laufzeit des Projektes sehr stabil.

Die Ergebnisse in dieser Gruppe bestätigen die allgemein anerkannte Erkenntnis, dass ausschließlich mit der Verbesserung des Luftwechsels zwar Verbesserungen erreicht werden können, diese aber begrenzt sind. Deshalb wird diese Maßnahme im Allgemeinen als eine preiswerte und schnell zu realisierende ad hoc-Maßnahme, nicht aber als dauerhafte Lösung eingesetzt.

#### **4.2.3.13 Gruppe 12: Kombination aus einer Veränderung des natürlichen Belüftungssystems in ein Abluftsystem und der Abdichtung der Bodenkonstruktion.**

Die Beispiele dieser Gruppe sind im Grunde genommen eine Kombination der Maßnahmen der Gruppen 1 und 4.

Insgesamt besteht diese Gruppe aus 7 Objekten. Da bei zwei Objekten keine Ausgangsmesswerte vorliegen, konnten nur 5 Objekte in die Auswertung einbezogen werden.

#### **Auswertung der Objekte Gruppe 12 (Kombination von Einbau eines Abluftsystems und Abdichtung der Bodenkonstruktion)**

- |  |                       |
|--|-----------------------|
| • Durchschnittswert vor der Sanierung:         | 838 Bq/m <sup>2</sup> |
| • Durchschnittswert direkt nach der Sanierung: | 713 Bq/m <sup>3</sup> |
| • Durchschnittswert 1. Nachmessung (1991)      | 620 Bq/m <sup>3</sup> |
| • Durchschnittswert 2. Nachmessung (1994)      | 216 Bq/m <sup>3</sup> |
| • Durchschnittswert 3. Nachmessung (1997)      | 750 Bq/m <sup>3</sup> |
| • Durchschnittswert 4. Nachmessung (2000)      | 228 Bq/m <sup>3</sup> |

Auswertung der Objekte in Gruppe 12:

- Reduzierung der Werte zwischen Ausgangssituation und der Messung direkt nach Fertigstellung der Radonschutzmaßnahme auf **85 %**
- Reduzierung der Werte zwischen Ausgangssituation und dem Durchschnitt der Nachmessungen (1991 bis 2000) auf 54 %
- Bei 3 der 5 Objekte liegen die Langzeitwerte zum Teil deutlich über dem Referenzwert von 300 Bq/m<sup>3</sup>.
- Bei 2 der 5 Objekte liegen die Langzeitwerte über dem Ausgangswert vor Durchführung der Sanierungsmaßnahme.

Da in dieser Gruppe lediglich 5 Objekte zusammengefasst sind, ist eine verallgemeinerte Aussage problematisch. Trotzdem kann konstatiert werden, dass die hier angewendete Kombination von Maßnahmen zu keinen befriedigenden Ergebnissen führt. Die Einschätzung korrespondiert mit der Einschätzung der Maßnahmen in Gruppe 1.

#### 4.2.4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

In diesem Abschnitt werden die folgenden Fragen erörtert:

1. Einschätzung der verschiedenen Wirkprinzipien hinsichtlich der zu erwartenden Absenkung der Radonkonzentration
2. Sicherheit der Lösung
3. Einschätzung der Veränderungen in der Langzeitwirkung

Für diese abschließende Bewertung werden die untersuchten Objekte nach ihren Wirkprinzipien in Gruppen zusammengefasst.

- Abdichtung von Leckagen in der erdberührten Gebäudehülle (Gruppe 4)
- Erhöhung des natürlichen Luftwechsels (Gruppe 11)
- Mechanische Absaugung der Luft aus den Räumen – Unterdruck in den Räumen (Gruppe 1 und 12)
- Einbau mechanischer Zu- und Abluftsysteme (Gruppe 2)
- Absaugung Bodenluft unter oder unmittelbar neben dem Gebäude (Gruppen 9 und 10)
- Luftverdünnung unterhalb der Bodenplatte (Gruppe 5)
- Kombination aus Zu- und Abluftsystem mit Bodenabsaugung (Gruppe 7)

Weitere Kombinationen sind zumeist nur mit einem Beispiel vertreten, eine schlussfolgernde Auswertung ist deshalb nicht möglich

##### 4.2.4.1 Einschätzung der verschiedenen Wirkprinzipien

In der folgenden Übersicht sind die nach Wirkprinzipien sortierten Ergebnisse zusammengefasst:

###### **Abdichtung von Leckagen in der erdberührten Gebäudehülle (Gruppe 4)**

- Anzahl der Objekte: 6
- Veränderung der durchschnittlichen Radonkonzentration zum Ausgangswert
  - Für die Erstmessung nach Abschluss der Maßnahmen: **6 %**
  - Für den Durchschnittswert aller weiteren Messungen: **15 %**

###### **Erhöhung der natürlichen Luftwechselrate (Gruppe 11)**

- Anzahl der Objekte: 13
- Veränderung der durchschnittlichen Radonkonzentration zum Ausgangswert

- Für die Erstmessung nach Abschluss der Maßnahmen: **20 %**
- Für den Durchschnittswert aller weiteren Messungen: **31 %**

#### **Mechanische Luftabsaugung in den Räumen** (Gruppe 1 und 12)

- Anzahl der Objekte: 17
- Veränderung der durchschnittlichen Radonkonzentration zum Ausgangswert
  - Für die Erstmessung nach Abschluss der Maßnahmen: **74 %**
  - Für den Durchschnittswert aller weiteren Messungen: **98 %**

#### **Absaugung der Bodenluft unter / neben der Bodenplatte und den Grundmauern** (Gruppe 9 und 10)

- Anzahl der Objekte: 34
- Veränderung der durchschnittlichen Radonkonzentration zum Ausgangswert
  - Für die Erstmessung nach Abschluss der Maßnahmen: **8 %**
  - Für den Durchschnittswert aller weiteren Messungen: **13 %**

#### **Luftverdünnung unter der Bodenplatte** (Gruppe 5)

- Anzahl der Objekte: 3
- Veränderung der durchschnittlichen Radonkonzentration zum Ausgangswert
  - Für die Erstmessung nach Abschluss der Maßnahmen: **7 %**
  - Für den Durchschnittswert aller weiteren Messungen: **14 %**

#### **Verschiedene Kombinationen bzw. Sondermaßnahmen** (Gruppe 3, 6 und 8)

- Keine verallgemeinerungsfähigen Schlussfolgerungen möglich, da je Lösungsgruppe jeweils nur ein Beispiel

Erläuterung zur Tabelle 6: 6% in Spalte 4 oder 5 bedeuten eine Reduzierung auf 6% oder Absenkung des Radonwertes zwischen Wert vor und nach der Sanierung um 94%.

