

Messung der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft in Hessen / die hessische Messkampagne

Ein Projekt der THM, des HMUKLV und des HLNUG



Steffen Kerker

Hessisches Radonzentrum HeRaZ

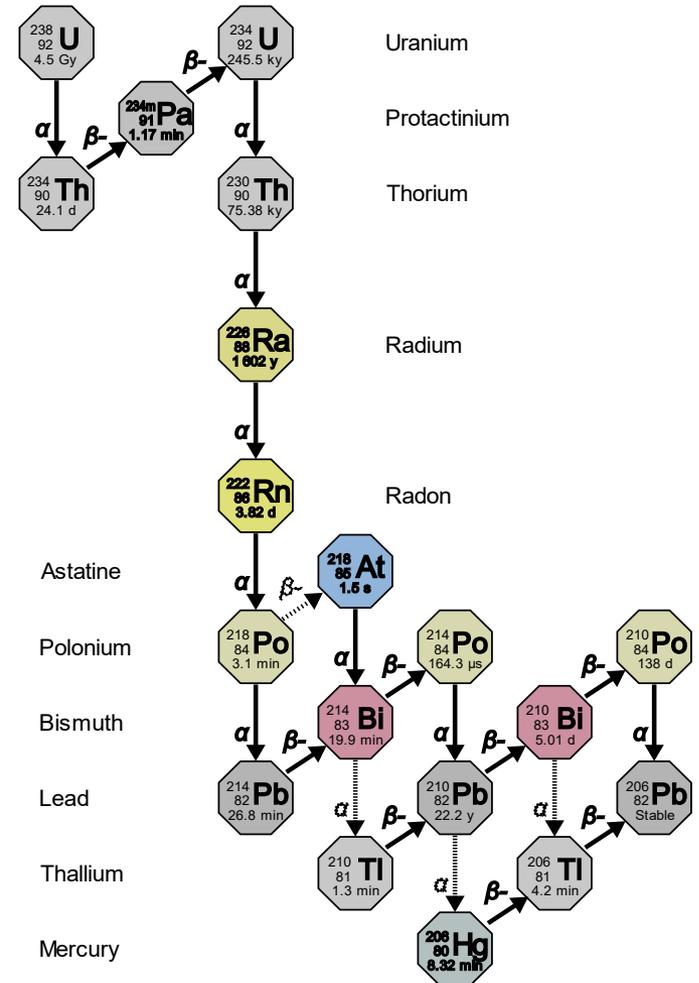
Inhalt

- Radon und Geogenes Radonpotential
- Bodenluftmessung zur Ermittlung des Radonpotentials
- Exemplarische Ergebnisse der Bodenluftmesskampagne
- Status der Messkampagne
- Bisherige Herausforderungen



Radon

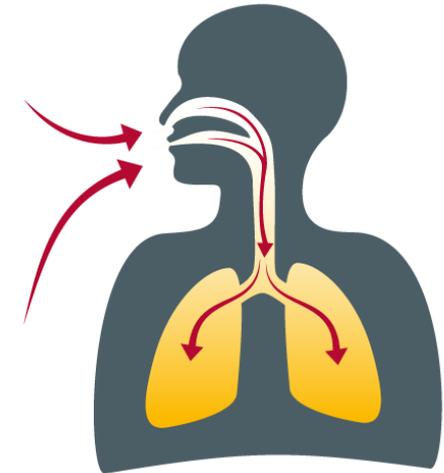
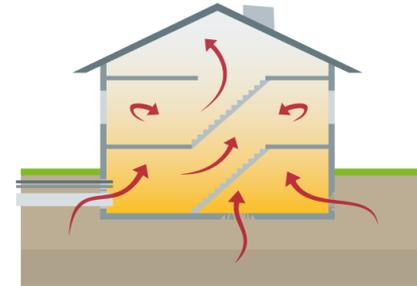
- Radioaktives Edelgas mit verschiedenen Isotopen
- Relevant in der Strahlenschutzpraxis:
 - ^{222}Rn , Radon (HWZ: 3,8 d)
 - ^{220}Rn , Thoron (HWZ: 56 s)
- Radon (^{222}Rn) entsteht im Untergrund (Boden und Gestein) aus Radium (^{226}Ra) in der Uran-Radium-Reihe



<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=33293646>, CC BY 3.0

Radon

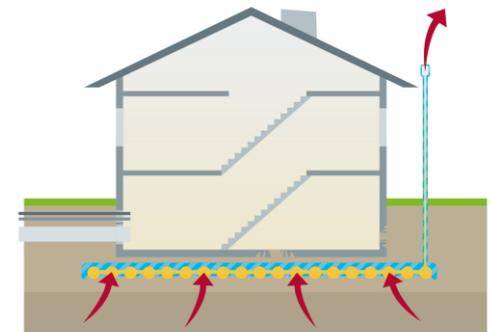
- Wird aus dem Untergrund in die Atmosphäre abgegeben (Exhalation)
- Gelangt durch Undichtigkeiten in Gebäude und kann sich dort anreichern
- Zerfällt unter Aussendung von α -Strahlung zu radioaktiven Folgeprodukten
→ Einatmen erhöht Lungenkrebsrisiko
- Größter Beitrag zur natürlichen Strahlenexposition in Deutschland (ca. 60 %)



<https://www.thm.de/heraz/2-allgemein/7-radon-wo-findet-sich-das.html>

StrlSchG – Radonvorsorgegebiete

- Strahlenschutzgesetz fordert Maßnahmen zum Schutz vor Radon
- Referenzwert in Gebäuden: 300 Bq/m³ Jahresmittelwert
- Gebiete mit hoher Übertretungswahrscheinlichkeit des Referenzwertes werden Radonvorsorgegebiete
- Besondere Maßnahmen für Neubauten und Arbeitsplätze in Radonvorsorgegebieten
- Ausweisung auf Grundlage des geogenen Radonpotentials

