

Radonschutz und neue Normen in der Bauausführung - DIN/TS 18117

Dipl.-Ing. Roland Strubbe

Radon-Forum Baden-Württemberg
28. April 2021

| **DIN** |

ZÜBLIN
TEAMS WORK.



1 GRUNDLAGEN ZUM
RADONSCHUTZ



2 ANFORDERUNGEN



3 GEBÄUDEKONZEPTION /
ABSCHÄTZUNG DER
RADONKONZENTRATION



4 MASSNAHMEN

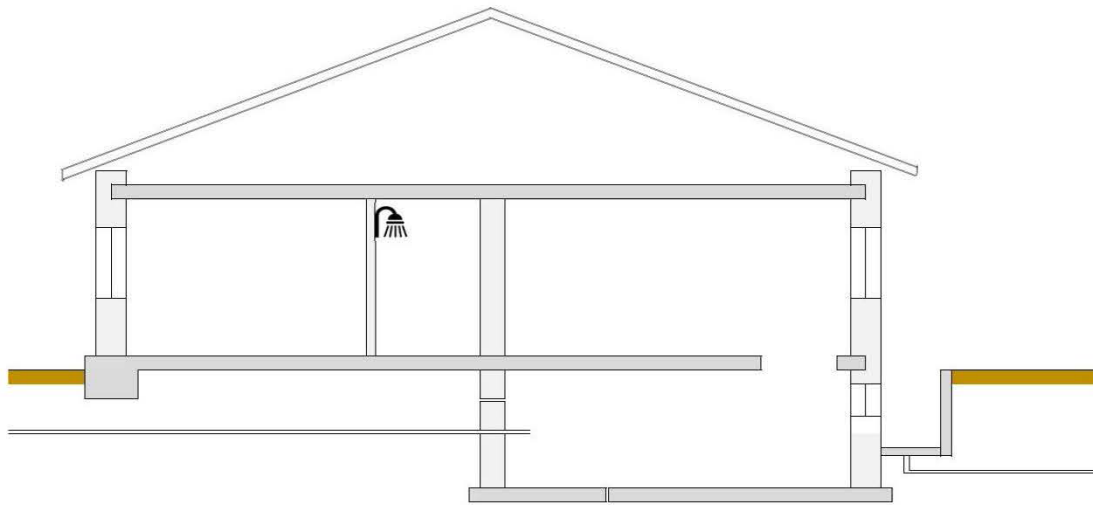


5 INSTANDHALTUNG/
NUTZERVERHALTEN



6 RECHENWERTE/
BEISPIELE

1 GRUNDLAGEN ZUM RADONSCHUTZ



ZÜBLIN
TEAMS WORK.

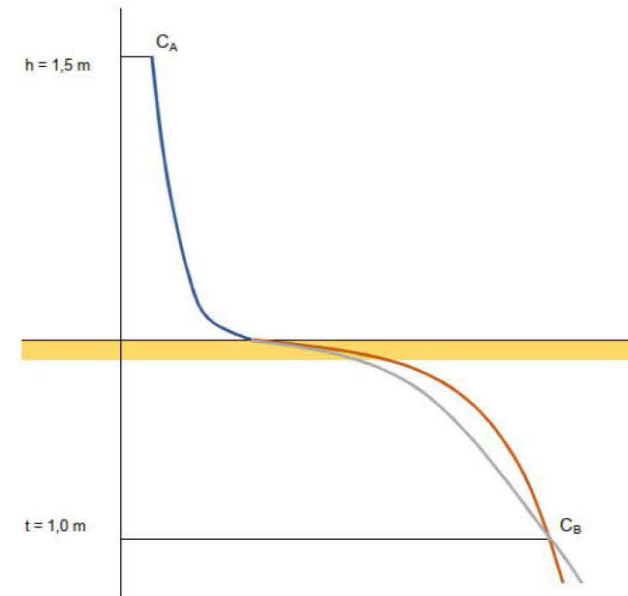
GRUNDLAGEN ZUM RADONSCHUTZ

Radonquellen

Boden und Luft

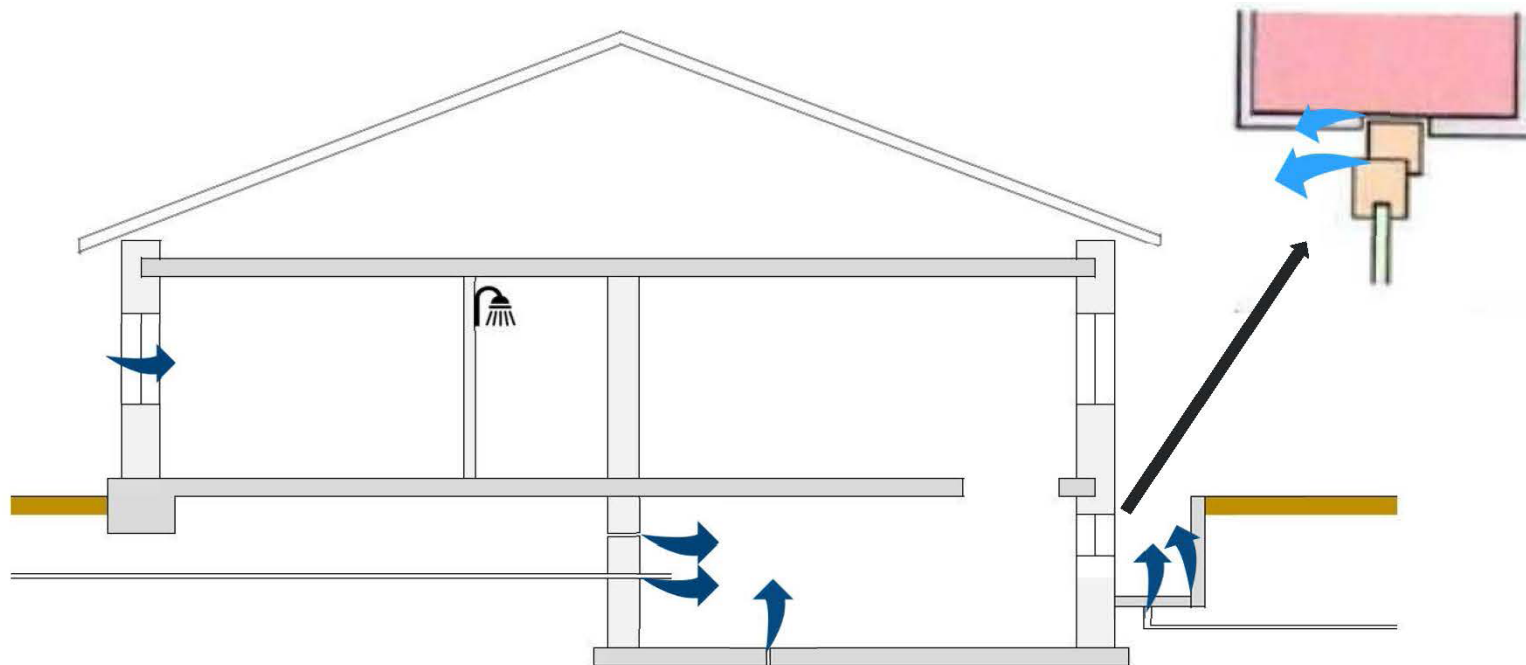
Tabelle A.1 — Radonkonzentration in verschiedenen Umweltmedien im Jahresmittel

