

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

Ein Projekt der THM, des HMUKLV und des HLNUG

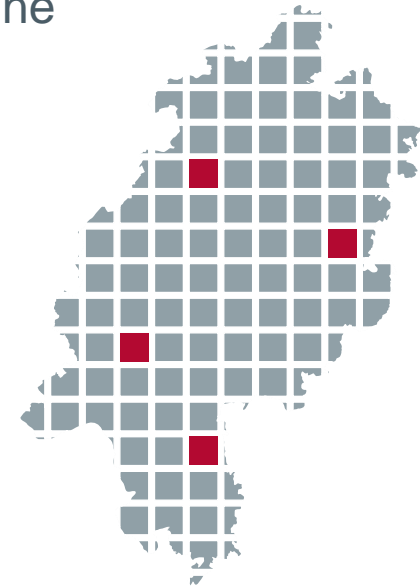


**Steffen Kerker**

Hessisches Radonzentrum HeRaZ

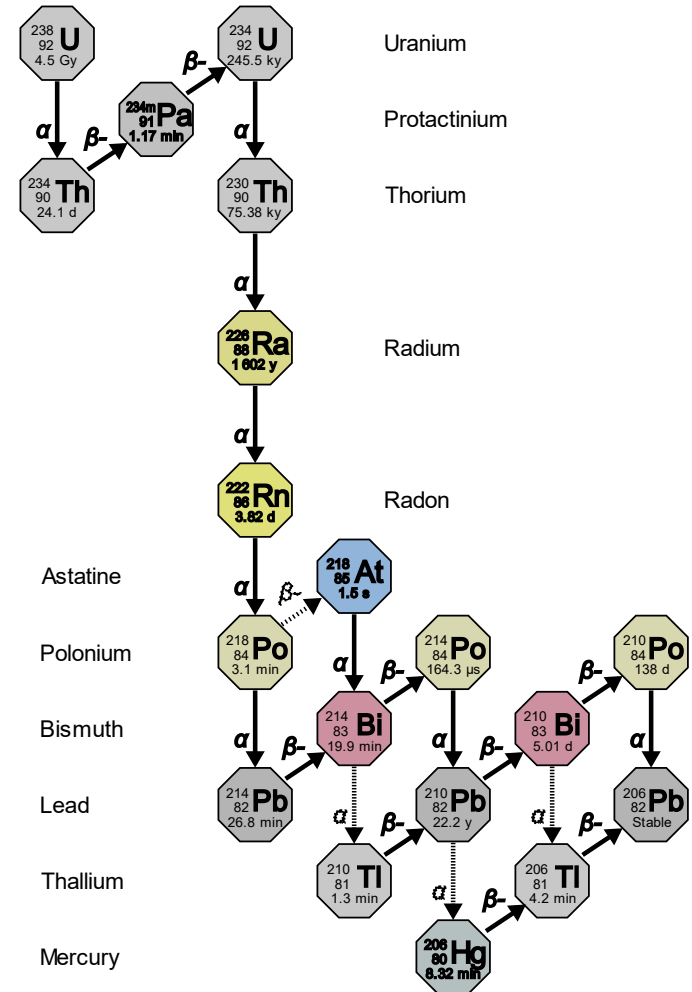
## Inhalt

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



# Radon

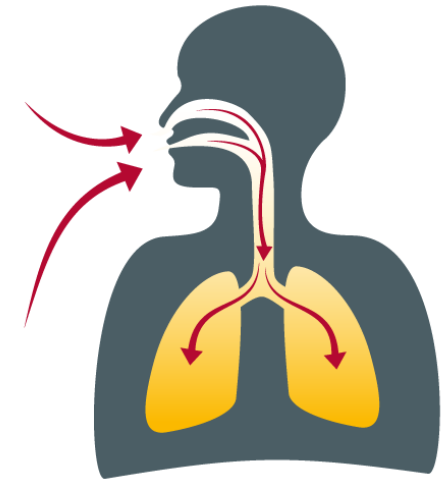
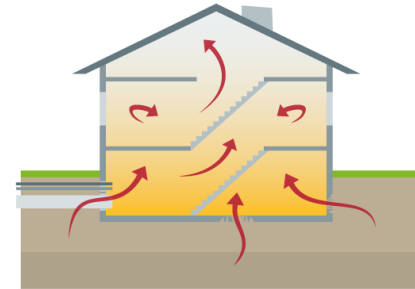
- Radioaktives Edelgas mit verschiedenen Isotopen
- Relevant in der Strahlenschutzpraxis:
  - $^{222}\text{Rn}$ , Radon (HWZ: 3,8 d)
  - $^{220}\text{Rn}$ , Thoron (HWZ: 56 s)
- Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) entsteht im Untergrund (Boden und Gestein) aus Radium ( $^{226}\text{Ra}$ ) in der Uran-Radium-Reihe



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

## Radon

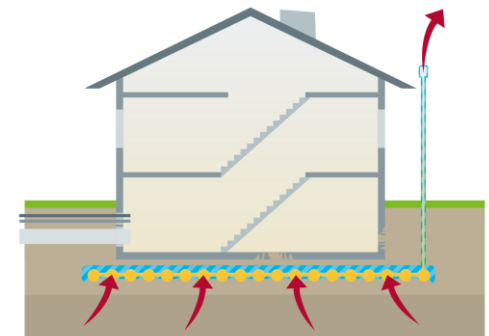
- Wird aus dem Untergrund in die Atmosphäre abgegeben (Exhalation)
- Gelangt durch Undichtigkeiten in Gebäude und kann sich dort anreichern
- Zerfällt unter Aussendung von  $\alpha$ -Strahlung zu radioaktiven Folgeprodukten  
→ Einatmen erhöht Lungenkrebsrisiko
- Größter Beitrag zur natürlichen Strahlenexposition 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/m<sup>3</sup> Jahresmittelwert
- Gebiete mit hoher Übertretungswahrscheinlichkeit des Referenzwertes werden Radonvorsorgegebiete
- Besondere Maßnahmen für Neubauten und Arbeitsplätze in Radonvorsorgegebieten
- Ausweisung auf Grundlage des geogenen Radonpotentials