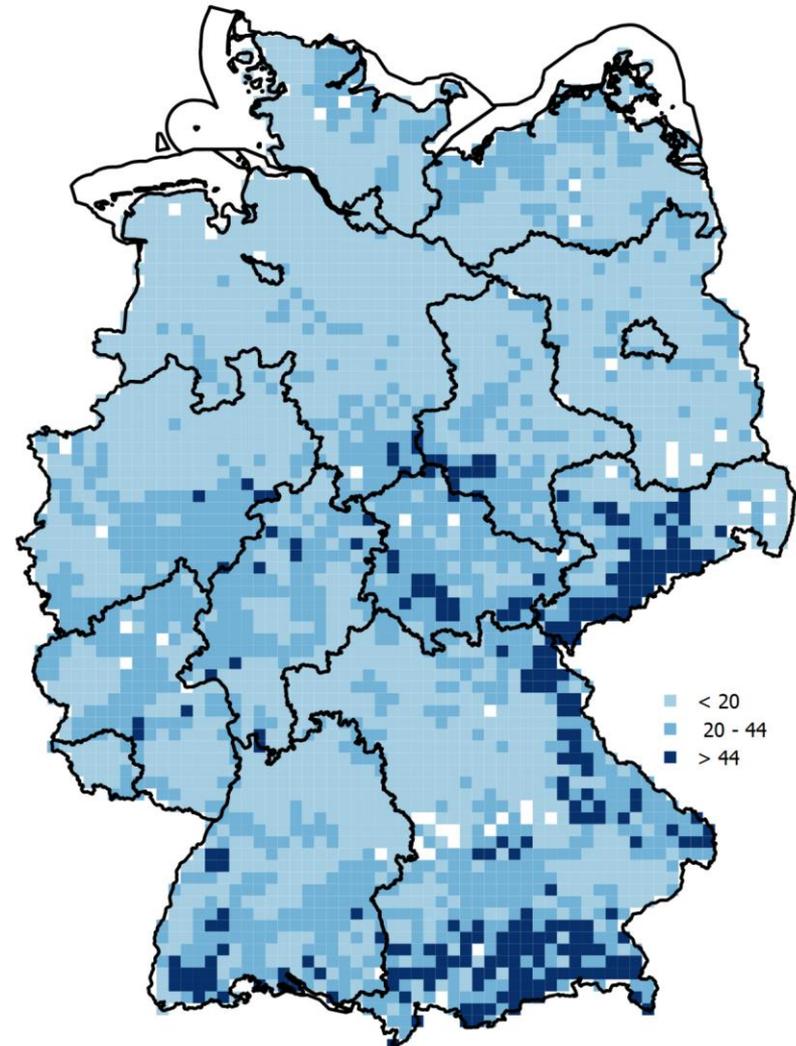


Das Geogene Radonpotential

- Größe zur Beschreibung der Fähigkeit eines Untergrundes Radon freizusetzen
- Abhängig von der Freisetzung in den Porenraum (Emanation) und der Wanderung des Radons im Boden (Migration)
- Ermittlung aus Radonaktivitätskonzentration $c_a(Rn)$ in der Bodenluft und der Gaspermeabilität k des Bodens

$$RP := \frac{c_a(Rn)}{(-\log_{10}(k) - 10)}$$

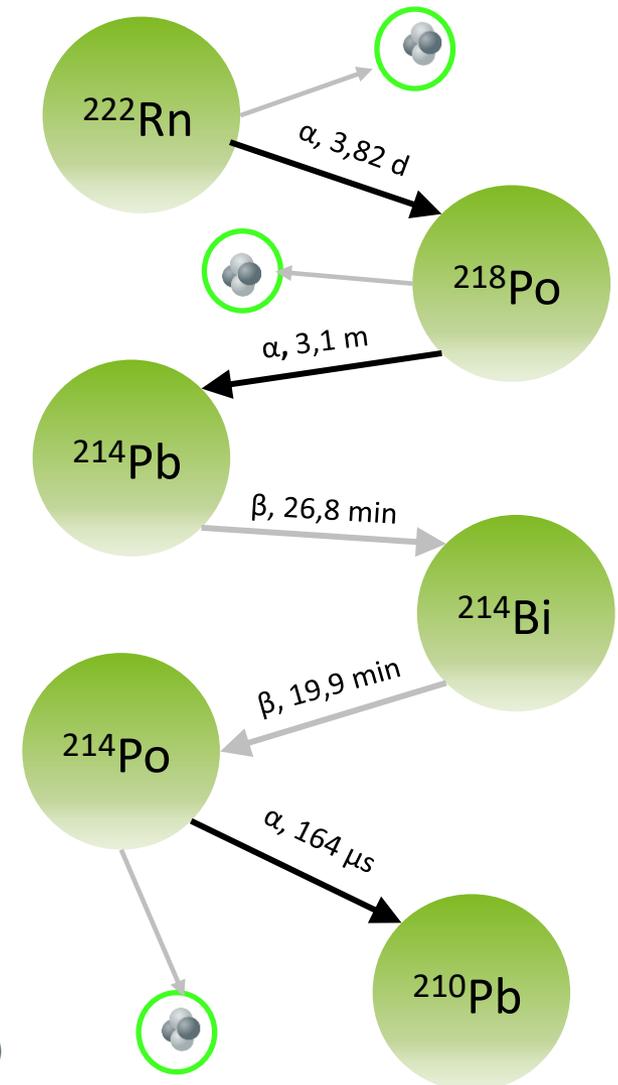
(Neznal et al., 2004)



www.bfs.de

Radon Messtechnik

- **Messung** der α -Strahlung aus Zerfallsereignissen
- Jedem α -Zerfall aus Radon folgen 2 weitere α -Zerfälle
→ **3 α -Teilchen pro Radonzerfall**
- **Detektion** der α -Teilchen mit Szintillatoren, Kernspurdosimetern, Halbleiterdetektoren, **Ionisationskammern...**
- Zerfallsereignisse pro Zeit (Aktivität) proportional zur Radonkonzentration
→ **Angabe als Aktivitätskonzentration: Bq/m³**
- Voraussetzung: Keine anderen α -Strahler in Probe
→ **Abtrennung von Folgeprodukten und ²²⁰Rn (Thoron)**



Radonmonitor Alphaguard (Genitron / Saphymo / Bertin)

PQ2000PRO



DF2000



<https://www.bertin-instruments.com>

Detektionsprinzip

Gepulste Ionisationskammer, 0,62 L, 3-D Alpha-Spektroskopie

Messbereich

2 – 2,000,000 Bq/m³

Betriebsmodi

Diffusionsbetrieb, Durchflussbetrieb (mit Folgeproduktfilter)

Zeitauflösung

1 min, 10 min, 1 h

Thorondiskriminierung

zeitliche Verzögerung vor Detektion

Pumpe

extern

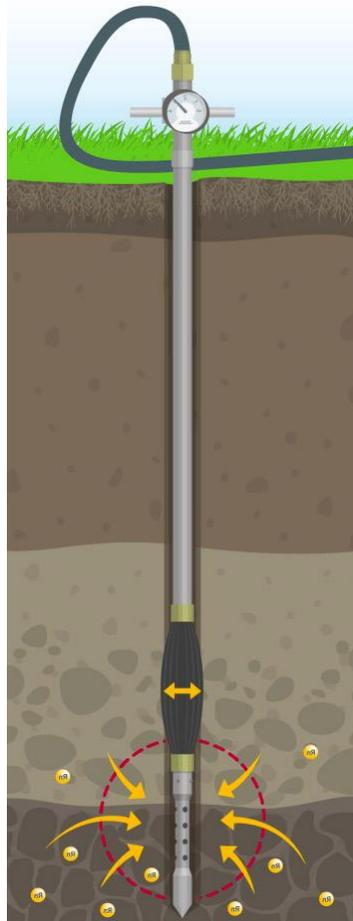
intern, 0,5 – 2 l/min kont

Packersonde (Bonner Sonde)