Umweltmedium	Typischer Wertebereich	Maximum
Bodenluft (Konzentration 1 m unter GOK)	5 000 bis 200 000 Bq/m ³	ca. 1 000 000 Bq/m ³
Außenluft (Konzentration in 1,5 m über GOK)	5 bis 30 Bq/m ³	ca. 50 Bq/m ³
Wasser	0 bis 100 Bq/l	ca. 30 000 Bq/l



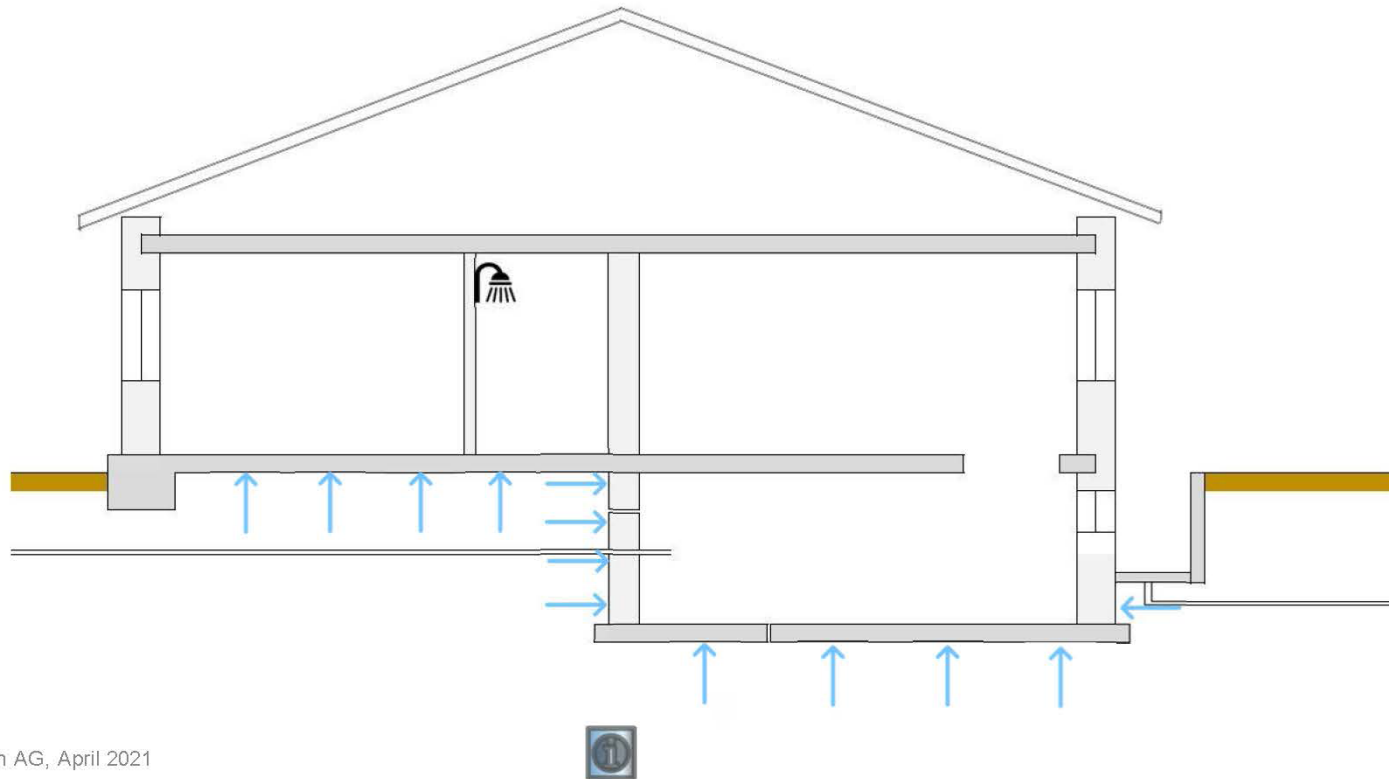
GRUNDLAGEN ZUM RADONSCHUTZ

Eintrittsweg Konvektion



GRUNDLAGEN ZUM RADONSCHUTZ

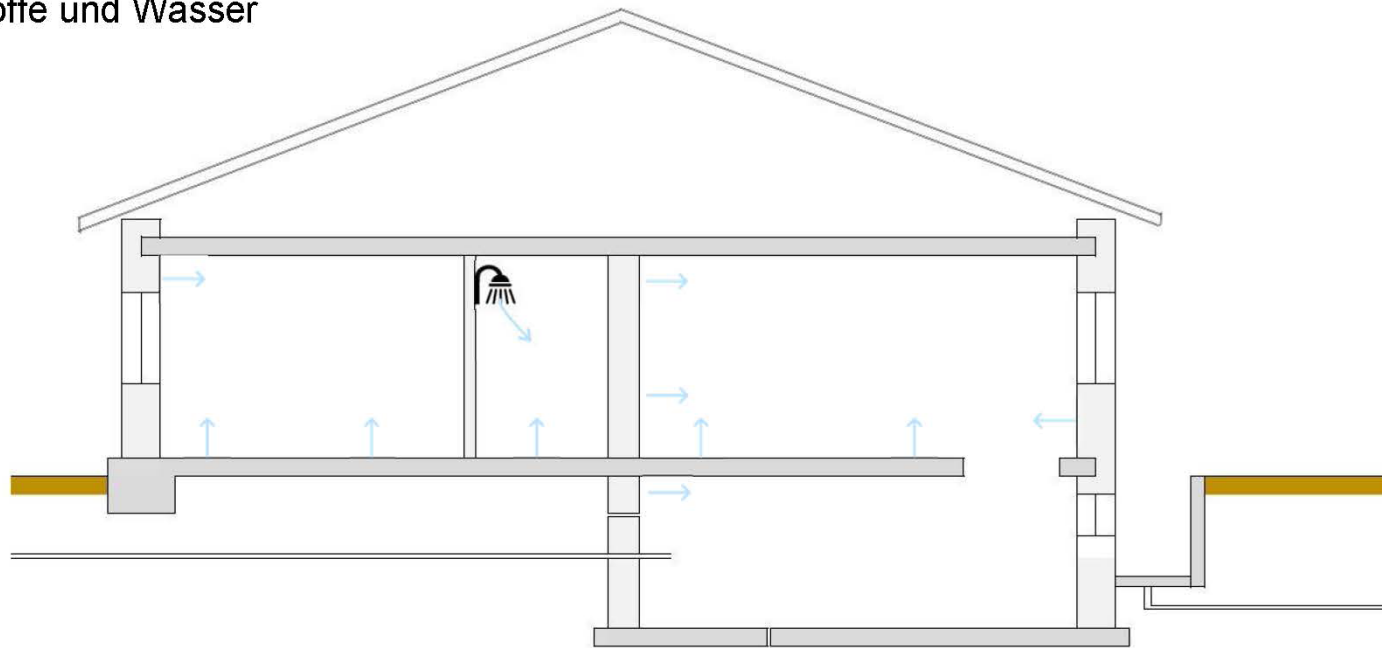
Eintrittsweg Diffusion



GRUNDLAGEN ZUM RADONSCHUTZ

Radonquellen

Baustoffe und Wasser



2 ANFORDERUNGEN

§

ANFORDERUNGEN

bestehen für:

Arbeitsplätze – Innenräume, in denen sich eine Arbeitskraft während ihrer Berufsausübung regelmäßig oder wiederholt aufhält (Quelle Strahlenschutzgesetz)

Aufenthaltsräume – Innenräume, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Personen bestimmt sind (Quelle Strahlenschutzgesetz)



ANFORDERUNGEN

Gesetzliche Vorgaben:

Referenzwert (Jahresmittelwert):

$\leq 300 \text{ Bq/cbm}$

Messpflicht für Arbeitsplätze im KG und im EG in Radonvorsorgegebieten

Neben den gesetzlichen Vorgaben bestehen diverse weitere **Empfehlungen**:

u. a. WHO (Jahresmittelwert): $\leq 100 \text{ Bq/cbm}$

*Referenzwert: festgelegter Wert in bestehenden Expositionssituationen oder Notfallexpositionssituationen, der als Maßstab für die Prüfung der Angemessenheit von Maßnahmen dient. Ein Referenzwert ist kein Grenzwert.
[Quelle: Strahlenschutzgesetz]*

Becquerel (Bq): Anzahl der Atomkerne, die pro Sekunde zerfällt.



ANFORDERUNGEN

Gesetzliche Vorgaben:

Allgemein - StrSchG § 123 (1): Anforderungen gelten als erfüllt bei Einhaltung Feuchteschutz (sogenannte Fiktionswirkung).

Radonvorsorgegebiete - StrSchG § 123 (1) Pkt. 2 i.V.m. StrSchV § 154: Anforderungen gelten als erfüllt

- Verringerung Radonkonzentration unter Gebäude
- Beeinflussung Luftdruckdifferenz zwischen Gebäudeinnerem und Bodenluft
- Begrenzung Rissbildung erdberührter Betonbauteile
- Absaugung Radon an Innenbauteilen
- diffusionshemmende, konvektionsdicht verarbeitete Materialien oder Konstruktionen

Aus den gesetzlichen Vorgaben lassen sich keine Vorhersagen ableiten, welche Radonkonzentration in Innenräumen entsteht.

Daneben gibt es diverse Empfehlungen zum Radonschutz (z. B. im Radon-Handbuch des BfS).

Allen diesen Empfehlungen ist gemein, dass sich eine Vorhersage, welche Radonkonzentration sich mit (oder ohne) diesen Maßnahmen ergibt, nicht erstellen lässt.



ANFORDERUNGEN

Derzeitige Situation:

Mittelwert aus Messungen in Deutschland (Quelle Radonhandbuch des BfS):

ca. 50 Bq/cbm

Werte über 300 Bq/cbm sind Deutschlandweit bei rund 1,5 % der Aufenthaltsräume im EG von Ein- und Zweifamilienhäusern anzutreffen (Quelle wie vor)



3 GEBÄUDEKONZEPTION/ ABSCHÄTZUNG DER RADONKONZENTRATION



ZÜBLIN
TEAMS WORK.

GEBÄUDEKONZEPTION

Auslegungswert

Wert, welcher der Planung einer Neubau- oder Sanierungsmaßnahme zugrunde gelegt wird und möglichst erreicht werden soll. Abweichungen vom Auslegungswert sind sowohl nach oben als auch nach unten möglich und zulässig. Der Auslegungswert ist kein Grenzwert.