Die Zusammenstellung zeigt ein klares Bild: Sehr wirksam sind Maßnahmen, in denen Radon aus dem Boden abgesaugt wird sowie bei denen Leckagen in der erdberührten Gebäudehülle abgedichtet werden. Gute Ergebnisse zeigt ebenfalls das unter „Luftkissen“ vorgestellte Verfahren. Allerdings ist die Gruppe mit nur drei Anwendungen zu klein, um verlässliche und

verallgemeinerungsfähige Aussagen treffen zu können. Zudem ist diese Lösung in Deutschland bisher nur selten angewendet worden.

Die Erhöhung des natürlichen Luftwechsels bringt erwartungsgemäß deutliche Absenkungen der Radonkonzentration in der Raumlufte, allerdings sind dieser Lösung offensichtlich Grenzen gesetzt, auch hinsichtlich der mit der Anwendung verbundenen Energieverluste. Mit mechanischen Zu- und Abluftsystemen können gute Ergebnisse erreicht werden, allerdings ist die Absenkung deutlich geringer als bei Anwendung einer Absaugung im Erdreich. Als ungeeignet erweist sich erwartungsgemäß das Absaugen der Raumlufte. Dadurch erhöht sich die Druckdifferenz zwischen Erdreich und Gebäudeinnerem und somit der konvektive Luftstrom vom Erdreich ins Gebäude.

#### 4.2.4.2 Sicherheit der Lösungen

Eine weitere Frage stellt die Sicherheit der Lösungen dar, d.h., gibt es innerhalb der Gruppen in einzelnen Fällen signifikante Abweichungen vom Durchschnitt der Gesamtgruppe, die einen Hinweis darauf geben können, inwieweit Unsicherheiten hinsichtlich der Ergebnisse zu erwarten sind. Dabei können Gruppen, die insgesamt unbefriedigende Ergebnisse erbracht haben (Gruppe 1 und 12), aus der Betrachtung ausgeschlossen werden. Ebenso lassen sich für die Gruppen mit nur einer oder sehr wenigen Lösungen (Gruppe 3, 5, 6 und 8) keine Schlüsse hinsichtlich der Zuverlässigkeit ableiten.

- In Gruppe 2 liegt eine deutliche Abweichung in einem von 17 Objekten vor (Objekt 02.11);
- In Gruppe 4 (6 Objekte) ergeben sich keine deutlichen Abweichungen vom Mittelwert der Gesamtgruppe. Lediglich in einem Beispiel liegt der langjährige Durchschnitt knapp über dem Referenzwert. Allerdings ist die Größe der Gruppe mit 6 Objekten relativ gering, sodass die Sicherheit nicht abschließend bewertet werden kann, zumal die baulichen Voraussetzungen in jedem Sanierungsobjekt deutlich verschieden sein dürften.
- In Gruppe 7 wurden 12 Objekte erfasst, von denen 2 erhöhte Durchschnittswerte aufweisen, allerdings auch hier mit nur geringer Überschreitung des Referenzwertes. Die Lösung kann also als vergleichsweise sicher eingeschätzt werden.
- Von den in Gruppe 9 untersuchten 18 Objekten wurden bei einem Objekt deutlich erhöhte Radonwerte gemessen. Alle weiteren Lösungen weichen hinsichtlich der erreichten Reduzierung der Radonkonzentration nur gering voneinander ab. Diese Lösung kann somit ebenfalls als relativ sichere Lösung eingeschätzt werden.
- Von den 16 Objekten der Gruppe 10 erreichten 2 keine guten Ergebnisse. In diesen beiden Fällen liegen die langjährigen Durchschnittswerte deutlich über dem Referenzwert von 300 Bq/m<sup>3</sup>. In einem weiteren Objekt liegen die langjährigen Durchschnittswerte nur gering über dem Referenzwert. Alle weiteren Messungen ergaben Werte, die im langjährigen Mittel deutlich unterhalb der 300 Bq/m<sup>3</sup> liegen. Die etwas höhere Ausfallquote als in der vom Lösungsprinzip vergleichbaren Gruppe 9

kann zum Beispiel an zu geringer Durchlässigkeit des Erdreiches liegen. Trotz der zwei Varianten mit schlechten Ergebnissen, können sowohl die Lösungen der Gruppe 9 als auch der Gruppe 10 als sehr wirksame und relativ sichere Ansätze bezeichnet werden.

- Von den 13 Objekten in Gruppe 12 weisen drei Lösungen erhebliche Abweichungen mit deutlicher Überschreitung des Referenzwerten aus. Insgesamt streuen die Ergebnisse dieser Gruppe stärker als in fast allen weiteren Gruppen.

#### **4.2.4.3 Veränderungen in der Langzeitwirkung**

Bis auf die Lösungen der Gruppe 4 und 7 erhöhen sich in allen weiteren Gruppen tendenziell die Messwerte der Nachmessungen im Vergleich zur Messung unmittelbar nach Abschluss der Baumaßnahme und liegen zwischen 49% und 140 % höher. Dabei wurden die größten Abweichungen in Gruppe 4 (Beseitigung von Leckagen) gemessen. Dieses Ergebnis sowie einzelne zum Teil erheblich abweichenden Messwerte bei den Nachmessungen verdeutlichen die Bedeutung regelmäßiger Nachmessungen im Laufe der Nutzungszeit des Gebäudes.

### **4.3 Untersuchung zur Beständigkeit von Sanierungsmaßnahmen aus Österreich**

In Österreich wurde eine Langzeituntersuchung an vier bestehenden Gebäuden durchgeführt (Ennemoser, Huber: Innenraum-Radonkonzentration in modellsanierten Häusern – eine Langzeitstudie, Innsbruck). In jedem der Objekte wurde eine andere Sanierungslösung angewendet. Die Untersuchung erstreckte sich über einen Zeitraum von 10 Jahren und fanden in der „Öztaler Gemeinde Umhausen“, einer Region Österreichs mit besonders hohen Radonkonzentrationen, statt. Der höchste gemessene Wert vor der Sanierung betrug in einem Kellerraum 200.000 Bq/m<sup>3</sup>. Dieser sowie weitere Radonkonzentrationen sind extreme, selten anzutreffende Belastungen. Insofern eignen sich die Untersuchungsergebnisse nur bedingt für eine Verallgemeinerung.