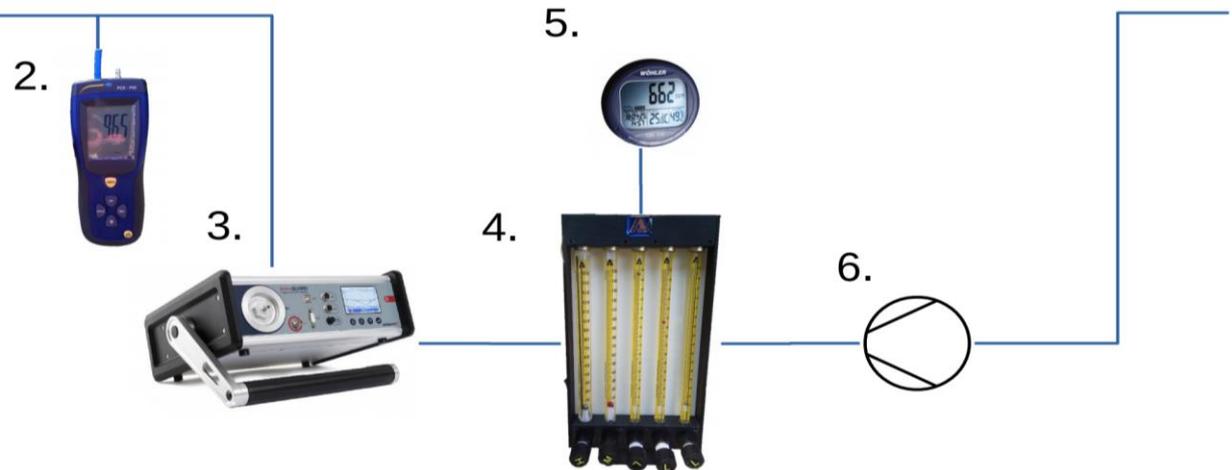


conduo.de

Messung der Bodenluft

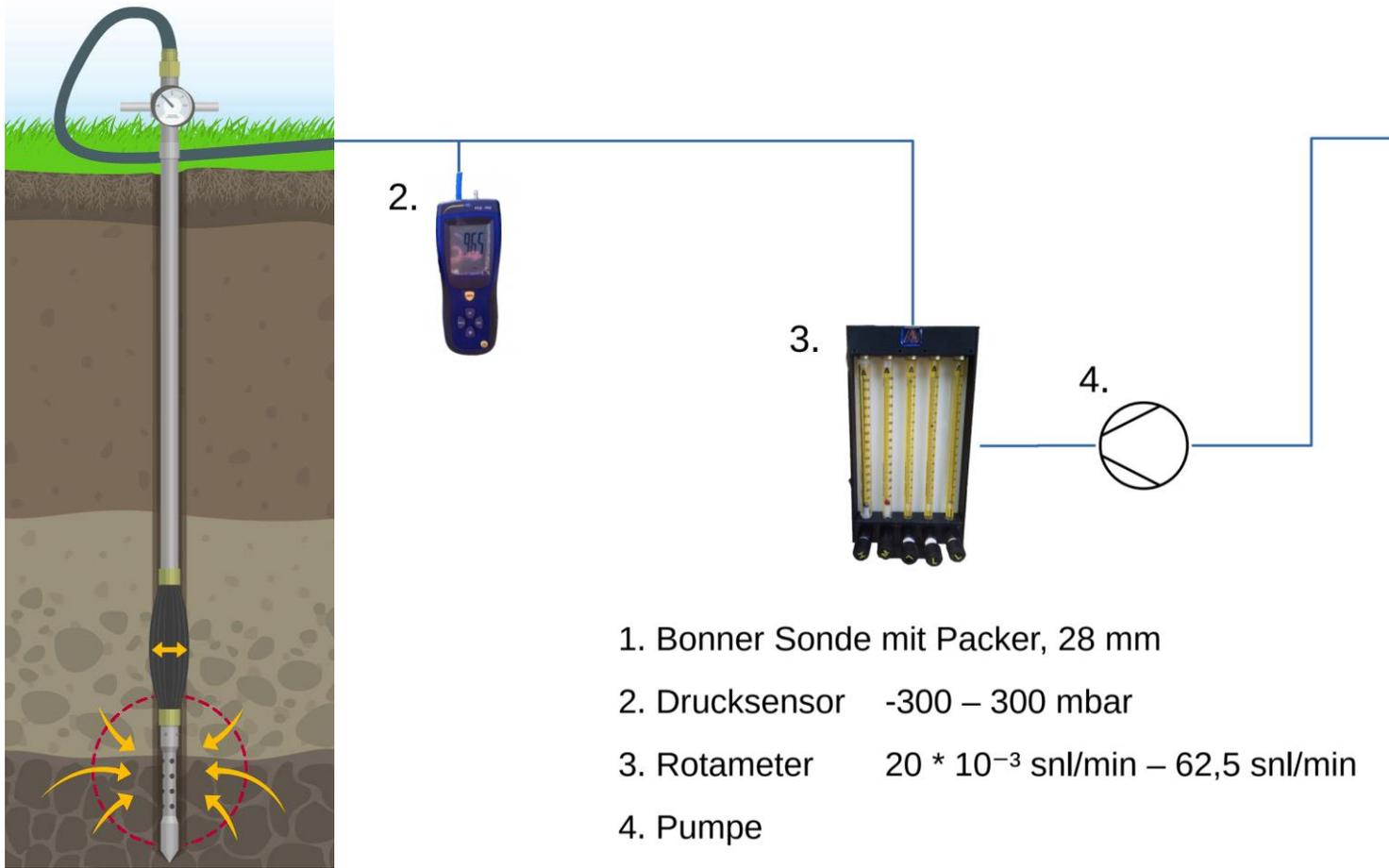


conduo.de



1. Bonner Sonde mit Packer, 28 mm
2. Drucksensor -300 – 300 mbar
3. Alphaguard 2 – 2 000 000 Bq/m³
4. Rotameter 20 * 10⁻³ – 62,5 snl/min
5. CO₂-Sensor 400 – 10 000 ppm
6. Pumpe Verdünnungsluft CO₂-Sensor