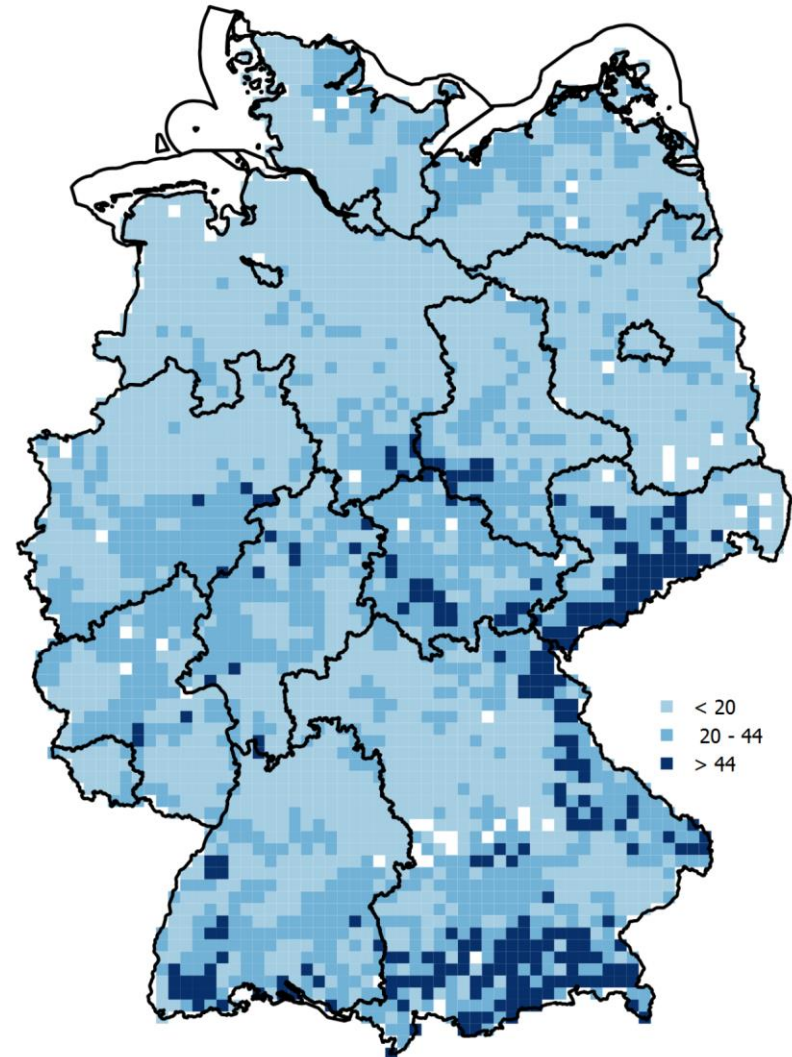


## Das Geogene Radonpotential

- 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

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

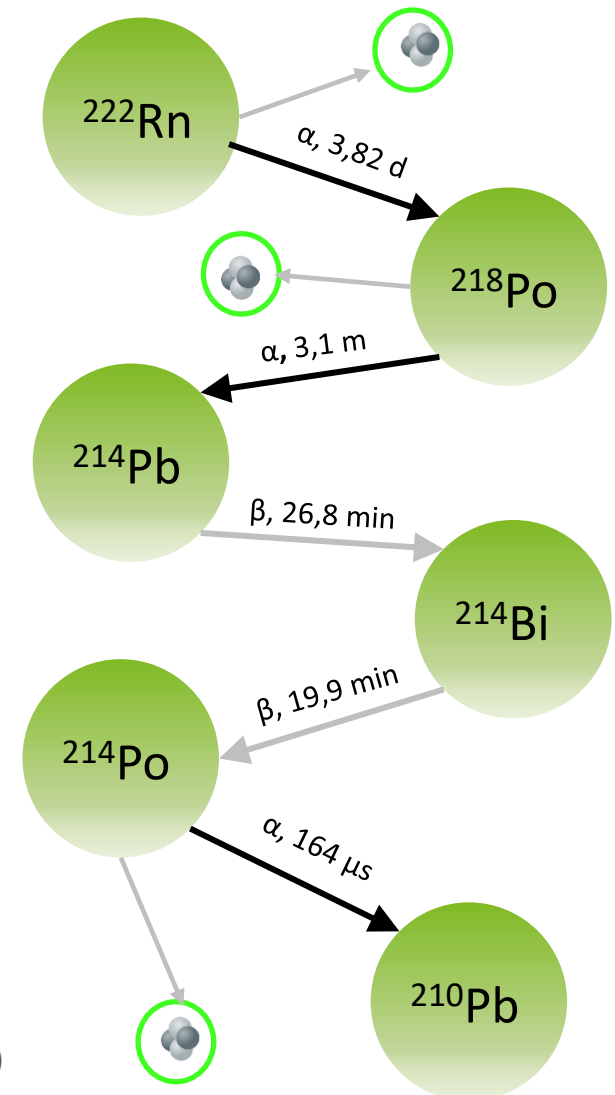
(Neznal et al., 2004)