Durchgeführt wurden diese Sanierungen in den Jahren 1993 und 1994. Die für die Gewinnung von Ergebnissen notwendigen Messungen wurden vor sowie unmittelbar nach der Sanierung durchgeführt. Weitere Kontrollmessungen fanden im Abstand von 5 und 10 Jahren statt. Interessant ist, dass im Rahmen dieses Projektes die Messungen sowohl im Sommer- als auch im Winterhalbjahr stattfanden. In allen vier Gebäuden wurden sowohl im (ungenutzten) Keller als auch im Erdgeschoss Messungen durchgeführt.

Es kamen die folgenden vier Sanierungslösungen zur Anwendung:

1. Luftabsaugung unter und neben dem Gebäude (Einbau einer Radondränage)
2. Injektion einer Zementsuspension in der Bodenplatte und den erdberührten Wänden (Abdichtung der gebäudebegrenzenden Konstruktion)

3. Einsatz einer künstlichen Belüftung in den erdangrenzenden Räumen. Diese Belüftung wird so betrieben, dass ein Überdruck im Gebäude entsteht
4. Einbau einer radondichten Deckenkonstruktion zwischen Keller und Erdgeschoss und Hohlraumabsaugung in der Deckenkonstruktion sowie Verlegung des Kellerzugangs nach außen.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der vier Sanierungsvarianten vorgestellt. Für die Auswertung werden die folgenden Abkürzungen verwendet:

- WH: Winterhalbjahr
- SH: Sommerhalbjahr
- JM: Jahresmittel

### **Lösung 1: Luftabsaugung im Erdreich unterhalb und neben dem Gebäude**

In diesem Objekt wurden eine Flächendrainage unter dem Fußboden und eine Ringdrainage um das Gebäude angelegt. Damit konnte erreicht werden, dass sich im Erdreich sowohl unter dem Gebäude als auch im Bereich der aufgehenden Kellerwände ein Unterdruck aufbauen kann.

Die Messungen wurden im Keller sowie Erdgeschoss mit folgenden Ergebnissen durchgeführt.

#### 1. Kellergeschoss

- vor Sanierung WH: **100.000 Bq/m<sup>3</sup>** SH: **3.000 Bq/m<sup>3</sup>** JM: **51.000 Bq/m<sup>3</sup>**
- direkt nach San.: WH: **500 Bq/m<sup>3</sup>** SH: **250 Bq/m<sup>3</sup>** JM: **375 Bq/m<sup>3</sup>**
- nach 5 Jahren: WH: **1.500 Bq/m<sup>3</sup>** SH: **200 Bq/m<sup>3</sup>** JM: **850 Bq/m<sup>3</sup>**
- nach 10 Jahren: WH: **1.000 Bq/m<sup>3</sup>** SH: **400 Bq/m<sup>3</sup>** JM: **700 Bq/m<sup>3</sup>**

Anmerkungen zu den Messergebnissen:

Im Zusammenhang mit den Messungen nach 5 Jahren wurden Risse in der Bodenplatte festgestellt, dadurch kann die deutliche Erhöhung des Messwertes erklärt werden.

#### 2. Erdgeschoss

- vor Sanierung WH: **80.000 Bq/m<sup>3</sup>** SH: **300 Bq/m<sup>3</sup>** JM: **40.000 Bq/m<sup>3</sup>**
- direkt nach San.: WH: **200 Bq/m<sup>3</sup>** SH: **150 Bq/m<sup>3</sup>** JM: **170 Bq/m<sup>3</sup>**
- nach 5 Jahren: WH: **240 Bq/m<sup>3</sup>** SH: **150 Bq/m<sup>3</sup>** JM: **195 Bq/m<sup>3</sup>**
- nach 10 Jahren: WH: **250 Bq/m<sup>3</sup>** SH: **150 Bq/m<sup>3</sup>** JM: **200 Bq/m<sup>3</sup>**

## **Lösung 2: Injektion der Bodenplatte sowie der erdberührten Wände mit einer Zementsuspension**

Ziel der Maßnahme war offensichtlich, die vorhandenen Undichtheiten in der erdberührten Gebäudehülle zu schließen und damit die Konvektion vom Boden ins Gebäude zu unterbinden.

Die Messungen wurden wiederum im Keller sowie Erdgeschoss mit folgenden Ergebnissen durchgeführt.

### 1. Kellergeschoss

- vor Sanierung    WH: **20.000 Bq/m<sup>3</sup>**    SH: **600 Bq/m<sup>3</sup>**    JM: **10.300 Bq/m<sup>3</sup>**
- direkt nach San.: WH: **20.000 Bq/m<sup>3</sup>**    SH: **600 Bq/m<sup>3</sup>**    JM: **10.300 Bq/m<sup>3</sup>**
- nach 5 Jahren:    WH: **11.500 Bq/m<sup>3</sup>**    SH: **2.800 Bq/m<sup>3</sup>**    JM: **7.150 Bq/m<sup>3</sup>**
- nach 10 Jahren: WH: **16.000 Bq/m<sup>3</sup>**    SH: **2.500 Bq/m<sup>3</sup>**    JM: **9.250 Bq/m<sup>3</sup>**

### 2. Erdgeschoss

- vor Sanierung    WH: **4.000 Bq/m<sup>3</sup>**    SH: **300 Bq/m<sup>3</sup>**    JM: **2.150 Bq/m<sup>3</sup>**
- direkt nach San.: WH: **4.000 Bq/m<sup>3</sup>**    SH: **280 Bq/m<sup>3</sup>**    JM: **2.140 Bq/m<sup>3</sup>**
- nach 5 Jahren:    WH: **2.250 Bq/m<sup>3</sup>**    SH: **250 Bq/m<sup>3</sup>**    JM: **1.400 Bq/m<sup>3</sup>**
- nach 10 Jahren: WH: **400 Bq/m<sup>3</sup>**    SH: **200 Bq/m<sup>3</sup>**    JM: **300 Bq/m<sup>3</sup>**

Anmerkungen zu den Messergebnissen:

Bei den Messungen im Erdgeschoss nach 10 Jahren waren die Fenster angekippt. Insofern ist dieser Messwert mit den vorangegangenen Messungen nicht vergleichbar.