Grenzwert

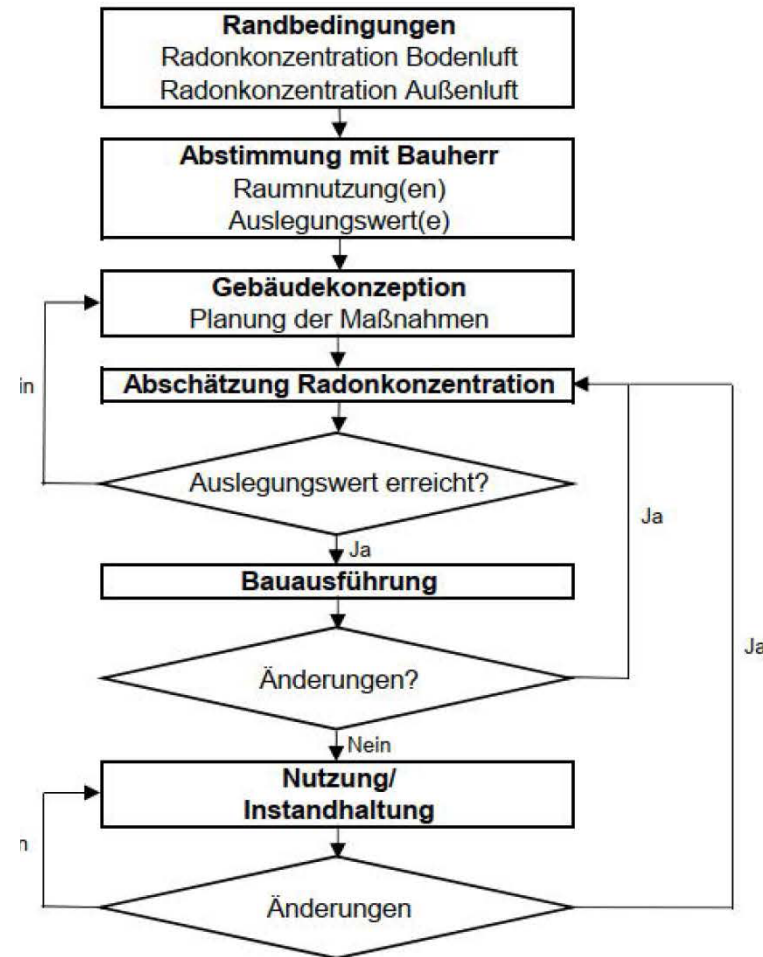
Wert, der nicht überschritten werden darf.

Anmerkung: Derzeit liegen keine gesetzlichen Grenzwerte für Radon vor.

Referenzwert

Festgelegter Wert in bestehenden Expositionssituationen oder Notfallexpositionssituationen, der als Maßstab für die Prüfung der Angemessenheit von Maßnahmen dient. Ein Referenzwert ist kein Grenzwert.

[Quelle: Strahlenschutzgesetz]



ABSCHÄTZUNG DER RADONKONZENTRATION

HINWEISE

- Die Verfahren dienen dem besseren Verständnis der Zusammenhänge und sind geeignet, Risiken im Rahmen einer Grenzwertbetrachtung zu bewerten.
- Eine konkrete Dosisabschätzung ist für Teil 2 der Norm vorgesehen.
- Die Abschätzung anhand der Formeln basiert auf der Annahme, dass sich das in den Raum gelangte Radon durch Luftströmungen gleichmäßig verteilt und durch Zufuhr von Außenluft und durch radioaktiven Zerfall verdünnt wird.
- Je nach Lage (einer Messstelle) können wenig durchlüftete Bereiche höhere, gut durchlüftete Bereiche niedrigere Konzentrationen ergeben.
- Sofern Luftwechsel nicht mit Außenluft durchgeführt werden (z. B. bei WC-Abluft oder bei Luftansaugung in geringer Höhe über Boden), ist eine mögliche Anreicherung mit Radon zu berücksichtigen.
- Bei abweichenden Verhältnissen (Lüftungsabschaltung, Urlaub) können erhebliche Abweichungen gegenüber der Berechnung entstehen und damit auch der langfristige Mittelwert erheblich abweichen.
- Rechenwerte für die Materialeigenschaften liegen bisher nur in geringem Umfang vor. Die bekannten Werte weisen teilweise eine erhebliche Bandbreite auf.



ABSCHÄTZUNG DER RADONKONZENTRATION BODENLUFT

Radonvorsorgegebiete

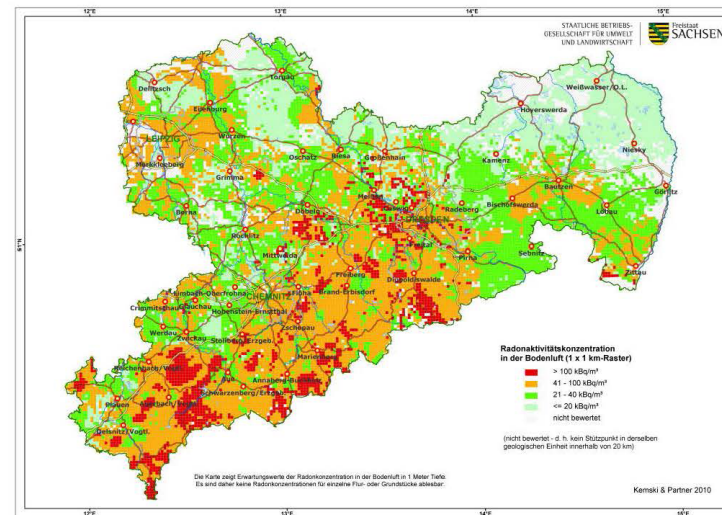
Überschreitung des Referenzwertes voraussichtlich auf mindestens 75 % des Gebiets bei mindestens 10 % der Gebäude

Radonkarten

Prognosen der Radonkonzentration

Prognosen des Radonpotentials

Allein aus dieser Gebietsausweisung und den diversen Karten können keine verlässlichen Voraussagen für Radonkonzentrationen (Erdreich, Gebäude) an einem individuellen Standort hergeleitet werden.



ABSCHÄTZUNG DER RADONKONZENTRATION KONVEKTION FUGEN / TRENNRISSE

Vorhersage einer Radonkonzentration aus
Konvektion durch Bauwerksfugen/Trennrisse*
(abgeleitet aus dem Gesetz von Hagen-Poiseuille)

Volumenstrom (je Fuge/Riss):

$$\dot{V}_{kB} = \frac{\Delta p \cdot b^3 \cdot l}{12 \cdot \eta \cdot d}$$

mit:

b – Fugen-/Trennrissbreite < Fugen-/Trennrisslänge (m)

l – Fugen-/Trennrisslänge (m)

d – Bauteildicke (m)

η – dynamische Viskosität Luft (Normal 17,1 μPa s)

Δp – Druckdifferenz (Pa)

Radonquellstärke:

$$Q_{kB} = C_B \cdot \sum \dot{V}_{kB_i}$$

mit:

C_B – Bodenluftkonzentration (Bq/m³)