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

## Radon Messtechnik

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

**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

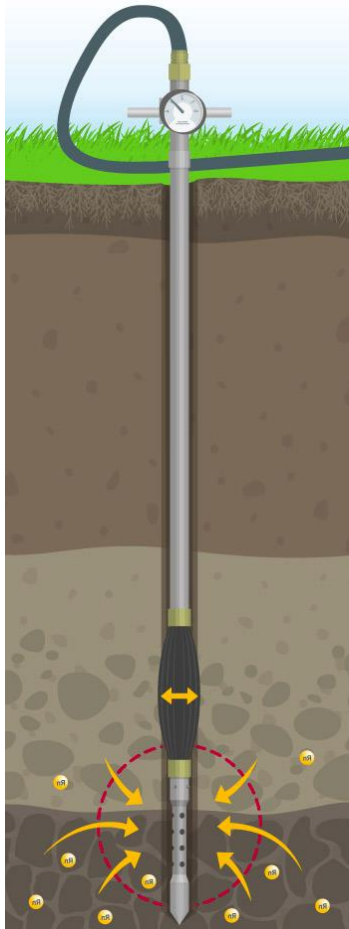


## Packersonde (Bonner Sonde)

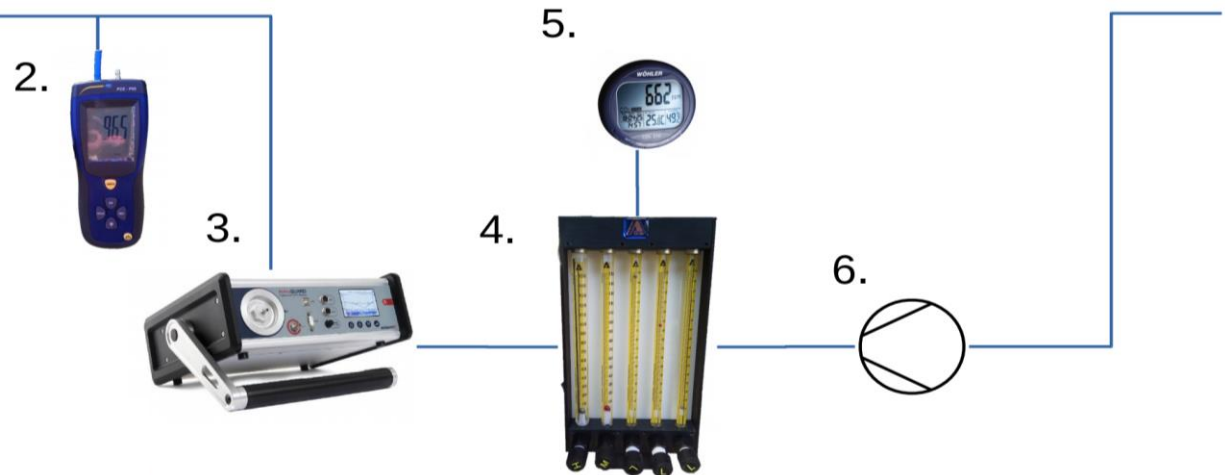


conduo.de

## Messung der Bodenluft



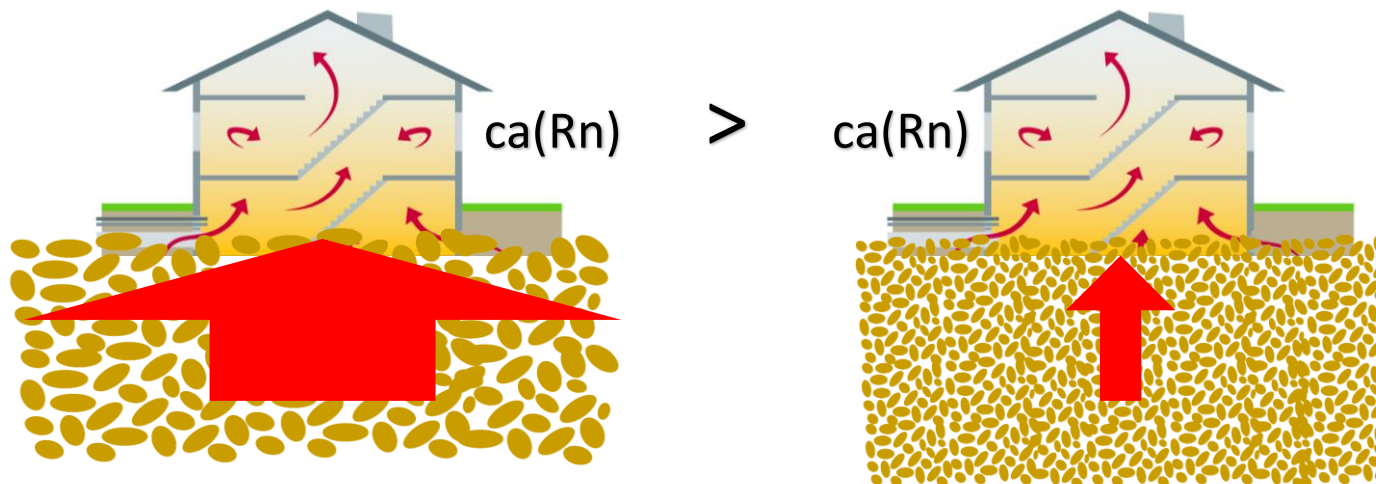
conduo.de



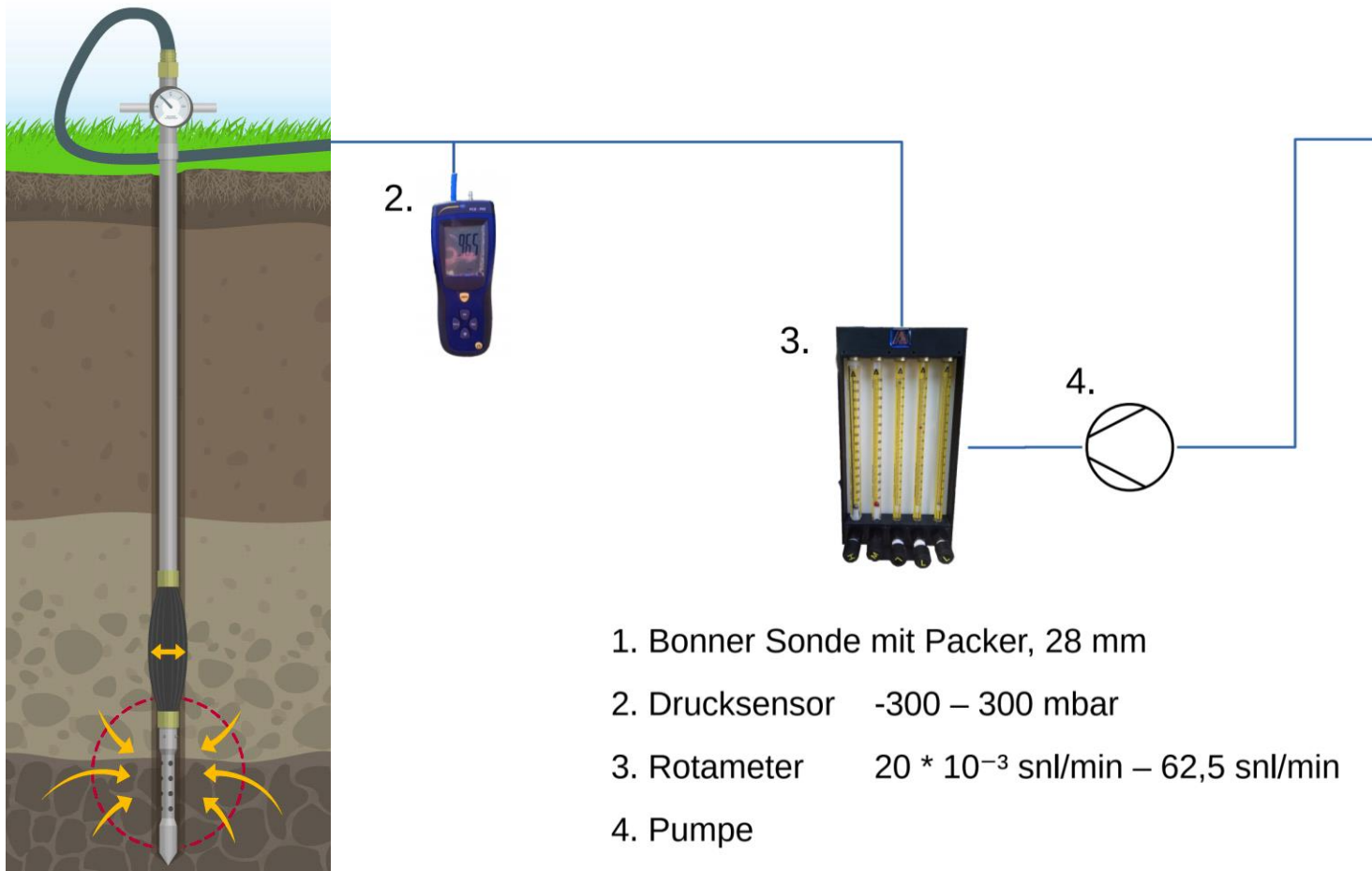
1. Bonner Sonde mit Packer, 28 mm
2. Drucksensor -300 – 300 mbar
3. Alphaguard 2 – 2 000 000 Bq/m<sup>3</sup>
4. Rotameter 20 \* 10<sup>-3</sup> – 62,5 snl/min
5. CO<sub>2</sub>-Sensor 400 – 10 000 ppm
6. Pumpe Verdünnungsluft CO<sub>2</sub>-Sensor

## Permeabilität $k$

- Maß für die Durchlässigkeit eines Haufwerks (z.B. Boden) für Fluide
- Bezogen auf das strömende Fluid (Gas, Flüssigkeit)
- Kehrwert des Widerstandes den ein strömendes Fluid erfährt
- Korreliert mit der Korn-/Porengröße eines Bodens
- Wesentlicher Parameter für die Radonmigration im Untergrund