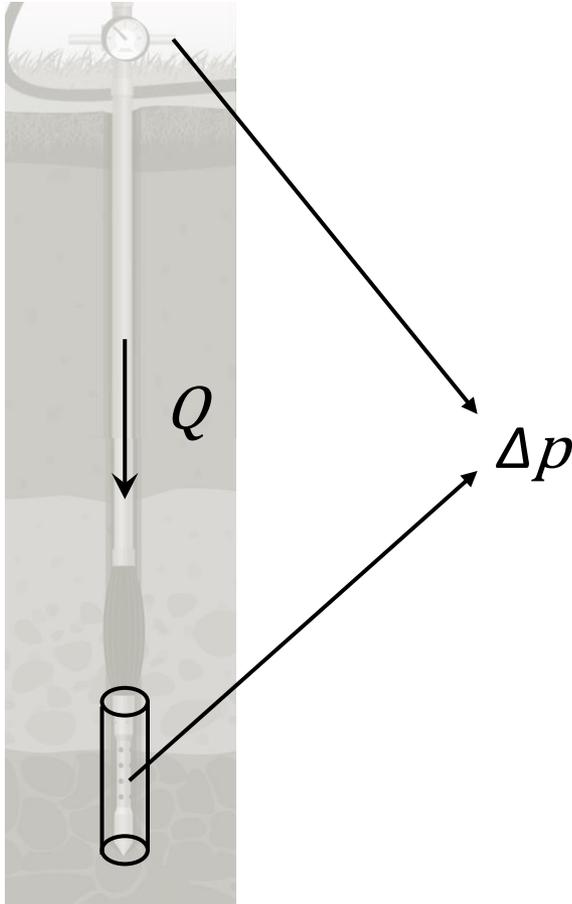
In situ Messung Permeabilität



conduo.de

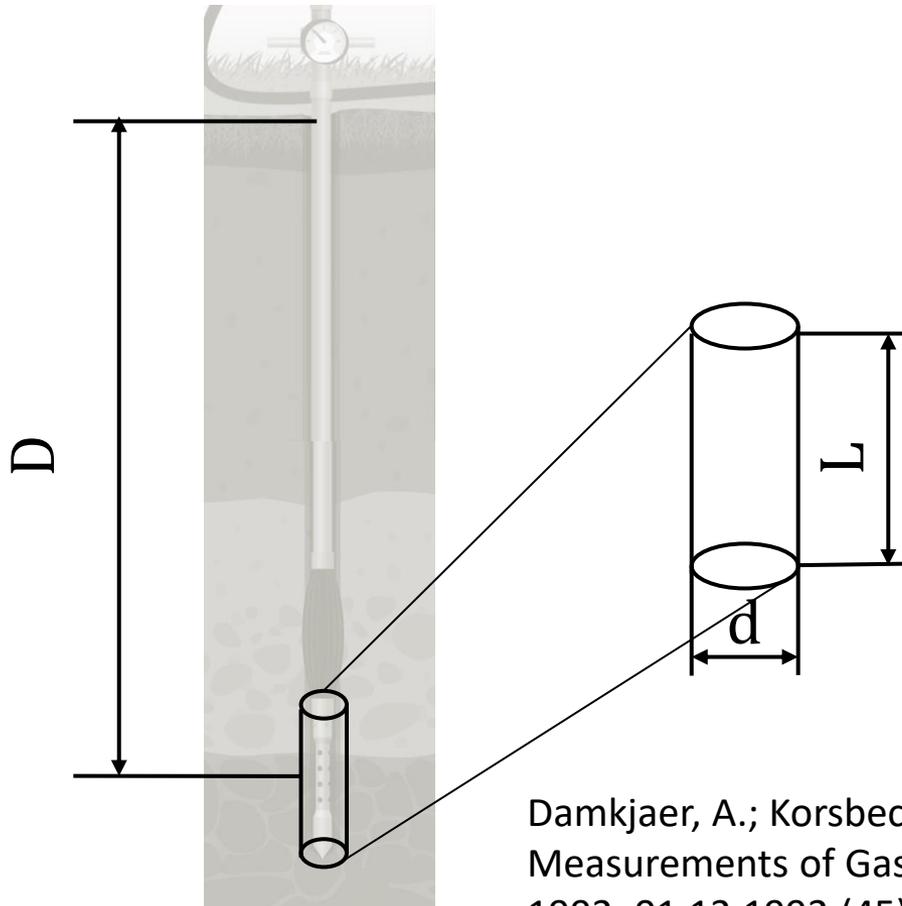
1. Bonner Sonde mit Packer, 28 mm
2. Drucksensor -300 – 300 mbar
3. Rotameter $20 \cdot 10^{-3}$ snl/min – 62,5 snl/min
4. Pumpe

In situ Messung Permeabilität



$$k = \frac{Q * \mu}{F * \Delta p}$$

In situ Messung Permeabilität



$$k = \frac{Q * \mu}{F * \Delta p}$$

$$F = \frac{2 * \pi * L}{\ln\left(\frac{2 * L}{d} \sqrt{\frac{4 * D - L}{4 * D + L}}\right)}$$

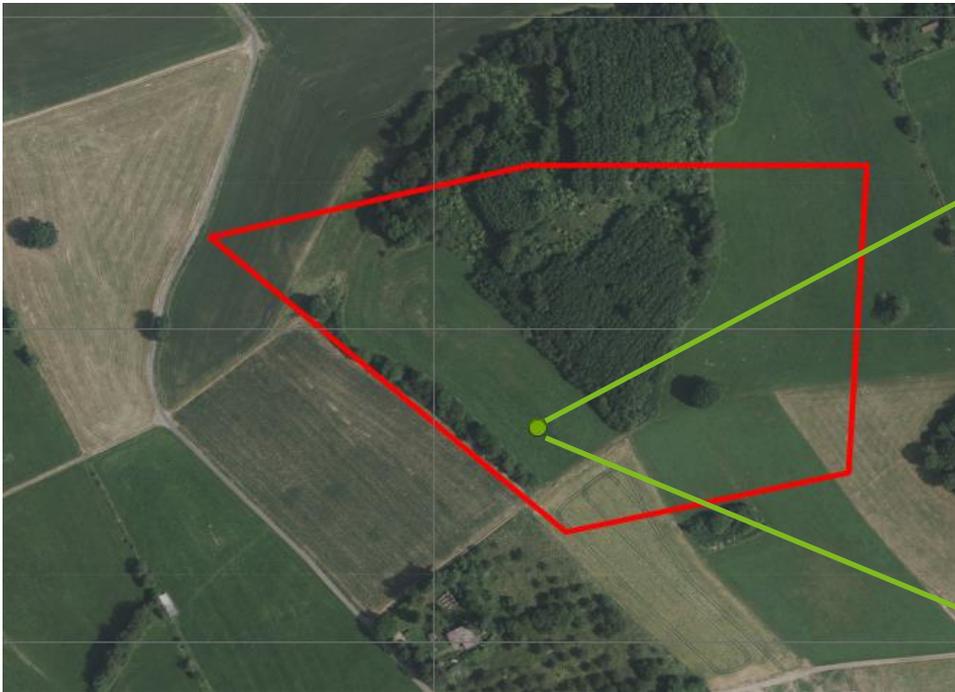
Damkjaer, A.; Korsbech, U. (1992): A Small-Diameter Probe for In Situ Measurements of Gas Permeability of Soils. In: Radiat Prot Dosimetry 1992, 01.12.1992 (45), S. 85–89

Messequipment im Feldeinsatz

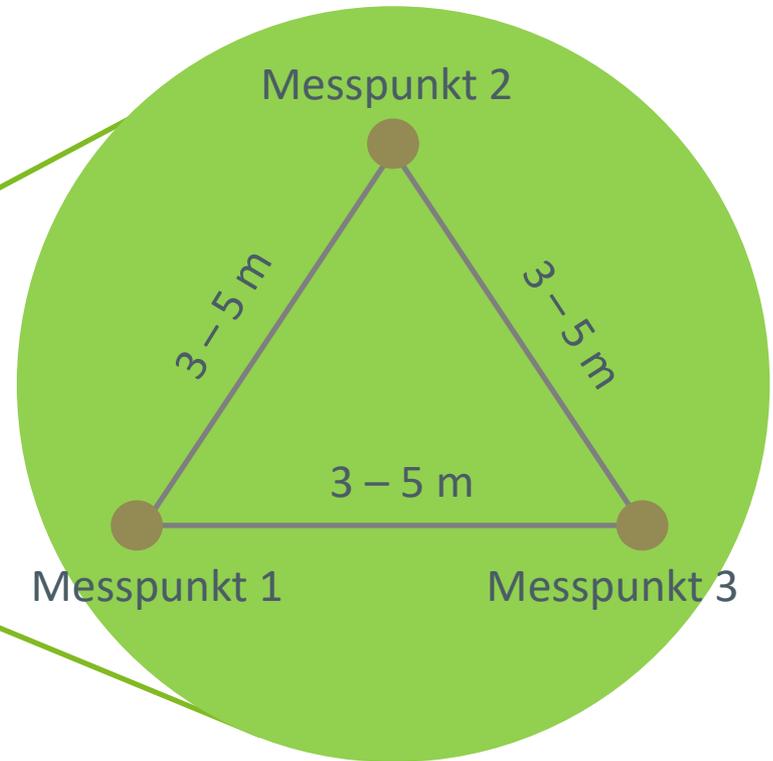


Festlegung der Messpunkte

Messgebiet:



Messort:



Messprogramm

- Pro Messort **3 Messpunkte** im Dreieck, **Abstand 3 – 5 m**
- Probennahme aus **1 m Tiefe**
- **Packersonde** zur Abdichtung des Bohrloches gegen Atmosphäre
- **Aktive Probennahme**, Bodenluft wird angesaugt
- Kontinuierliche Messung der Proben mit **aktivem Detektor**
- Messpunkt mit der **höchsten Aktivitätskonzentration ist repräsentativ** für Messort
- **Permeabilitätsmessung in situ** im jeweiligen Bohrloch

Messprogramm - Messdaten

Daten für Radonpotential:

- Radonaktivitätskonzentration je Messpunkt
- Permeabilität je Messpunkt
- Koordinaten des Messortes