## **Lösung 3: Einsatz einer künstlichen Belüftung in den erdangrenzenden Räumen. Diese Belüftung wird so betrieben, dass ein Überdruck im Gebäude entsteht**

In dem dritten Gebäude wurde ein Überdruckbelüftungssystem für die Kellerräume eingerichtet. Dabei wurden zwei getrennt voneinander regelbare Ventilatoren eingesetzt. Der Überdruck wurde damit erzeugt, dass mehr Luft in das Gebäude eingeleitet wurde als der zweite Ventilator aus dem Keller absaugte. Mittels eines Wärmetauschers konnte in der kalten Jahreszeit Wärme aus der Abluft zurückgewonnen werden. Weiterhin wurde mittels einer Drainage in einem Teil des Kellers die Bodenluft unter dem Fußboden abgesaugt.

Die Messungen wurden wiederum im Keller sowie Erdgeschoss mit folgenden Ergebnissen durchgeführt.

## 1. Kellergeschoss

- vor Sanierung WH: **200.000 Bq/m<sup>3</sup>** SH: **20.000 Bq/m<sup>3</sup>** JM: **110.000 Bq/m<sup>3</sup>**
- direkt nach San.: WH: **2.500 Bq/m<sup>3</sup>** SH: **400 Bq/m<sup>3</sup>** JM: **1.400 Bq/m<sup>3</sup>**
- nach 5 Jahren: WH: **2.000 Bq/m<sup>3</sup>** SH: **400 Bq/m<sup>3</sup>** JM: **1.200 Bq/m<sup>3</sup>**  
bzw. **10.500 Bq/m<sup>3</sup>** **6.000 Bq/m<sup>3</sup>** **8.250 Bq/m<sup>3</sup>**
- nach 10 Jahren: WH: **1.000 Bq/m<sup>3</sup>** SH: **400 Bq/m<sup>3</sup>** JM: **700 Bq/m<sup>3</sup>**  
bzw. **15.000 Bq/m<sup>3</sup>** **7.000 Bq/m<sup>3</sup>** **11.000 Bq/m<sup>3</sup>**

## 2. Erdgeschoss

- vor Sanierung WH: **50.000 Bq/m<sup>3</sup>** SH: **5.000 Bq/m<sup>3</sup>** JM: **27.500 Bq/m<sup>3</sup>**
- direkt nach San.: WH: **2.000 Bq/m<sup>3</sup>** SH: **240 Bq/m<sup>3</sup>** JM: **1.120 Bq/m<sup>3</sup>**
- nach 5 Jahren: WH: **1.500 Bq/m<sup>3</sup>** SH: **220 Bq/m<sup>3</sup>** JM: **800 Bq/m<sup>3</sup>**  
bzw. **6.000 Bq/m<sup>3</sup>** **1.200 Bq/m<sup>3</sup>** **3.600 Bq/m<sup>3</sup>**
- nach 10 Jahren: WH: **800 Bq/m<sup>3</sup>** SH: **200 Bq/m<sup>3</sup>** JM: **500 Bq/m<sup>3</sup>**  
bzw. **7.000 Bq/m<sup>3</sup>** **1.100 Bq/m<sup>3</sup>** **4.050 Bq/m<sup>3</sup>**

Anmerkungen zu den Messwerten nach 5 und 10 Jahren:

Bei den höheren gemessenen Werten wurde nur die Absauganlage betrieben.

### **Lösung 4: Einbau einer radondichten Deckenkonstruktion zwischen Keller und Erdgeschoss und Hohlraumabsaugung in der Deckenkonstruktion.**

Das vierte Haus erhielt eine radondichte Fußbodenkonstruktion in der Deckenkonstruktion zwischen Keller und Erdgeschoss. Zusätzlich wurde in den Fußbodenaufbau eine Schicht eingebaut, aus der das Radon direkt abgesaugt werden kann. Als weitere Maßnahme wurde der Kellerzugang, der ursprünglich direkt ins Gebäude führte, an die Außenseite des Hauses verlegt.

Die Messungen wurden wiederum im Keller sowie Erdgeschoss mit folgenden Ergebnissen durchgeführt.

## 1. Kellergeschoss

- vor Sanierung WH: **60.000 Bq/m<sup>3</sup>** SH: **300 Bq/m<sup>3</sup>** JM: **30.150 Bq/m<sup>3</sup>**
- direkt nach San.: WH: **4.000 Bq/m<sup>3</sup>** SH: **200 Bq/m<sup>3</sup>** JM: **2.100 Bq/m<sup>3</sup>**

- nach 5 Jahren: WH: **22.000 Bq/m<sup>3</sup>** SH: **300 Bq/m<sup>3</sup>** JM: **11.500 Bq/m<sup>3</sup>**
- nach 10 Jahren: WH: **24.000 Bq/m<sup>3</sup>** SH: **400 Bq/m<sup>3</sup>** JM: **12.200 Bq/m<sup>3</sup>**

## 2. Erdgeschoss

- vor Sanierung WH: **25.000 Bq/m<sup>3</sup>** SH: **150 Bq/m<sup>3</sup>** JM: **12.500 Bq/m<sup>3</sup>**
- direkt nach San.: WH: **1.700 Bq/m<sup>3</sup>** SH: **100 Bq/m<sup>3</sup>** JM: **900 Bq/m<sup>3</sup>**
- nach 5 Jahren: WH: **3.500 Bq/m<sup>3</sup>** SH: **300 Bq/m<sup>3</sup>** JM: **1.800 Bq/m<sup>3</sup>**
- nach 10 Jahren: WH: **2.000 Bq/m<sup>3</sup>** SH: **300 Bq/m<sup>3</sup>** JM: **1.150 Bq/m<sup>3</sup>**

Anmerkungen zu den Messergebnissen:

Im KG war bei den Messungen nach 5 und 10 Jahren die Zwischenbodenabsaugung nicht in Betrieb.