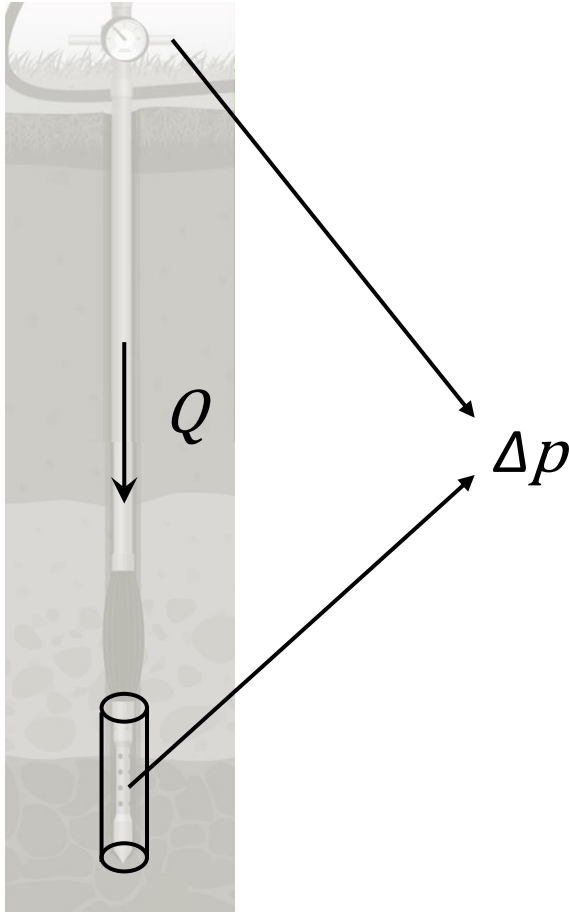
## In situ Messung Permeabilität



conduo.de

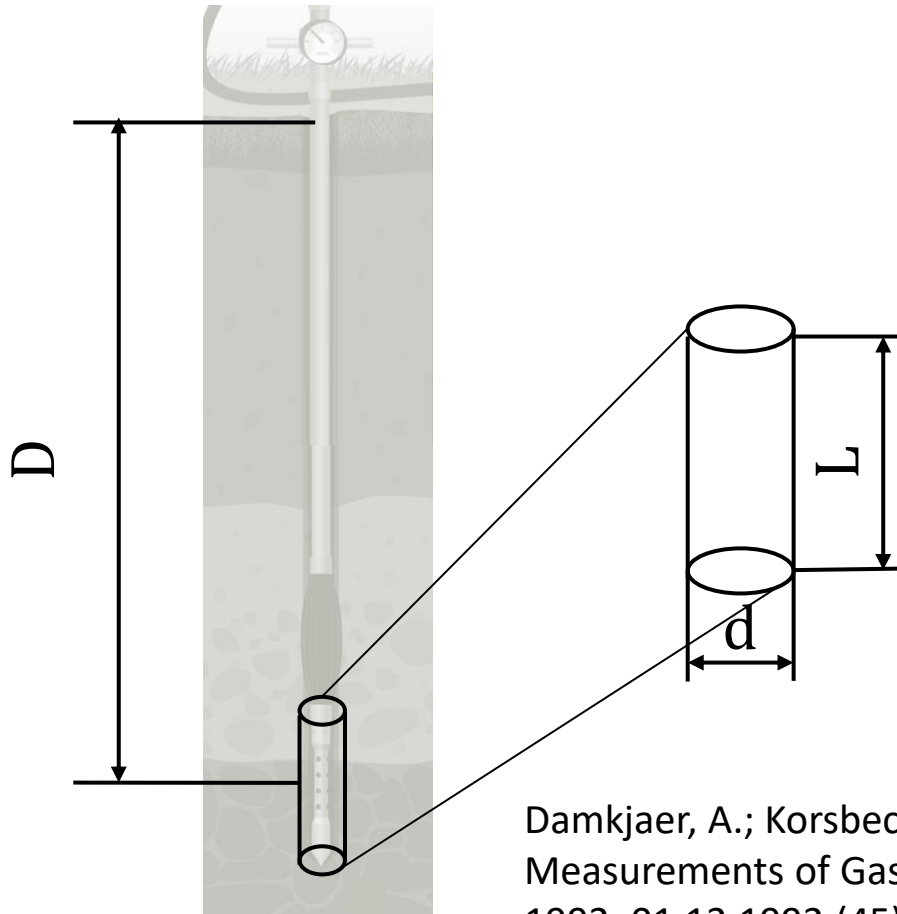
1. Bonner Sonde mit Packer, 28 mm
2. Drucksensor -300 – 300 mbar
3. Rotameter  $20 \cdot 10^{-3}$  snl/min – 62,5 snl/min
4. Pumpe

## In situ Messung Permeabilität



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

## In situ Messung Permeabilität



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

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

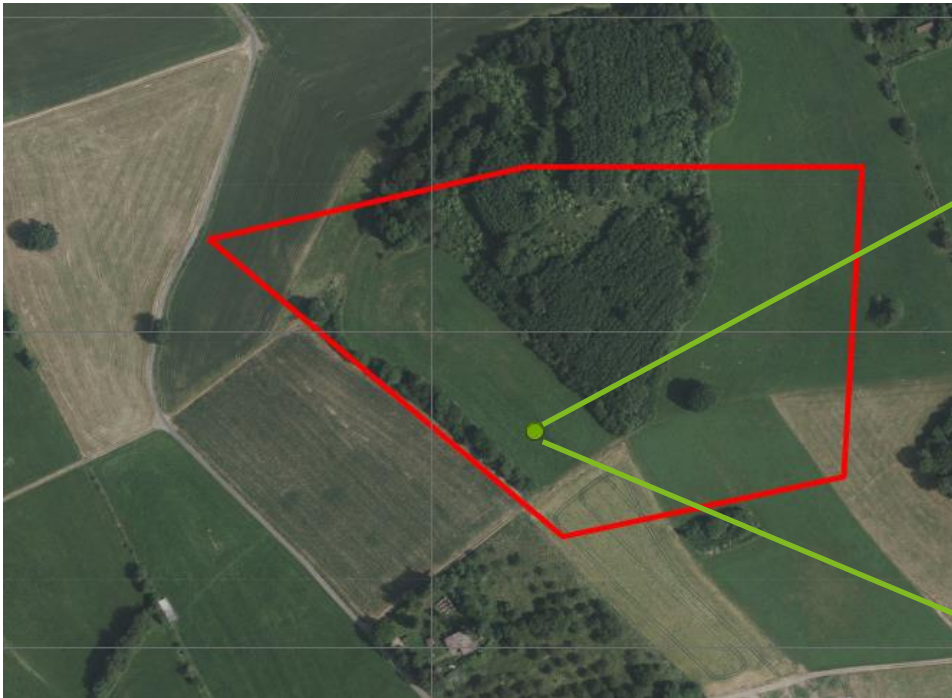
Damkjaer, A.; Korsbech, U. (1992): A Small-Diameter Probe for In Situ Measurements of Gas Permeability of Soils. In: Radiat Prot Dosimetry 1992, 01.12.1992 (45), S. 85–89