ABSCHÄTZUNG DER RADONKONZENTRATION KONVEKTION FENSTER-/TÜRFUGEN

Vorhersage einer Radonkonzentration aus
Konvektion durch Fensterfugen

Volumenstrom:

$$\dot{V}_{kF} = a \cdot l \cdot \left(\frac{\Delta p}{100} \right)^{2/3}$$

mit:

a – Fugendurchlässigkeitskoeffizient* ($m^3/(h \cdot m \cdot 100 Pa^{2/3})$)

l – Fugenlänge (m)

Δp – Druckdifferenz (Pa)

* z. B. nach DIN 12207

Radonquellstärke:

$$Q_{kF} = F_V \cdot C_B \cdot \sum \dot{V}_{kFi}$$

mit:

C_B – Bodenluftkonzentration (Bq/m^3)

F_V – Faktor Verdünnung der Bodenluftkonzentration(%)



ABSCHÄTZUNG DER RADONKONZENTRATION DIFFUSION

Vorhersage einer Radonkonzentration aus
Diffusion – Variante A

Grundlage:

Konvention nach Prof. Keller, nach der Material als relativ radondicht gelten soll, wenn es mindesten 95 % des Radons zurückhält.

Bei entsprechendem Nachweis (Prüfzeugnis „radondicht“) kann die Radonquellstärke abgeschätzt werden mit:

Radonquellstärke:

$$Q_d = K \cdot C_B \cdot \lambda_{Rn} \cdot F_e \cdot V/F$$

mit:

K – Reduktionsfaktor (bei „radondicht“ 5%)

(bei mehreren Radonbarrieren: $k = k_1 \cdot k_2 \cdot k_i$)

C_B – Bodenluftkonzentration (Bq/m³)

λ_{Rn} – Zerfallskonstante Radon-222 (0,00756 h⁻¹)

F_e – erdberührte Fläche

V/F – Verhältnis Prüfvolumen /Prüffläche (nach Definition 1 m³/m²)



ABSCHÄTZUNG DER RADONKONZENTRATION DIFFUSION

Vorhersage einer Radonkonzentration aus
Diffusion – Variante B

Grundlage:

Der Reduktionsfaktor wird aus der Diffusionslänge / dem
Diffusionskoeffizienten ermittelt*:

$$K = \frac{1}{e^{\frac{d}{R}}}$$

mit:

K – Reduktionsfaktor

d – Materialdicke (m)

R – Diffusionslänge (m); $= \sqrt{\frac{D}{\lambda_{Rn}}}$

D – Diffusionskoeffizient (m²/s)

λ_{Rn} – Zerfallskonstante Radon-222 (2,098*10⁻⁶ s⁻¹)

* Aus der Formel ergibt sich auch die Reduktion nach Keller

Radonquellstärke:

$$Q_d = K \cdot C_B \cdot \lambda_{Rn} \cdot F_e \cdot V/F$$

mit:

K – Reduktionsfaktor (bei „radondicht“ 5%)

(bei mehreren Radonbarrieren: $k = k_1 * k_2 * k_i$)

C_B – Bodenluftkonzentration (Bq/m³)

λ_{Rn} – Zerfallskonstante Radon-222 (0,00756 h⁻¹)

F_e – erdberührte Fläche

V/F – Verhältnis Prüfvolumen /Prüffläche (nach Definition 1 m³/m²)



ABSCHÄTZUNG DER RADONKONZENTRATION MATERIAL, WASSER, GAS

Vorhersage einer Radonkonzentration aus
Baumaterial, Wasser und Gas

Im Rahmen der DIN SPEC vorerst pauschale
Betrachtung mit Hinweis auf mögliche Risiken.

Radonquellstärke Baumaterial:

$$Q_M = \sum E_M \cdot F_M$$

mit:

E_M - Exhalationsrate Material (Bq/(m²*h))

F_M - Fläche des Materials (m²)



ABSCHÄTZUNG DER RADONKONZENTRATION GESAMT

Vorhersage einer Radonkonzentration

Die insgesamt mögliche Radonkonzentration ergibt sich dann mit:

$$C_{ges} = \frac{Q_{KB} + Q_{KF} + Q_D + Q_M + Q_W + Q_G}{V \times (n_{ges} + \lambda_{Rn})} + C_A$$

mit:

C_{ges} – Radonkonzentration gesamt

Q_{kB} etc. – Quellstärken wie vor

C_A – Radonkonzentration in der Außenluft

V – Raumvolumen (m^3)

n_{ges} – Gesamtluftwechsel (h^{-1})*

λ_{Rn} – Zerfallskonstante Radon-222 ($0,00756 h^{-1}$)

$$n_{ges} = n_k + \frac{1}{V} \left(\sum \dot{V}_{kFi} + \sum \dot{V}_{kBli} \right)$$

mit:

n_k – kalkulierter Außenluftwechsel (h^{-1})

V – Raumvolumen (m^3)

$\sum \dot{V}_{kBli}$ – Summe der Volumenströme aller Fugen/Trennrisse

$\sum \dot{V}_{kFi}$ – Summe der Volumenströme aller Fensterfugen

Unerwartet hohe Werte für den Gesamtluftwechsel erfordern weitere Betrachtungen



4 MAßNAHMEN



ZÜBLIN
TEAMS WORK.

GEBÄUDEKONZEPTION

mögliche Maßnahmen

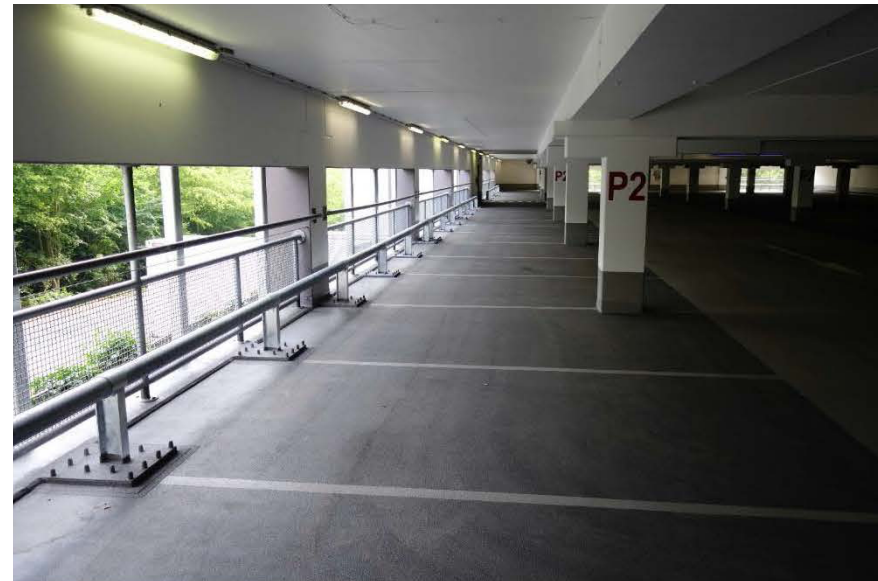
Reduzierung erdberührter Gebäudeflächen

Anordnung sowieso gut belüfteter Nutzungen in Räumen mit erdberührten Bauteilen (z. B. Tiefgaragen)