## Bewertung und Schlussfolgerungen

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass die Ausgangsbelastungen in einem extrem hohen Bereich lagen, die Ergebnisse der Langzeituntersuchung deshalb nur bedingt verallgemeinerungsfähig sind. Trotzdem lassen sich einige interessante Rückschlüsse aus den Ergebnissen der Studie ziehen:

- Vor allen Dingen bei den hohen gemessenen Werten vor der Sanierung sind die Unterschiede zwischen Sommer- und Wintermessungen extrem. Der alte Ortsteil von Umhausen wurde auf den Lockermaterialien eines alten Bergsturzes aus Granit errichtet. Auf Grund der extrem hohen Permeabilität und der Hanglage entstehen hier temperaturabhängige Bodenluftströmungen. Die hohe Freisetzung in Verbindung mit den Strömungen führt zu hohen Schwankungsbreiten und schnellen Änderungen der Radonkonzentration. Die besten Ergebnisse werden mit Variante 1 (Einbau einer Drainage unter und neben dem Gebäude) erreicht. Die Reduzierung beträgt, gemittelt über die gesamte Beobachtungszeit, für den Keller ca. 98,5 % und für das Erdgeschoss 99,5 % und erreicht für das Erdgeschoss durchgehend Werte, die unterhalb des Referenzwertes von 300 Bq/m<sup>3</sup> liegen.
- Die in Objekt 2 angewendete Abdichtung von Bodenplatte und erdberührten Wänden durch Injektage einer Zementsuspension zeigt so gut wie keine Wirkung. Offensichtlich konnte durch diese Maßnahme das Einströmen der radonhaltigen Bodenluft so gut wie nicht verringert werden. Die Reduzierung der Radonkonzentration beträgt im Keller über den Messzeitraum gemittelt lediglich 14 % und im Erdgeschoss 38 % und liegt in allen Bereichen deutlich über dem Referenzwert. Da die unmittelbar nach Abschluss der Sanierung gemessenen Werte noch deutlich ungünstiger sind und im Messunsicherheitsbereich der Ausgangssituation liegen, ist zu vermuten, dass die geringfügige Reduzierung über den 10-jährigen Messzeitraum auf ein verbessertes Lüftungsverhalten der Nutzer zurückzuführen ist.

- Das in Objekt 3 angewendete System eines Überdruckes im Gebäude ergibt eine Reduzierung um 99 % im Keller und um 97 % im Erdgeschoss. Das sind gute Ergebnisse, allerdings wird – auf Grund der sehr hohen Vorbelastungswerte – der Referenzwert von 300 Bq/m<sup>3</sup> auch im Erdgeschoss deutlich überschritten. Interessant ist eine zweite Messreihe für dieses Objekt, in der die Lüftungsanlage als Abluftvariante betrieben wurde, d.h., es wurde kein Überdruck in den Räumen durch dosiert erhöhte Zuluftzuführung in den Raum erzeugt. Die Messungen für diesen Betriebszustand erbrachte im Keller zwar immer noch eine Reduzierung von 97 % und im Erdgeschoss von 86 %. Die durchschnittlichen Radonkonzentrationswerte im Erdgeschoss liegen aber bei dieser Variante mit 3.600 bis 4.050 Bq/m<sup>3</sup> um den Faktor 12 bis 14 über dem Referenzwert.
- In der vierten Variante wurde mit der Abdichtung der Kellerdecke, dem Einbau einer Entlüftungsschicht im Fußbodenaufbau in der Kellerdecke sowie der Verlegung des Kellerzugangs nach außen ein Paket unterschiedlicher Maßnahmen realisiert. Insofern ist es nicht möglich die Wirksamkeit der einzelnen Maßnahmen getrennt zu bewerten. Es konnte im Keller und im Erdgeschoss eine Reduzierung von 97% erreicht werden, die aber im Jahresmittelwert immer noch deutlich über dem Referenzwert liegen.

## **5 Radondichtheit**

### **5.1 Abgrenzung**

Im Rahmen einer Abdichtung gegen den möglichen Eintritt radonhaltiger Bodenluft ins Gebäude wird seit vielen Jahren der Begriff „Radondichtheit“ verwendet. Die Begrifflichkeit ist nicht eindeutig und kann Eigenschaften von Materialien und/oder Bauteilen, aber auch vom Gebäude selbst meinen.

Vorrangig wird der Begriff für Ersteres genutzt, weswegen sich die nachfolgenden Betrachtungen auch darauf beziehen.

### **5.2 Grundlagen**

Beim baulichen Radonschutz zur Verhinderung des Eindringens radonhaltiger Bodenluft ins Gebäude sind zwei Haupteintrittsmechanismen zu berücksichtigen.

Zum einen ist der diffusive Eintritt von Radon durch die Bauteile (z.B.: Böden, Wände) im gesamten erdberührten Bereich zu betrachten. Auf der anderen Seite gilt es, einen konvektiven Radoneintritt durch konstruktiv bedingte Fugen, unbeabsichtigt entstandene Risse oder über Durchführungen durch Bauteile (z.B.: Rohrleitungen) auszuschließen. Für beide Fälle existieren verschiedene Möglichkeiten, den Radoneintritt zu verhindern. Hierbei können unterschiedliche Materialien für unterschiedliche Einbausituationen zum Einsatz kommen.

### **5.3 Definitionen**

Im deutschen Sprachgebrauch die Bezeichnung „radondicht“ verwendet. Dieser ist genaugenommen irreführend, weil in der Regel „lediglich“ ein bestimmter und mehr oder weniger großer Anteil des Radons von dem Material zurückgehalten wird. Dies zeigen anschaulich die unterschiedlichen Bezeichnungen, die im Englischen verwendet werden: *radon-proof*, *radon barrier*, *radon tightness* oder *radon permeability*. Grundsätzlich gibt es keine allgemeingültige Definition einer „Radondichtheit“. Es ist stets im Einzelfall zu klären, welche Materialeigenschaft bzw. Prüfgröße gemeint ist.

### **5.4 Nachweis und Prüfverfahren der Radondichtheit**

In der Praxis wird seit einigen Jahren seitens der Industrie vermehrt ein prüftechnischer Nachweis der „Radondichtheit“ eines Bauproduktes nachgefragt; nicht zuletzt auch aus Marketinggründen, um sich von Mitbewerbern abzuheben. Hierbei wird immer das konkrete Produkt geprüft und bewertet.

Der Schwerpunkt der Untersuchungen liegt auf flächig eingebrachten Produkten wie beispielsweise Folien oder Dickbeschichtungen. Aber auch Ringdurchführungen und ähnliche Bauteile werden mittlerweile daraufhin untersucht.