# Messequipment im Feldeinsatz

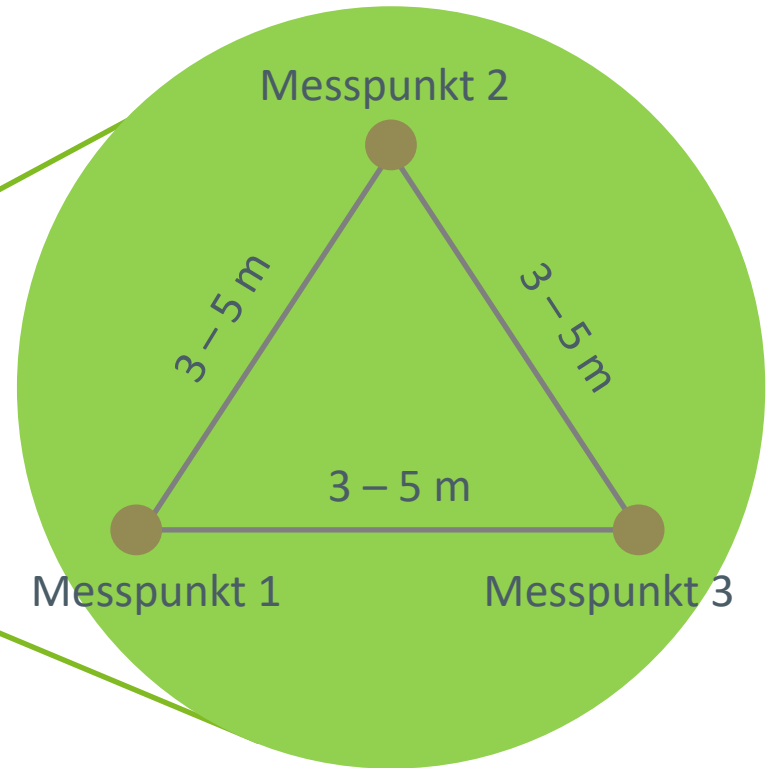


## Festlegung der Messpunkte

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

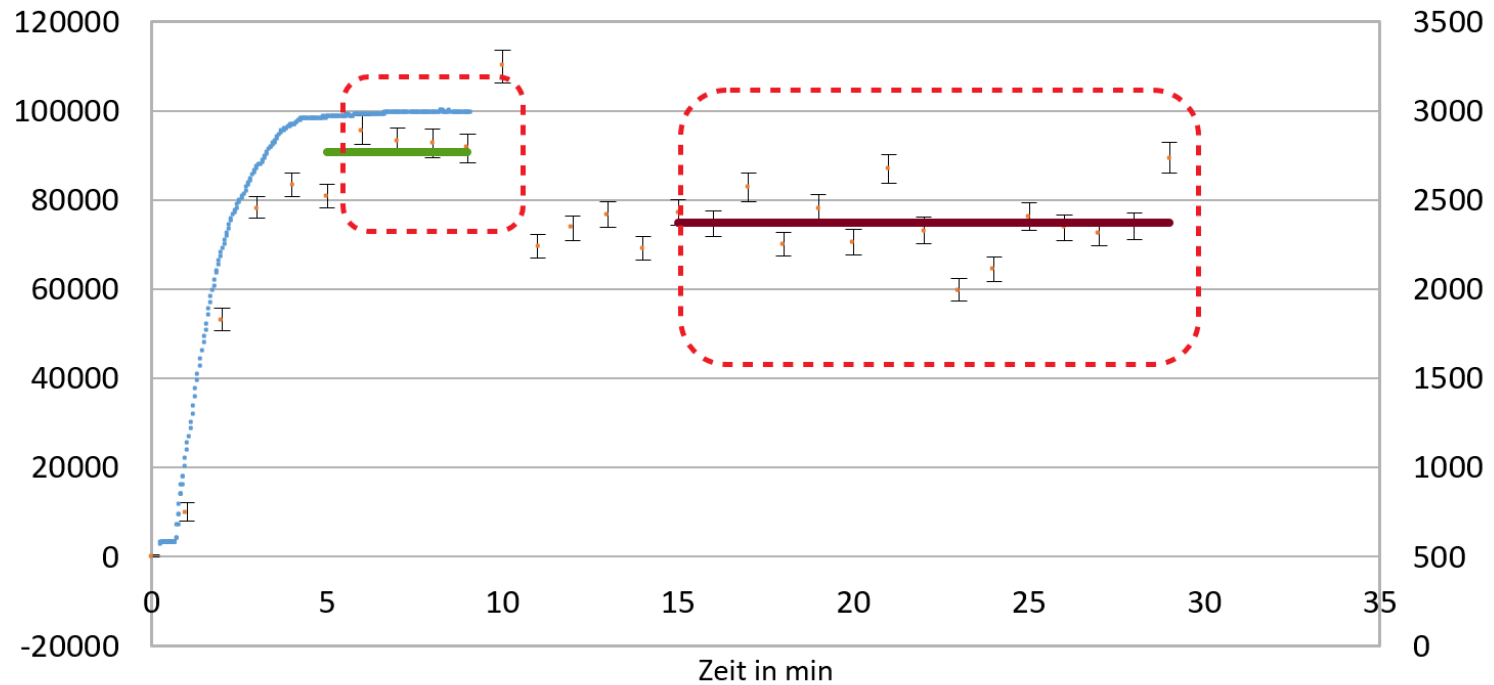
Zusätzlich:

- Luftdruck, Temperatur
- Kontinuierliche Messung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Bodenluftprobe, Qualitätssicherung
- Entnahme von Bohrkernen für Bodenansprache und weitere Untersuchungen
- Fotos vom Messort, Informationen zur Geländenutzung