Trennung und Nutzungsänderung von Räumen mit erdberührten Bauteilen

Bauliche Maßnahmen

Lüftungstechnische Maßnahmen



BAULICHE MAßNAHMEN / RADONBARRIEREN

Radonbarrieren:

Material oder Baukonstruktion zur Begrenzung des Radoneintritts (Aufzählung ohne Rangfolge)

Bauliche Maßnahmen (B)

konvektiver Radoneintritt (BK)

diffusiver Radoneintritt (BD)

Reduzierung Radonausbreitung im Gebäude (BA)

Reduzierung erdseitiger Radonkonzentration (BE)

Exhalation Baumaterial (BM)

Bei jeweils ausreichenden Maßnahmen / Radonbarrieren gegenüber einzelnen Radonquellen bzw. Radoneintrittspfaden können in der Summe dennoch unerwünscht hohe Radonkonzentrationen auftreten.

Bei der Bewertung sind die Lüftungstechnischen Maßnahmen einzubeziehen.



LÜFTUNGSTECHNISCHE MAßNAHMEN

Lüftungstechnische Maßnahmen (L)

Außenluftversorgung aus Bereichen mit geringer Radonkonzentration beachten (z. B. nicht aus Kellerlichtschächten)

Manuelle Lüftung (L0)

Fensterlüftung

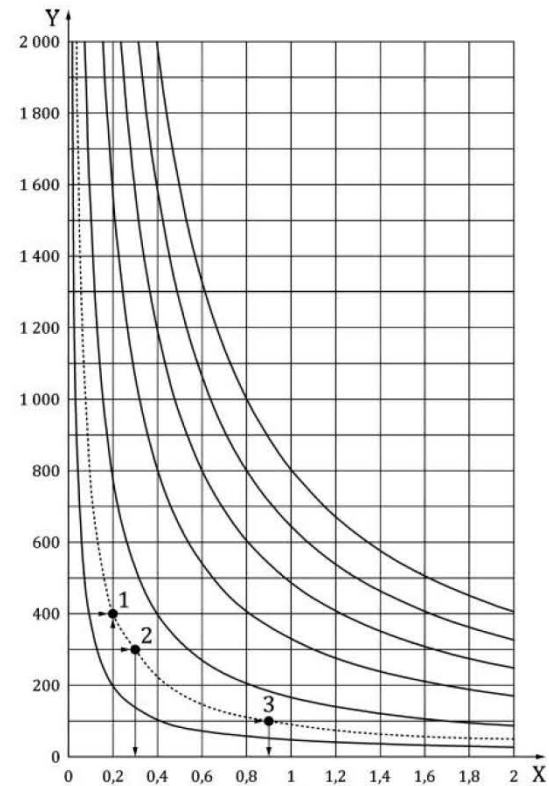
Freie Lüftung (L1)

Außenluftdurchlässe

motorische Fensterlüftung

Schachtlüftung

Ventilatorgestützte Lüftung (L2)



5 INSTANDHALTUNG/ NUTZERVERHALTEN



INSTANDHALTUNG

Alle Maßnahmen, die Bestandteil der Abschätzung der Radonkonzentration sind, sollten für Instandhaltungsarbeiten möglichst einfach zugänglich sein (z. B. Dichtungen).

Bei baulichen Veränderungen (z. B. energetische Sanierung, neue Hausanschlüsse etc.) ist der Radonschutz neu zu bewerten und ggf. anzupassen.



NUTZERVERHALTEN

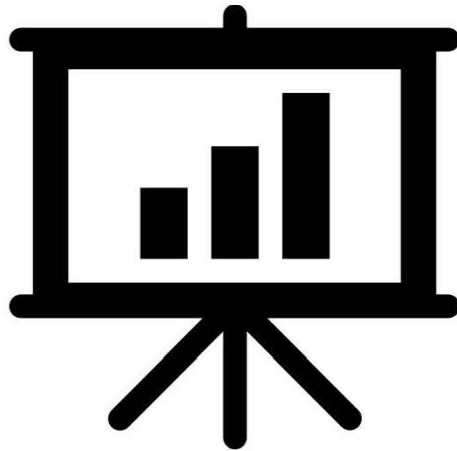
Der Erfolg der manuellen Lüftung hängt weitestgehend von der Einhaltung der Vorgaben durch den Nutzer ab.

Ein längerfristiger Ausfall bzw. eine Änderung der Betriebsparameter der Lüftungsanlagen (z. B. auch bei Abwesenheit wegen Urlaub) können die Radonsituation des Gebäudes entscheidend verändern.

Unzureichende oder unterlassene Instandhaltung können die Radonsituation des Gebäudes entscheidend verändern.



6 RECHENWERTE / BEISPIELE



BEISPIELE

Die folgenden Beispiele dienen ausschließlich der Veranschaulichung von Zusammenhängen und möglichen Risiken.

Die Rechenannahmen und Ergebnisse stellen mögliche Situationen dar und sind nicht allgemein zutreffend.