In aller Regel handelt es sich bei den Prüfungen um die Laborbestimmung des Radondiffusionskoeffizienten. Eine direkte Messgröße „Radondichtheit“, die unmittelbar zu bestimmen wäre, existiert nicht.

Der Radondiffusionskoeffizient beschreibt die Barriereeigenschaft von Materialien, die primär die Diffusion von Radon „behindert“. Hierbei handelt es sich um eine dickenunabhängige Materialkonstante. Im Wesentlichen ist sie von der chemischen Zusammensetzung des Materials, aber auch von „Löslichkeit“ und Adsorption von Radon im bzw. am Material abhängig. Sie besitzt die Dimension  $m^2/s$  und bewegt sich je nach Material innerhalb einer großen Spannweite, die mehrere Größenordnungen ( $10^{-15}$  bis  $10^{-8} m^2/s$ ) umfassen kann.

Das Problem besteht darin, dass für eine „Radondichtheit“ neben dem Radondiffusionskoeffizienten auch die Materialdicke eine Rolle spielt. Homogene Materialien unterschiedlicher Dicke besitzen demnach den gleichen Radondiffusionskoeffizienten, können Radon aber in unterschiedlichem Maße zurückhalten. Die Prüfgröße Radondiffusionskoeffizient allein liefert also keine Aussage über die „Radondichtheit“.

Für die Bestimmung des Radondiffusionskoeffizienten existierte bis vor kurzem aus der DIN-ISO-Reihe 11 665 (Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Luft: Radon-222) der Teil 10 (Bestimmung des Diffusionskoeffizienten in wasserundurchlässigen Materialien mittels Messung der Aktivitätskonzentration), der jedoch mittlerweile zurückgezogen ist. Er wurde 2017 durch die inhaltlich weitgehend vergleichbare ISO/TS 11 665 Part 13 (Measurement of radioactivity in the environment - Air: radon 222 - Part 13: Determination of the diffusion coefficient in waterproof materials: membrane two-side activity concentration test method) abgelöst. Darin werden verschiedene Methoden zur Bestimmung des Radondiffusionskoeffizienten in wasserabweisenden Materialien (z.B.: Bitumen, polymere Membrane, Beschichtungen, Farben) inkl. der Randbedingungen u.ä. bei der Prüfung beschrieben. Sie gilt nicht für poröse Materialien, bei den die Radondiffusion von der Porosität und dem Feuchtegehalt abhängig ist.

Die Nutzung von Referenzstandards bzw. -materialien, d.h. Vergleichsmessungen identischer Materialien, und/oder Vergleiche zwischen Messungen mit verschiedenen Prüfeinrichtungen wäre in diesem Zusammenhang wünschenswert.

Die Komplexität der Fragestellung zeigt eine Tabelle aus Rovenska & Jiranek (2012): Radon diffusion coefficient measurement in waterproofings – A review of methods and an analysis of differences in results). Als Ergebnis einer Literaturstudie werden dort verschiedene Herangehensweisen zur Ermittlung des Radondiffusionskoeffizienten und vergleichbarer Kenngrößen tabellarisch aufgelistet.

Es wird deutlich, dass eine unmittelbare Vergleichbarkeit oftmals nicht möglich ist, weil erhebliche Unterschiede in Messverfahren, Messzeit und anderer Randbedingungen der Laborbestimmung existieren. So variiert beispielsweise zwischen wenigen Stunden und ca. 3 Wochen. Das Volumen der Messkammer schwankt zwischen ca. 0,02 und 50 l. Die Quellstärke bewegt sich zwischen ca. 2 kBq/m<sup>3</sup> und mehreren MBq/m<sup>3</sup>.

Wichtig ist es, zu betonen, dass es zudem auch keine (international) einheitliche Bewertung und/oder Klassifikation der Prüfgröße Radondiffusionskoeffizient gibt. Von Land zu Land werden die Messwerte unterschiedlich betrachtet und bewertet. In einigen Fällen wird zusätzlich die Dicke des jeweils untersuchten Materials berücksichtigt, woraus sich eine weitere, von Land zu Land unterschiedliche (berechnete) Prüfgröße ergibt. In der Konsequenz bedeutet dies, dass dieselben Materialien von Land zu Land hinsichtlich ihrer Eignung als Radonbarriere unterschiedlich bewertet werden können.

## 5.5 Länderspezifische Herangehensweisen

Nachfolgend werden kurz verschiedene internationale Herangehensweisen zur Bestimmung und Bewertung der „Radondichtheit“ beschrieben.

In **Irland** gilt ein **maximaler Wert** für den **Radondiffusionskoeffizient von  $1,2 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$**  (*Building Regulations 1997, Technical Guidance Document C: Site Preparation and Resistance to Moisture*). Materialien, die diesen Wert unterschreiten, gelten als geeignet, um die Radondiffusion zu verhindern.

Die Herangehensweise in **England** ist ähnlich. Hier werden primär **PE-Folien** betrachtet, bei denen eine Dicke von **mindestens 300 µm** als ausreichender Radonschutz angesehen wird (*Radon – Guidance on protective measures for new buildings, 2015*).

In **Tschechien** wurde eine (komplexe) **Formel** zur Berechnung der (notwendigen) Dicke eines Materials entwickelt, damit es als „Radonschutz“ fungieren kann. Hierin gehen u.a. auch spezifische Boden-, Gebäude- und Nutzercharakteristika ein (s. Abschnitt 2.2.2.6).

In **Norwegen** werden **Radonfolien** mit der Prüfgröße **radon resistance > 50 Ms/m** als geeigneter Radonschutz bewertet. Die Prüfungen erfolgen nach einer schwedischen Prüfmethode, bei der die sogenannte *radon transmittance* (in m/s) und der *radon resistance* (in s/m) ermittelt werden (SINTEF - Stiftelsen for industriell og teknisk forskning).

Eine andere Vorgehensweise wird in **Italien** eingesetzt. Hier erfolgt die Bewertung auf indirektem Wege. Für ein Material wird die Durchlässigkeit für Helium und/oder Argon (cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x 24 h bei 1 atm) geprüft. Wenn es als helium- bzw. argondicht bewertet wird, geht man davon

aus, dass es auch radondicht ist, weil der Atomdurchmesser von Radon größer als der von Helium bzw. Argon ist. In Abhängigkeit von der o.g. Messgröße erfolgt eine abgestufte Bewertung.