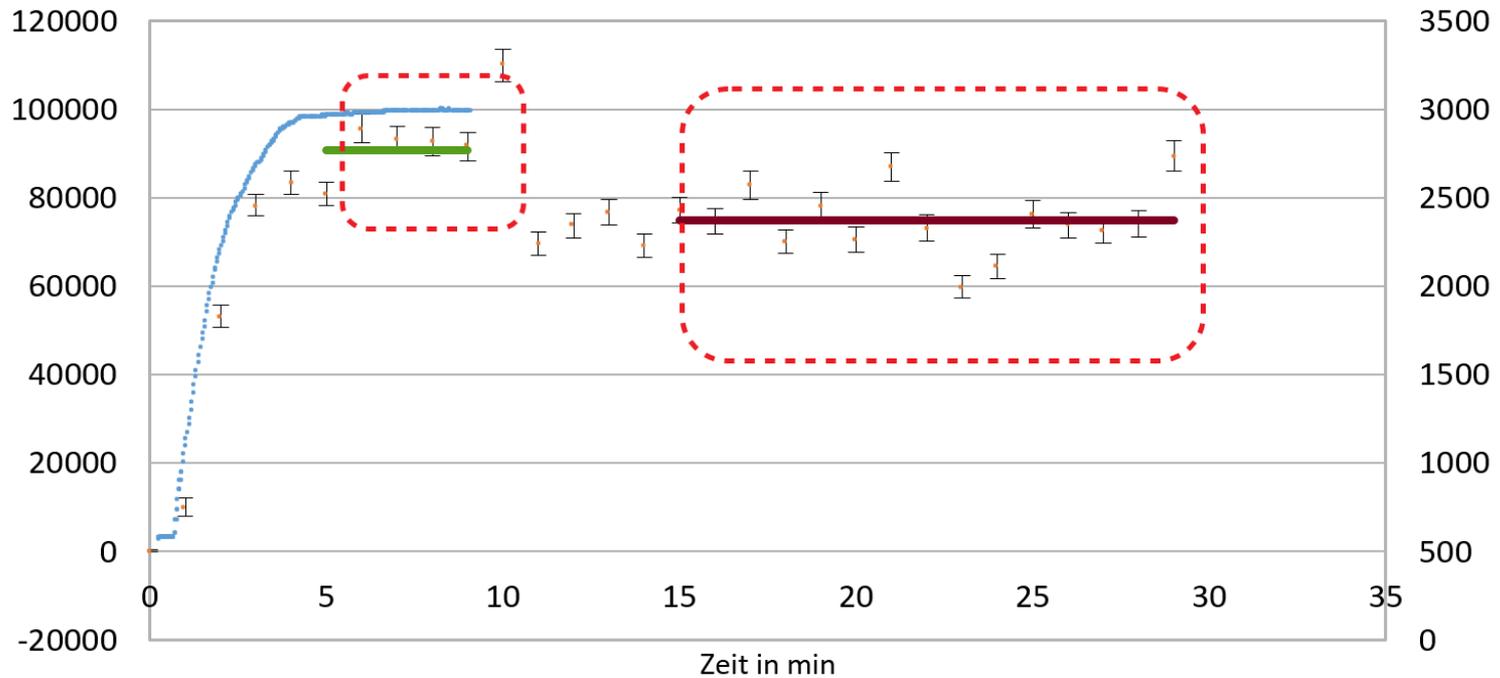
Zusätzlich:

- Luftdruck, Temperatur
- Kontinuierliche Messung der CO₂-Konzentration in der Bodenluftprobe, Qualitätssicherung
- Entnahme von Bohrkernen für Bodenansprache und weitere Untersuchungen
- Fotos vom Messort, Informationen zur Geländenutzung



Ergebnisse Bodenluftmessung

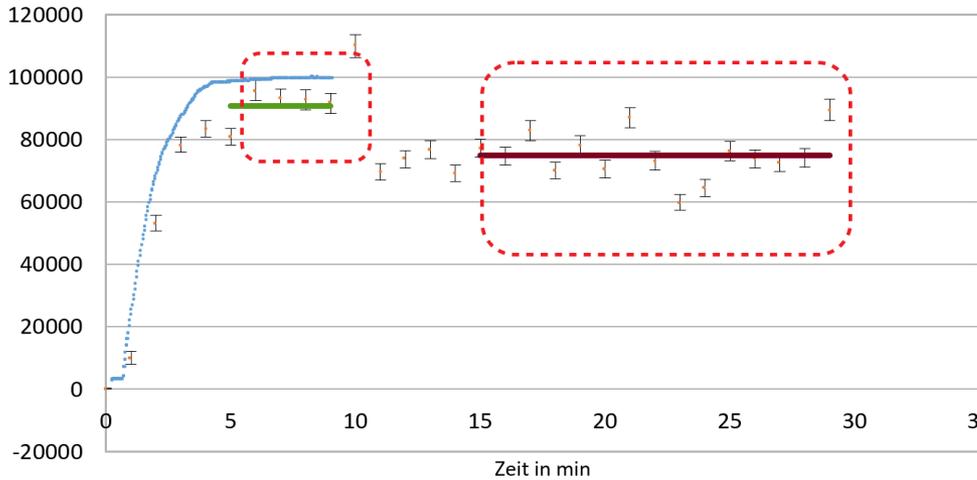
LDK-RS-15



- Rn222(Bq/m³)
- Rn(220+222) (Bq/m³) Mittelwert
- Rn(220+222) (Bq/m³) Mittelwert
- Anzeige CO2 in ppm

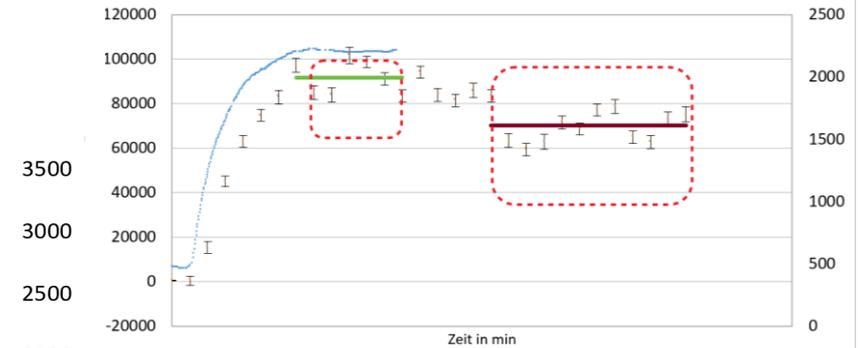
Ergebnisse Bodenluftmessung

LDK-RS-15

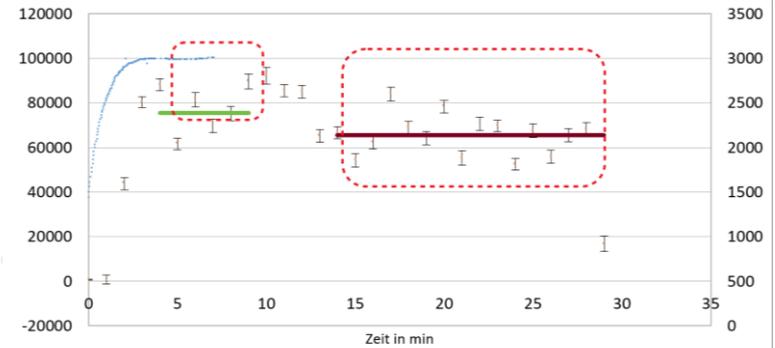


• Rn222(Bq/m3) — Rn(220+222) (Bq/m³) Mittelwert
— Rn(220+222) (Bq/m³) Mittelwert • Anzeige CO2 in ppm

Messpunkt 1



Messpunkt 2



Messpunkt 3

Variabilität in Messwerten am Messort

MKK-BSS-15:

Radonaktivitätskonzentration Ca in kB	Permeabilität k in m ²
38,9	4,4 * 10 ⁻¹³
14,9	9,2 * 10 ⁻¹⁴
2,1	4,6 * 10 ⁻¹²