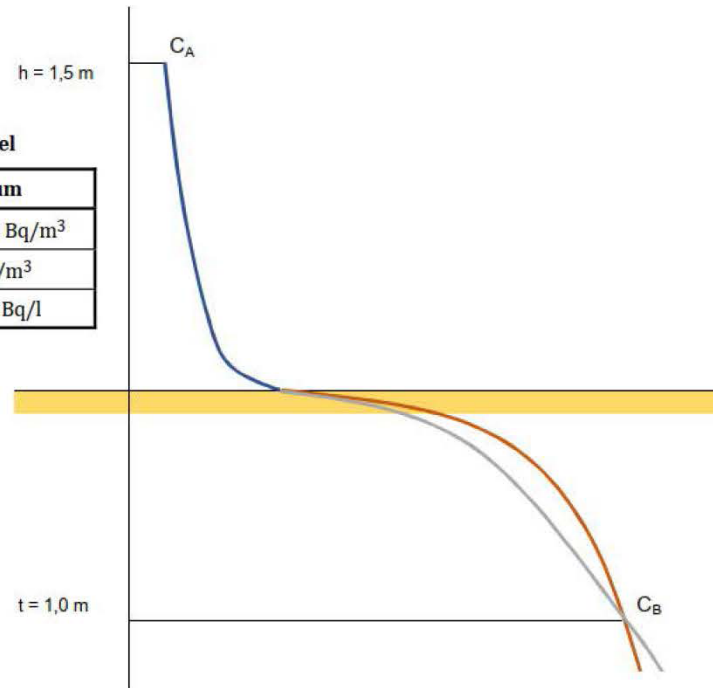
Die Auflistung konkreter Rechenwerte ist für Teil 2 der DIN TS 18117 vorgesehen.



BEISPIELE - RECHENWERTE

Tabelle A.1 — Radonkonzentration in verschiedenen Umweltmedien im Jahresmittel

Umweltmedium	Typischer Wertebereich	Maximum
Bodenluft (Konzentration 1 m unter GOK)	5 000 bis 200 000 Bq/m ³	ca. 1 000 000 Bq/m ³
Außenluft (Konzentration in 1,5 m über GOK)	5 bis 30 Bq/m ³	ca. 50 Bq/m ³
Wasser	0 bis 100 Bq/l	ca. 30 000 Bq/l



BEISPIELE - RECHENWERTE

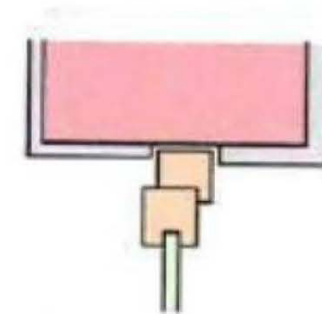
Beispiele für **Rechenwerte Konvektion**

Fugebreite und –länge (sofern unverschlossen) können der Planung entnommen werden.

Anforderungen an Bauteil- und Bauteilanschlussfugen werden in DIN 4108-2 näher erläutert

Trennrissbreiten und –längen in Beton können statisch ermittelt werden, z. B. nach DIN EN 1992-1-1 und zugehöriger Fachliteratur: Eine Bewertung der Streuung der sich einstellenden Risse ist empfehlenswert

Fugendurchlässigkeiten von Fenstern und Türen sind in DIN EN 12207 angegeben



BEISPIELE - RECHENWERTE

Beispiele für **Rechenwerte Diffusion** (Diffusionskoeffizient – qm/s)

Bisher liegen keine verbindlichen Rechenwerte für Diffusion vor. Die folgende Auflistung dient insofern der Veranschaulichung auf der Basis bekannter Messwerte. Reale Werte können außerhalb der aufgezeigten Bandbreite liegen.

Abdichtungsmaterialien insgesamt	ca. 1 E^{-8} bis 1 E^{-15}
HDPE	ca. 1 E^{-6} bis 5 E^{-13}
Bitumen mit Aluminiemeinlage	ca. 1 E^{-11} bis 1 E^{-15}
Beton	ca. 1 E^{-7} bis 3 E^{-9}

Verschiedene Hersteller bieten mittlerweile Prüfzeugnisse zu den eigenen Produkten an



BEISPIELE - RECHENWERTE

Beispiele für Rechenwerte **Exhalation Material**

Bisher liegen keine verbindlichen Rechenwerte für Exhalation vor. Die folgende Auflistung dient insofern der Veranschaulichung auf der Basis bekannter Messwerte. Reale Werte können außerhalb der aufgezeigten Bandbreite liegen

Natursandstein	ca. 1 - 10 Bq/(qm*h)
Kalksandstein	ca. 1 - 11 Bq/(qm*h)
Beton/Gasbeton	ca. 0,2 - 20 Bq/(qm*h)



BEISPIELE - RECHENWERTE

Beispiele für **Luftwechselraten** (1/h)

Vorgaben zu Mindestluftwechselraten ergeben sich aus diversen Normen und Regelwerken, z. B. DIN 1946-6, DIN 13779/EN 12831, Arbeitsstättenrichtlinie, VDI etc. Die folgende Auflistung von Beispielen dient insofern der Veranschaulichung.

Wohngebäude	0,5 (0,2 bis ≥ 6)
Büros	1 (4 – 8)
Alternativ	
Einzelbüros	ca. 40 cbm/(h*Person)

Reale Werte können deutlich geringer sein, z. B. bei manueller Fensterlüftung bis 0



BEISPIELE - RECHENWERTE

Beispiele für vorhandene Luftwechselraten (1/h)

Die folgende Auflistung von Beispielen dient der Veranschaulichung.
Reale Werte können außerhalb der aufgezeigten Bandbreite liegen

Fenster und Türen geschlossen (abhängig vom Gebäudealter auch mehr, bis 1,5)	0* bis 0,3
Fenster gekippt	0,3 bis 1,5
Fenster zeitweise ganz geöffnet	0,3 bis 4
Fenster ständig ganz geöffnet	9 bis 15
gegenüberliegende Fenster ständig geöffnet	bis 40

** Bei sehr geringen Luftwechselraten (z. B. „luftdichter“ Neubau während Urlaubsabwesenheit) kann bereits Diffusion bzw. Materialexhalation zu erheblichen Radonbelastungen führen. Dies kann sich auch erheblich auf die Messung von Jahresmittelwerten auswirken.*



BEISPIELE - RECHENWERTE

Beispiele für **Differenzdruck** zwischen Innenraum und Bodenluft

Die folgende Auflistung von Beispielen dient der Veranschaulichung.
Reale Werte können außerhalb der aufgezeigten Bandbreite liegen

Druckdifferenzen zwischen Boden und Innenraum können bei 0 bis 8 Pa liegen. Je nach Witterungs- und Betriebsbedingungen können sich auch Druckdifferenzen zum Baugrund hin ergeben. Diese Druckdifferenzen bleiben bei der Abschätzung der Radonbelastung unberücksichtigt.

1 Pa $\hat{=}$ 0,1 mm WS

Abweichende Druckdifferenzen können sich auch in Abhängigkeit von Lüftungsanlagen (z. B. WC oder Küchenabluft), Kaminbetrieb u. a. ergeben.