In **Deutschland** wird sich an einer Empfehlung von Prof. Dr. Keller aus den 1990er Jahren orientiert, nach der per Konvention ein Material als „radondicht“ oder „nicht radondicht“ bewertet wird. Aus dem messtechnisch bestimmten **Radondiffusionskoeffizienten D** wird die sogenannte **Diffusionslänge I** (auch Relaxationslänge) nach  $I = (D/l)^{1/2}$  berechnet. Die Diffusionslänge wird anschließend ins Verhältnis zur **Materialdicke d** gesetzt.

Laut der o.g. Konvention wird ein Material als „**radondicht**“ bewertet, wenn **d > 3 I** (Materialdicke > 3-fache Diffusionslänge) ist. Dieser Wert liefert eine Abschätzung über die „Barrierewirkung“ des untersuchten Materials. Ist dieses Kriterium erfüllt, dann werden ca. 95 % des in der Bodenluft anstehenden Radon durch das Material zurückgehalten. Ist das o.g. Kriterium nicht erfüllt, gilt das Material als „nicht radondicht“.

Eine ganze Reihe von Materialien wurde daraufhin untersucht. Beispiele finden sich u.a. in Hoffmann (2004): Experimentelle und theoretische Untersuchungen über die Emanation und Migration von Radon in Baustoffen und Bauwerksabdichtungen). Im Wesentlichen handelt es sich um Untersuchungen konkreter Produkte mit definierter Dicke. Die Spannweite der Messwerte des Radondiffusionskoeffizienten lagen zwischen  $10^{-8}$  und  $10^{-14}$  m<sup>2</sup>/s. Eine Repräsentativität für ganze Produktgruppen lässt sich daraus nicht ableiten.

Im Folgenden werden aus der Arbeit von Hoffmann einige typische Ergebnisse wiedergegeben:

#### **PEHD Dichtungsbahnenmaterial:**

- Dicke [d]: 0,2 mm
- Diffusionskoeffizient:  $7,08 * 10^{-12}$  m<sup>2</sup>/s
- Diffusionslänge [R]: 1,84 mm
- Verhältnis d/R: 0,11

Kriterium an die Radondichtheit erfüllt: nein

#### **PEHD Dichtungsbahn:**

- Dicke [d]: 1,5 mm
- Diffusionskoeffizient:  $8,21 * 10^{-14}$  m<sup>2</sup>/s
- Diffusionslänge [R]: 0,20 mm
- Verhältnis d/R: 7,58

Kriterium an die Radondichtheit erfüllt: ja

**PE-Folie:**

- Dicke [d]: 0,6 mm
- Diffusionskoeffizient:  $3,32 * 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
- Diffusionslänge [R]: 1,26 mm
- Verhältnis d/R: 0,47

Kriterium an die Radondichtheit erfüllt: nein

**Dichtungsfolie, bitumenbeschichtet:**

- Dicke [d]: 4 mm
- Diffusionskoeffizient:  $1,17 * 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
- Diffusionslänge [R]: 0,75 mm
- Verhältnis d/R: 5,37

Kriterium an die Radondichtheit erfüllt: ja

**V60S4 Bitumenschweißbahn:**

- Dicke [d]: 4 mm
- Diffusionskoeffizient:  $3,59 * 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$
- Diffusionslänge [R]: 131 mm
- Verhältnis d/R: 0,03

Kriterium an die Radondichtheit erfüllt: nein

**1-komponentische Dichtschlämme:**

- Dicke [d]: 4 mm
- Diffusionskoeffizient:  $1,66 * 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$
- Diffusionslänge [R]: 2,82 mm
- Verhältnis d/R: 1,42

Kriterium an die Radondichtheit erfüllt: nein

**1-komponentische Bitumendickbeschichtung:**

- Dicke [d]: 5 mm
- Diffusionskoeffizient:  $1,23 * 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
- Diffusionslänge [R]: 0,77 mm
- Verhältnis d/R: 6,49

Kriterium an die Radondichtheit erfüllt: ja

Sehr lange und umfangreiche Erfahrungen liegen aus Tschechien vor. Hier wurden in den vergangenen Jahren diesbezügliche systematische Untersuchungen durchgeführt, deren Ergebnisse z.T. auch publiziert sind (u.a. Jiranek (2011): Radon diffusion coefficient in 360 waterproof materials of different chemical composition).

Zusammenstellungen der Ergebnisse zeigen, dass es sehr große Spannweiten zwischen verschiedenen Produkten gibt (bis zu 8 (!) Größenordnungen). Dies ist mit der sehr unterschiedlichen (chemischen) Zusammensetzung der Materialien zu erklären. Fast wichtiger ist aber die Erkenntnis, dass es auch innerhalb einer als „homogen“ angesehenen Produktgruppe Variation um mehrere Größenordnungen geben kann (Abb. 50). Dies wird mit der ebenfalls variierenden Zusammensetzung der Materialien erklärt, die z.T. unterschiedliche Beimengungen, Füllstoffe o.ä. beinhalten. Da diese „Rezeptur“ vom Hersteller oftmals aber nicht bekannt gegeben wird, sind der unmittelbaren Vergleichbarkeit Grenzen gesetzt.

Einige Beispiele aus den Messungen von Jiranek des Radondiffusionskoeffizienten sind im Folgenden zusammengestellt:

- Epoxy paint: Mittelwert ca.  $1,5 \cdot E^{-12}$   
Messspanne: ca.  $1,1 \cdot E^{-12}$  bis  $1,7 \cdot E^{-12}$
- PU paint: Mittelwert ca.  $1,7 \cdot E^{-12}$   
Messspanne: ca.  $1,1 \cdot E^{-12}$  bis  $1,1 \cdot E^{-11}$
- Betonite geotextile: Mittelwert ca.  $1,6 \cdot E^{-08}$   
Messspanne: ca.  $1,1 \cdot E^{-08}$  bis  $1,8 \cdot E^{-08}$
- Bitumen membrans: Mittelwert ca.  $1,1 \cdot E^{-11}$   
Messspanne: ca.  $1,5 \cdot E^{-12}$  bis  $1,6 \cdot E^{-11}$
- Bitumen membrans with Al-film: Mittelwert ca.  $1,5 \cdot E^{-13}$   
Messspanne: ca.  $1,1 \cdot E^{-15}$  bis  $1,8 \cdot E^{-12}$
- HDPE membrans: Mittelwert ca.  $1,8 \cdot E^{-12}$   
Messspanne: ca.  $1,2 \cdot E^{-12}$  bis  $1,4 \cdot E^{-11}$
- PVC-P membrans: Mittelwert ca.  $1,2 \cdot E^{-11}$   
Messspanne: ca.  $1,3 \cdot E^{-12}$  bis  $1,8 \cdot E^{-11}$
- PP membrans: Mittelwert ca.  $1,8 \cdot E^{-12}$   
Messspanne: ca.  $1,4 \cdot E^{-13}$  bis  $1,2 \cdot E^{-11}$
- PVB membrane: Mittelwert ca.  $1,5 \cdot E^{-11}$   
Messspanne: sehr gering, nicht dargestellt

## 5.6 Bewertung weiterer Eintrittspfade auf die Radondichtheit

Abschließend sollen erste Überlegungen zum anderen Eintrittspfad radonhaltiger Bodenluft beschrieben werden.

Neben einem (flächenhaften) diffusiven Radoneintritt aus dem erdberührten Bereich ins Gebäude spielt in der Praxis der (lokale) konvektive Eintritt eine wichtige Rolle. Dieser erfolgt kleinräumig über Undichtigkeiten wie Risse im Fundament oder den Kellerwänden oder unzureichend abgedichtete Durchdringungen von Leitungen o.ä. Eine Quantifizierung dieses Anteils ist schwierig, weil Eintrittspfade und -größe sowie die notwendigen Druckunterschiede zwischen Erdreich und Gebäudeinnerem innerhalb weite Bereiche schwanken können.

Um sich der Frage einer Quantifizierung anzunähern, wurde mit Hilfe des Gesetzes von Hagen-Poiseuille versucht, eine zumindest größenordnungsmäßige Abschätzung vorzunehmen.

Das **Gesetz von Hagen-Poiseuille** beschreibt einen Volumenstrom  $V'$ , d.h. Volumen pro Zeiteinheit, für eine laminare stationäre Strömung eines homogenen Newton'schen Fluids durch ein Rohr. Hierbei geht man von einem glattwandigen Strömungskanal aus sowie der Annahme, dass Luft bei einem nur geringem Druckunterschied  $\Delta p$  nicht kompressibel ist.

Die Formel zur Beschreibung des Volumenstromes für eine **kreisförmigen Kanal** lautet:

$$V = \pi \cdot r^4 / 8 \eta \cdot \Delta p / l \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (10)$$

mit:

- r      Radius des Kanals [m]
- l      Risstiefe (vertikal) [m]
- $\Delta p$     Druckdifferenz Anfang/Ende „Riss“ [Pa]
- $\eta$       Viskosität der Luft (Normalbedingungen) [Pa s]

Mittels einer Abwandlung können auch rechteckige Eintrittsquerschnitte betrachtet werden, wie sie beispielsweise für Risse in einer Bodenplatte angenommen werden können.

Die Formel zur Beschreibung des Volumenstroms durch einen **Rechteck-Kanal** lautet:

$$V' = K \cdot \min(b, h)^3 \cdot \max(b, h) / 12 \eta l \cdot \Delta p \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (11)$$

mit

- K      Faktor zur Beschreibung Verhältnis min/max (b, h)
- b      Rissbreite (horizontal) [m]
- h      Risslänge (horizontal) [m]
- l      Risstiefe (vertikal) [m]
- $\Delta p$     Druckdifferenz Anfang/Ende „Riss“ [Pa]
- $\eta$       Viskosität der Luft (Normalbedingungen) [Pa s]

Derart errechnete Volumenströme können aufgrund der modellhaften Randbedingungen aber nur als Anhaltswert dienen. Sie geben einen (ersten) Eindruck darüber, welche Luftmengen (und damit auch Radon) unter bestimmten baulichen Gegebenheiten aus dem Untergrund ins Gebäude eindringen können.

## 5.7 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Problematik der Bestimmung der „Radondichtheit“ und ihrer Bewertung lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Es existiert international keine einheitliche Begrifflichkeit bzgl. „Radondichtheit“. In der Regel ist hiermit der Diffusionswiderstand flächiger „Elemente“ (z.B.: Folien) gemeint.
- Messtechnisch wird oftmals der Radondiffusionskoeffizient bestimmt. Die Prüfmethode ist zu beachten; wünschenswert wäre eine standardisierte Herangehensweise in Anlehnung an die ISO/TS 11 665 Part 13.
- Die Bewertung der „Radondichtheit“ erfolgt z.T. unmittelbar aus dem Wert des Radondiffusionskoeffizienten (z.B.: Irland) oder mittelbar aus daran abgeleiteten Größen (z.B.: Norwegen, Deutschland).
- Systematische Untersuchungen des Radondiffusionskoeffizienten unterschiedlicher Materialien und Materialgruppen zeigen, dass die Messwerte sowohl zwischen den Gruppen, aber auch innerhalb derselben erheblich schwanken und dabei um mehrere Größenordnungen variieren können.
- Wünschenswert wären Aussagen zur pauschalen Eignung oder Nicht-Eignung bestimmter Materialien bzw. Materialgruppen, um den Messaufwand zu verringern. Hierzu wäre die exakte Kenntnis der Materialzusammensetzung notwendig, die in der Praxis mitunter aber nicht vorliegt.
- Es werden fast ausschließlich „Einzelprodukte“ geprüft (z.B.: Folie X, Dickbeschichtung Y). Diese stellen jedoch stets nur einen Teil der Bauverbundes (z.B.: Bodenplatte) dar, bei dem die Gesamtheit für die abdichtende Wirkung ursächlich ist. Insofern würde die Prüfung „größerer“, zusammenhängender Bauteile eine deutlich höhere Aussagekraft haben. Der Mehraufwand für entsprechende Prüfeinrichtungen wäre aber vermutlich erheblich.
- Erste Überlegungen zur quantitativen Abschätzung des konvektiven Eintrittes radonhaltiger Bodenluft über lokale Eintrittspfade ins Gebäude hinein wurden vorgestellt. Sie bedürfen aber der weiteren Überprüfung.