HP-KR-09:

Radonaktivitätskonzentration Ca in kB	Permeabilität k in m ²
4,4	5,6 * 10 ⁻¹⁵
219	2,2 * 10 ⁻¹¹
180	8,6 * 10 ⁻¹⁵



Status der Messkampagne

560 Messorte in 22 Landkreisen gemessen

- Lahn-Dill (37/38)
- Hochtaunus (16/16)
- Hersfeld-Rotenburg (40/40)
- Limburg-Weilburg (26/26)
- Vogelsberg (48/54)
- Schwalm-Eder (56/56)
- Marburg Biedenkopf (46/46)
- Rheingau Taunus (28/29)
- Wetterau (37/38)
- Werra Meisner (34/36)
- Main Kinzig Kreis (50/51)
- Kreisfreie Stadt Offenbach (2/2)
- Landkreis Offenbach (13/13)
- Darmstadt Dieburg (21/21)
- Bergstraße (25/26)
- Groß Gerau (14/16)
- Waldeck Frankenberg (25/29)
- Kreisfreie Stadt Kassel (2/4)
- Frankfurt (9/9)
- Kreisfrei Stadt Darmstadt (5/5)
- Wiesbaden (7/7)
- Odenwaldkreis (13/17)

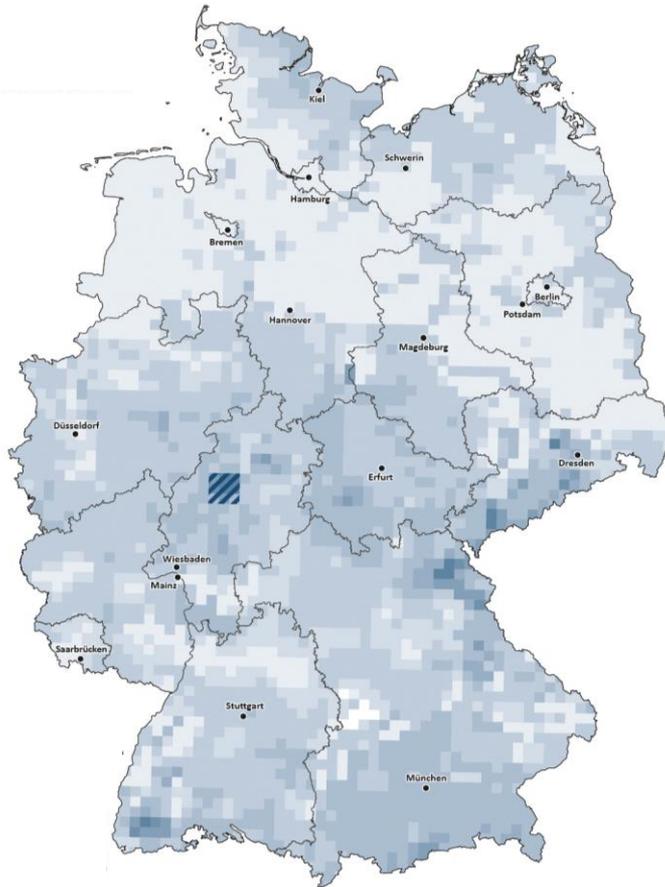
Ca. 900 Bohrkerne zur weiteren Analyse beim HLNUG

Historie

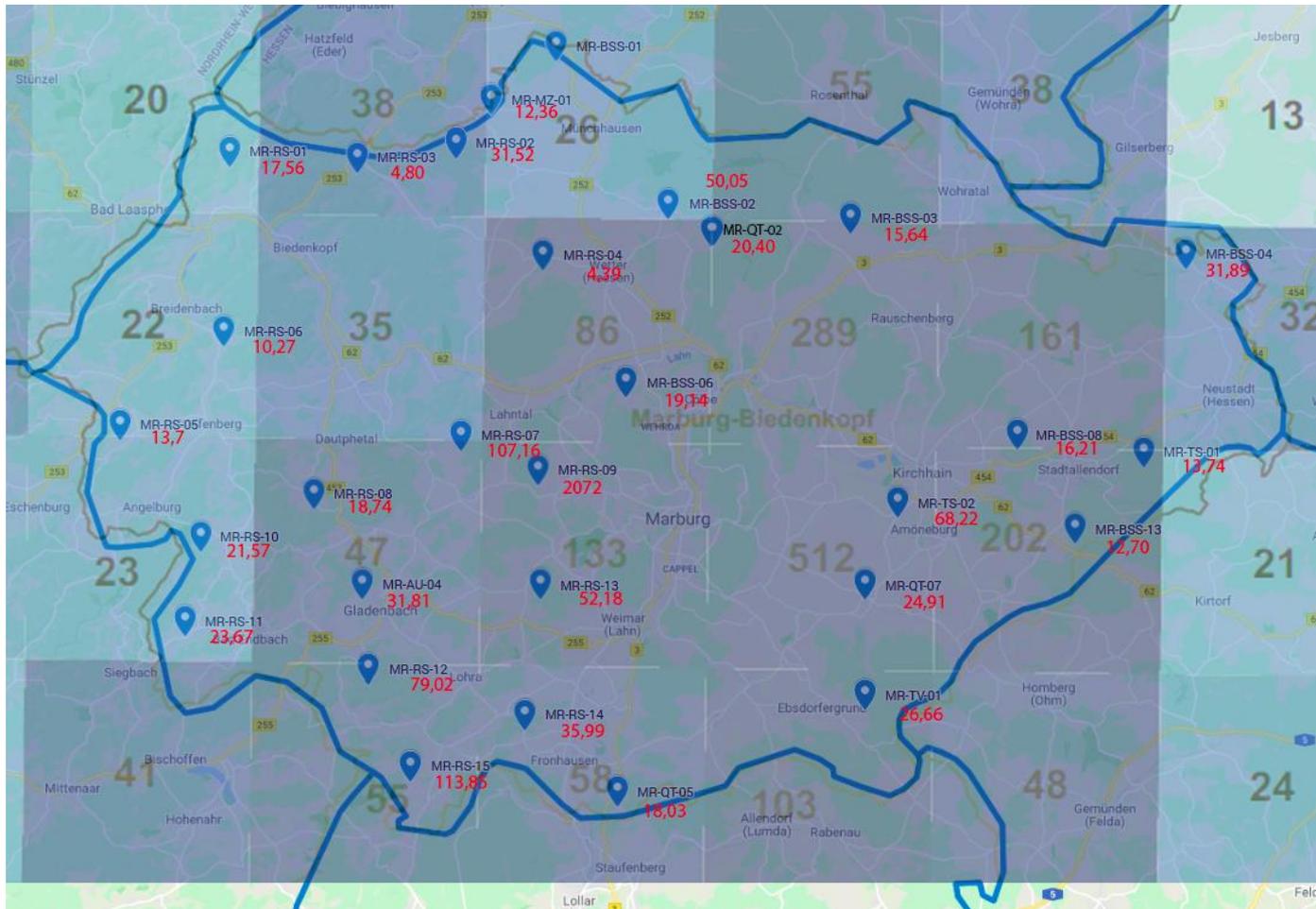
- Start der Messkampagne, Kick Off Meeting August 2018
- Datenübermittlung an BfS, Januar 2019
- Datenübermittlung an BfS, März 2020
- Datenübermittlung an BfS, Juni 2020
(Stichtag für Aktualisierung der Karte für das Geogene Radonpotential)
- Datenübermittlung an BfS, Februar 2021
- Datenübermittlung an BfS, Juli 2021
- Datenübermittlung an BfS, Februar 2022