BEISPIELE - DIFFUSIONSANTEIL

Kellerraum, nur Anteil Diffusion
 Grundfläche 10 * 10 qm
 Höhe 2,5 m
 Tiefe im Erdreich 2 m
 1 Radonbarriere, relativ radondicht

Radonquellstärke:

$$Q_d = K \cdot C_B \cdot \lambda_{Rn} \cdot F_e \cdot V/F$$

Radonkonzentration:

$$C_{ges} = \frac{Q_{KB} + Q_{KF} + Q_D + Q_M + Q_W + Q_G}{V \cdot x \cdot (n_{ges} + \lambda_{Rn})} + C_A$$

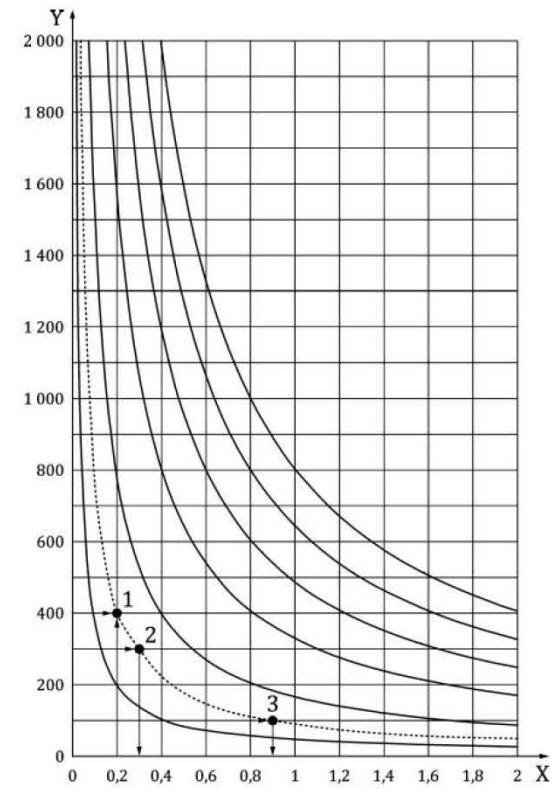
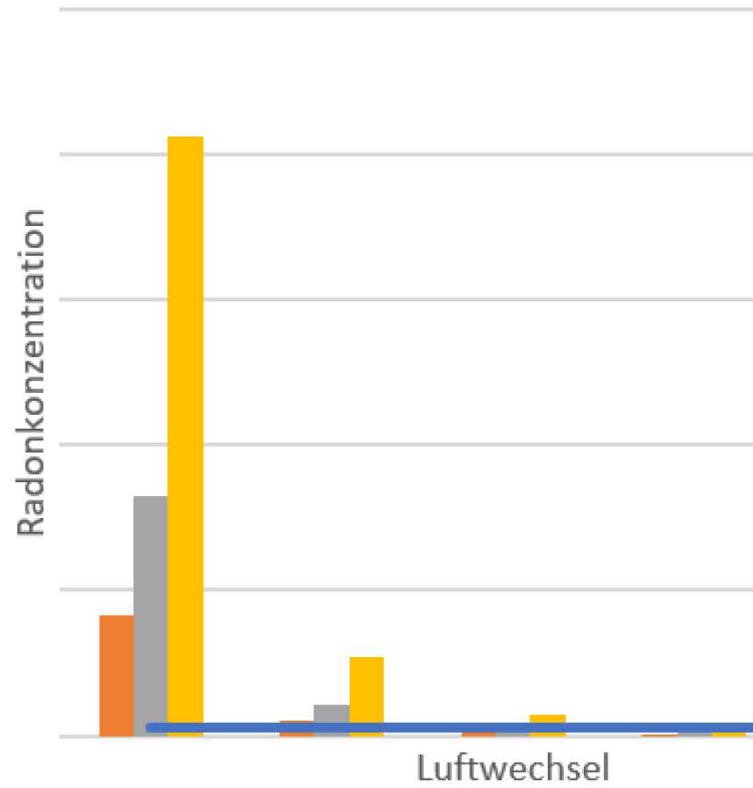
K	0,05
C _B	100.000 Bq/cbm
λ _{Rn}	0,00756 1/h
F _e	200 qm
V/F	1 cbm/qm

Q_d = 7560 Bq/h

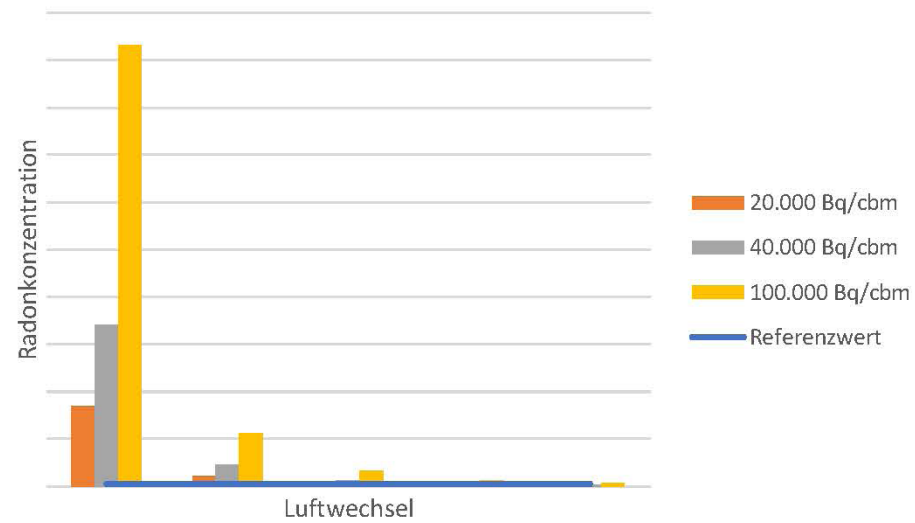
V	250		cbm
n _{ges}	0	0,2	0,5 1/h
C _d	4000	146	60 Bq/cbm



BEISPIELE – EINFLUSS LÜFTUNG



BEISPIELE – ANTEIL KONVEKTION (Z. B. ROHRDURCHFÜHRUNG)



**VIELEN DANK FÜR IHRE
AUFMERKSAMKEIT**



ZÜBLIN
TEAMS WORK.