# Ergebnisse Bodenluftmessung

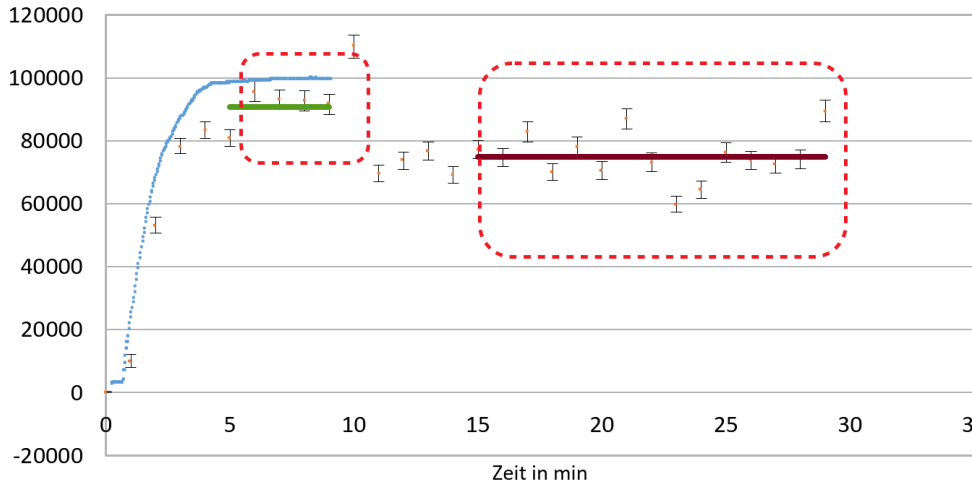
LDK-RS-15



- Rn222(Bq/m<sup>3</sup>)
- Rn(220+222) (Bq/m<sup>3</sup>) Mittelwert
- Rn(220+222) (Bq/m<sup>3</sup>) Mittelwert
- Anzeige CO2 in ppm

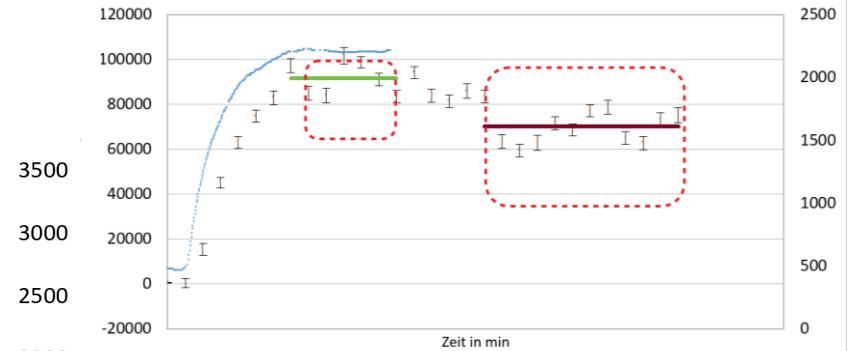
# Ergebnisse Bodenluftmessung

LDK-RS-15

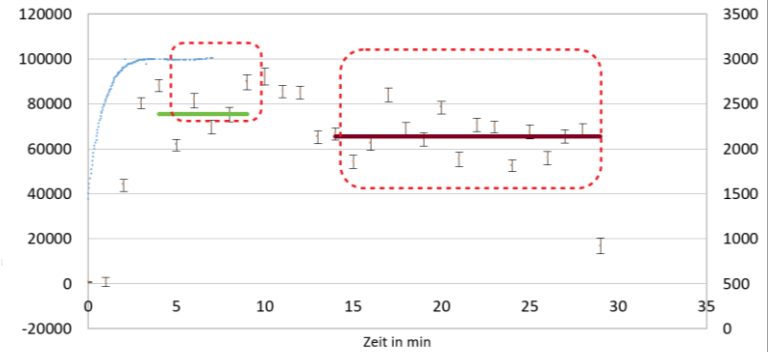


• Rn222 (Bq/m<sup>3</sup>)      — Rn(220+222) (Bq/m<sup>3</sup>) Mittelwert  
— Rn(220+222) (Bq/m<sup>3</sup>) Mittelwert      • Anzeige CO2 in ppm

Messpunkt 1



Messpunkt 2



Messpunkt 3

## Variabilität in Messwerten am Messort

### MKK-BSS-15:

Radonaktivitätskonzentration Ca in kB	Permeabilität k in m <sup>2</sup>
38,9	4,4 * 10 <sup>-13</sup>
14,9	9,2 * 10 <sup>-14</sup>
2,1	4,6 * 10 <sup>-12</sup>

### HP-KR-09:

Radonaktivitätskonzentration Ca in kB	Permeabilität k in m <sup>2</sup>
4,4	5,6 * 10 <sup>-15</sup>
219	2,2 * 10 <sup>-11</sup>
180	8,6 * 10 <sup>-15</sup>



## 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)

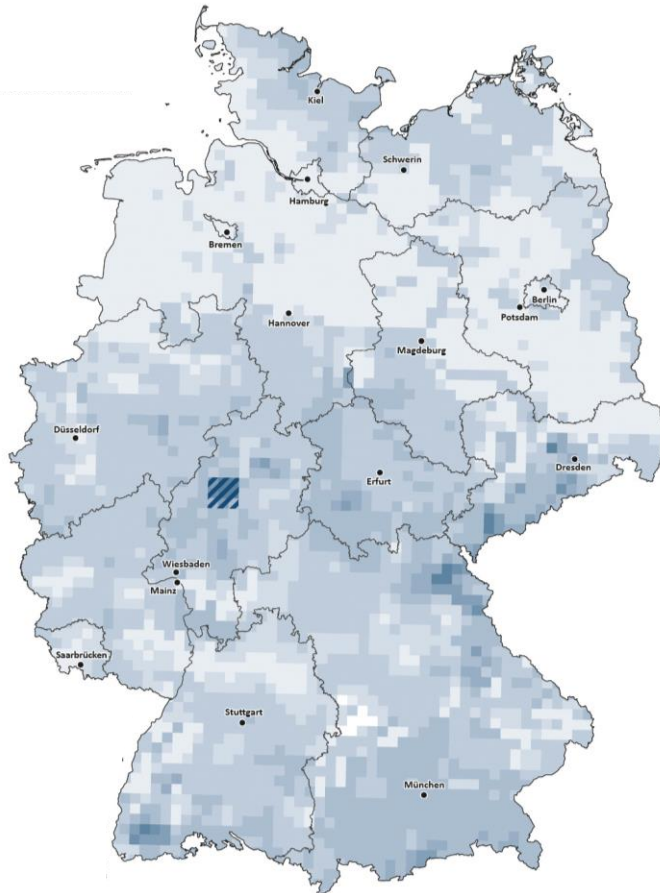
Ca. 900 Bohrkerne zur weiteren Analyse beim HLNUG