Aktualisierung Radonpotentialkarte 2020



Hohes Radonpotential im LK Marburg-Biedenkopf



Hohes Radonpotential im LK Marburg-Biedenkopf

MR-TS-02

Radon

Ca(Rn) = **68,2 kB**

Permeabilität:

$k = 9,5 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2$

RP = 3217



→ **Extrem Hohes Radonpotential resultiert aus Permeabilität**

Geogenes Radonpotential

Grenzen der Aussagefähigkeit

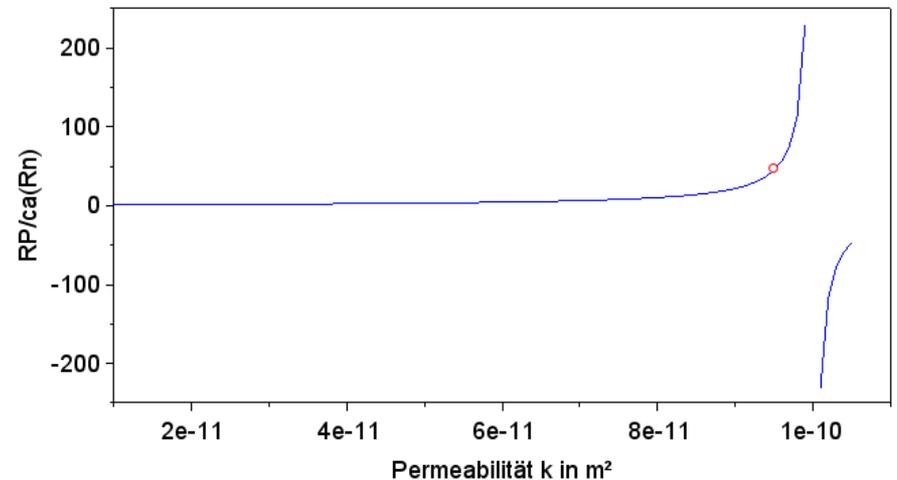
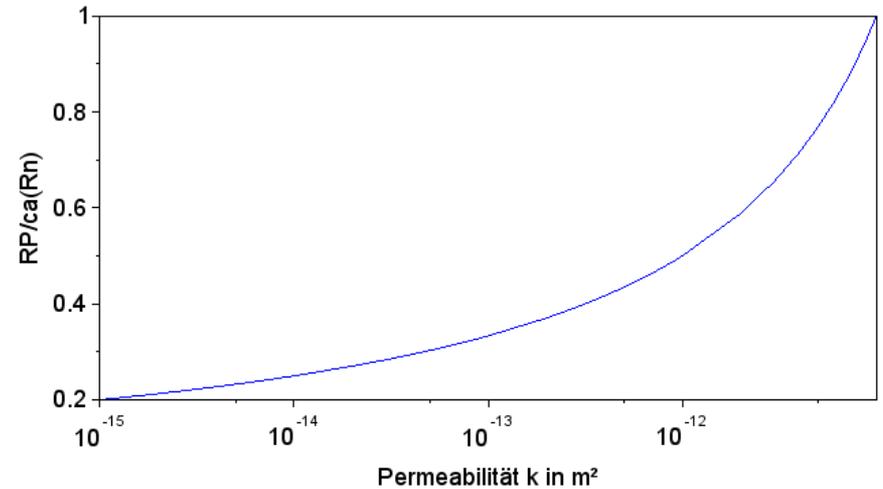
$$RP := c_a(Rn) * \frac{1}{(-\log_{10}(k) - 10)}$$

→ Permeabilitäten zwischen

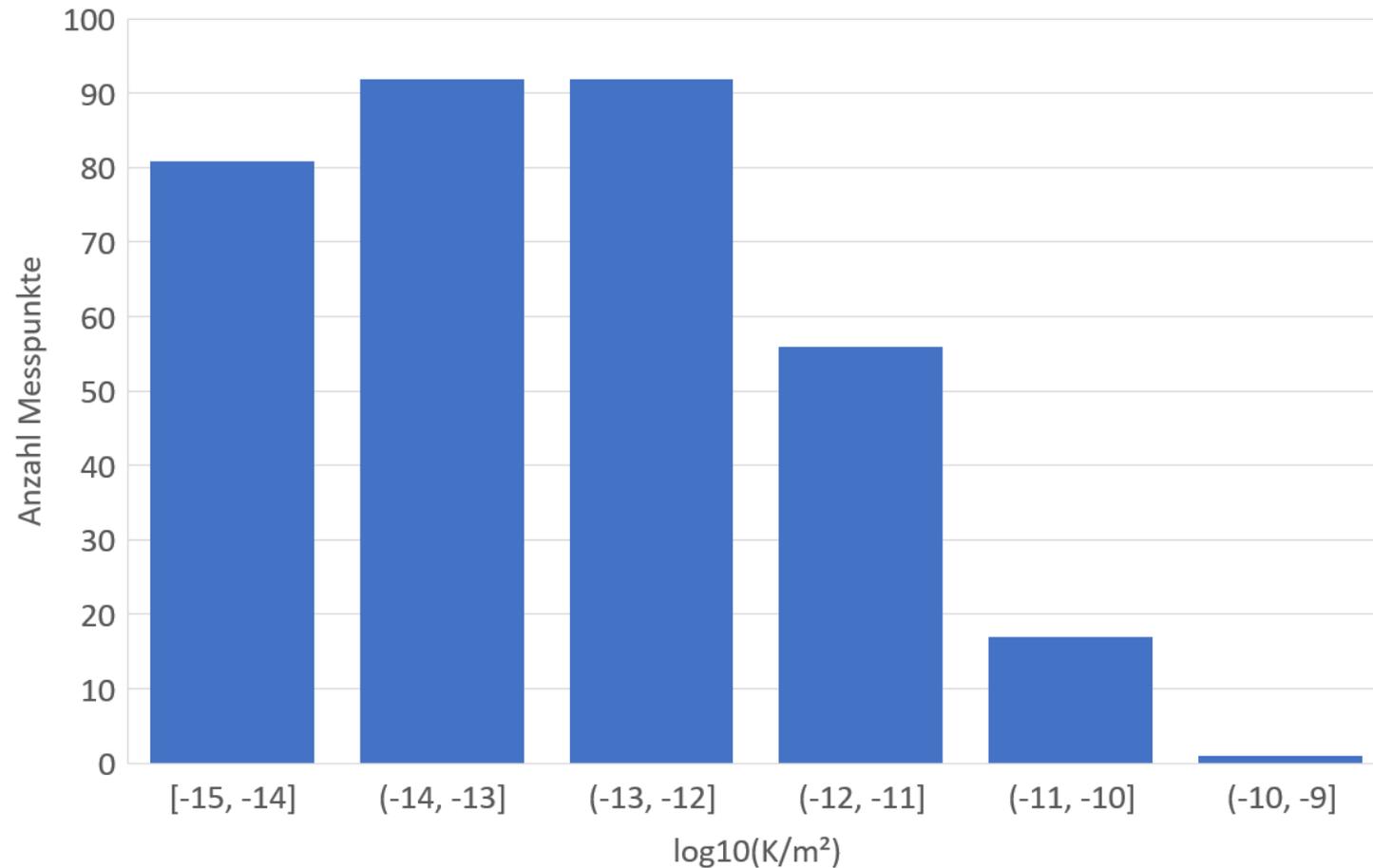
$1 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2$ und $1 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2$ führen zu

höheren Werten für RP gegenüber

$\text{Ca}(\text{Rn})/\text{kBq}$



Verteilung der Permeabilität des Bodens auf Messorte



Intrinsische Permeabilität verschiedener Bodenarten

$-\log_{10} K(\text{cm/s})$	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Permeability	<i>Pervious</i>			<i>Semi-pervious</i>					<i>Impervious</i>						
Aquifer	<i>Good</i>			<i>Poor</i>					<i>None</i>						
Soils	<i>Clean gravel</i>	<i>Clean sand or + gravel</i>			<i>Very fine sand, silt, loess, loam, solonetz</i>										
				<i>Peat</i>		<i>Stratified clay</i>			<i>Unweathered clay</i>						
Rocks				<i>Oil rocks</i>			<i>Sandstone</i>		<i>Good limestone, dolomite</i>		<i>Breccia, granite</i>				
Concrete (water/cement ratio by weight)								<i>Canal lining</i>			<i>1.0</i>	<i>0.8</i>	<i>0.7</i>	<i>0.6</i>	<i>0.5</i>
$-\log_{10} k(\text{cm}^2)$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
$-\log_{10} k[\text{m}^2]$	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	

Erweitert nach: **Physical Principles for percolation and Water Seepage**, Bear 1968, DOI:10.1016/0022-1694(70)90033-8

Was sagt Neznal?

The size of the measuring cavity in the soil must not be enlarged. It is recommended that the auxiliary limit for low permeability $k = 5.2 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2$ be used. When $k < 5.2 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2$ (the measuring time of the RADON-JOK permeameter is higher than 1200 s), the permeability need not be exactly measured. The resulting value for the summary of results will be $k < 5.2 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2$, and the resulting value for statistical evaluation is substituted by $k = 5.2 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2$.

As for the resistance of the equipment against the free flow of air, the limit for high permeability is $k = 1.8 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2$. When $k > 1.8 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2$ (measuring time of RADON-JOK permeameter is shorter than 6 s), the value for the summary of results will be $k > 1.8 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2$, and the resulting value for statistical evaluation is substituted by $k = 1.8 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2$.

Neznal, M. & Matolin, Milan & Barnet, I. & Jitka, Mikšová. (2004). **The new method for assessing the radon risk of building sites**. Prace Ceskeho Geologickeho Ustavu. 7-47.

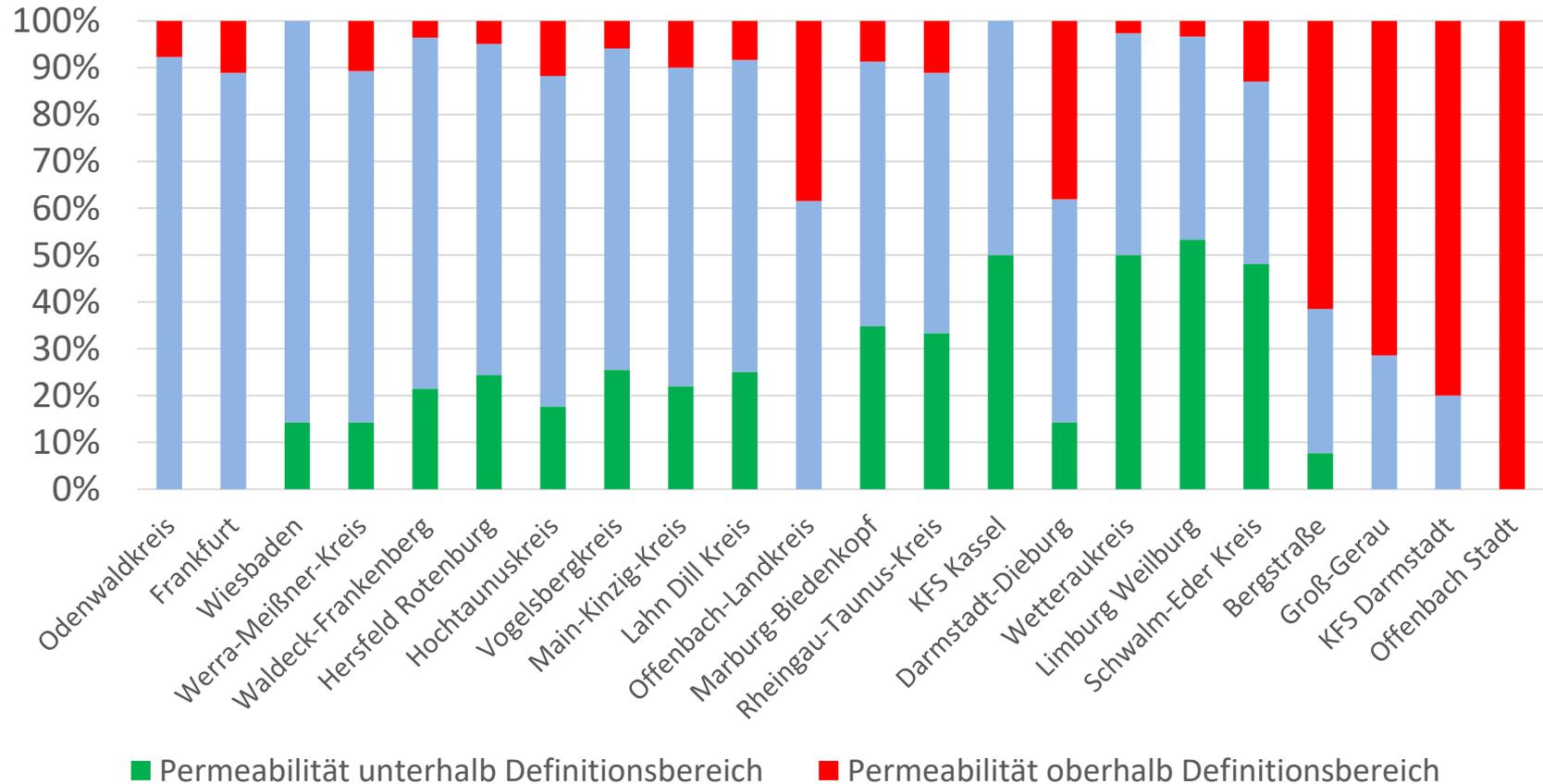
Geogenes Radon Potential – Grenzen des Definitionsbereiches

$-\log_{10} K(\text{cm/s})$	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Permeability			<i>Pervious</i>			<i>Semi-pervious</i>			<i>Impervious</i>						
Aquifer			<i>Good</i>			<i>Poor</i>			<i>None</i>						
Soils		<i>Clean gravel</i>	<i>Clean sand or + gravel</i>			<i>Very fine sand, silt, loess, loam, solonetz</i>									
					<i>Peat</i>	<i>Stratified clay</i>		<i>Unweathered clay</i>							
Rocks					<i>Oil rocks</i>			<i>Sandstone</i>		<i>Good limestone, dolomite</i>		<i>Breccia, granite</i>			
Concrete (water/cement ratio by weight)								<i>Conc. lining</i>			1.0	0.8	0.7	0.6	0.5
$-\log_{10} k(\text{cm}^2)$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
$-\log_{10} k[\text{m}^2]$	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	

Überschätzung des Geogenen Radonpotentials für Kies und Sandböden
 Unterschätzung für sehr bindige Böden

Erweitert nach: **Physical Principles for percolation and Water Seepage**, Bear 1968, DOI:10.1016/0022-1694(70)90033-8

Geogenes Radon Potential – Grenzen des Definitionsbereiches



Zusammenfassung

- Messergebnisse für 560 Messorte seit 2018
- Große Variabilität der Ergebnisse je Messort möglich
- Permeabilität ist wichtige Einflussgröße für Radonpotential
- Daten bis Juni 2020 in aktueller Radonpotentialkarte des BfS



→ Bisher kein Radonvorsorgegebiet in Hessen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