## 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

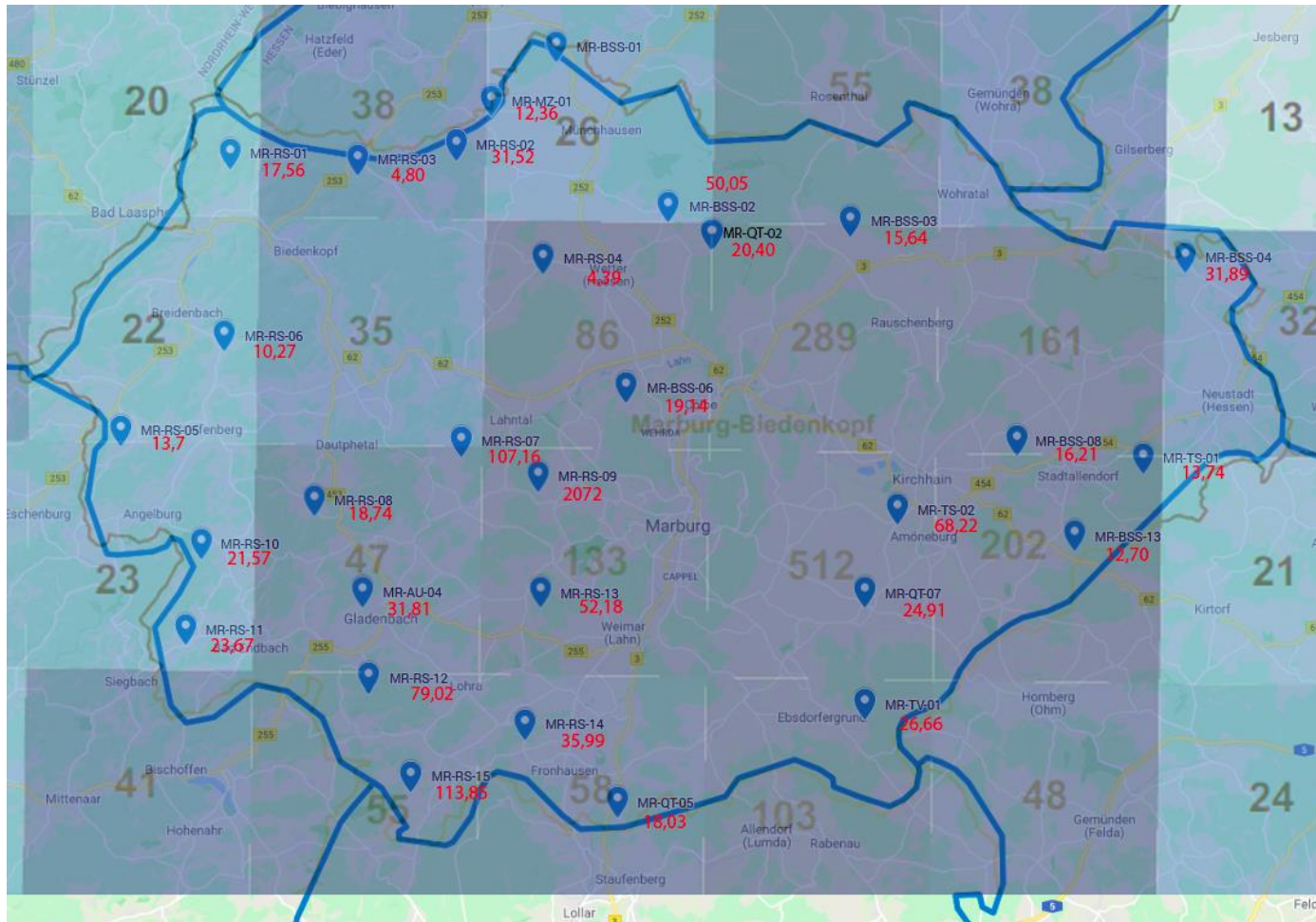


# Aktualisierung Radonpotentialkarte 2020





# 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

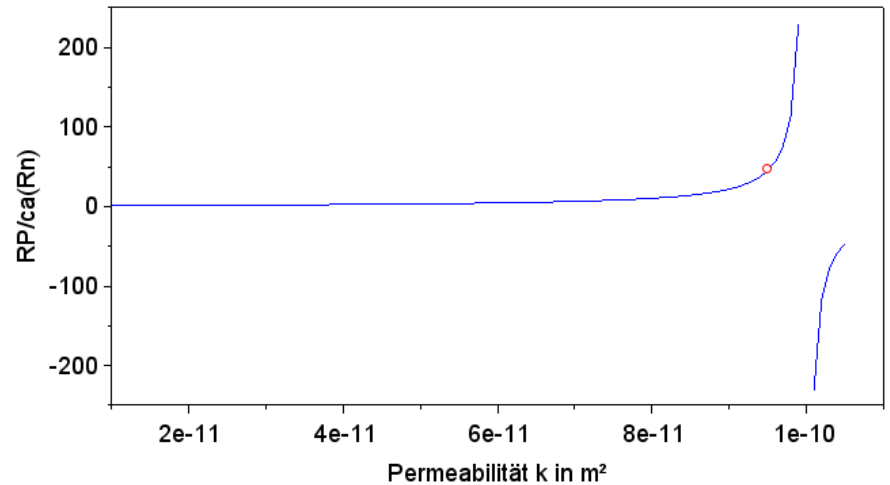
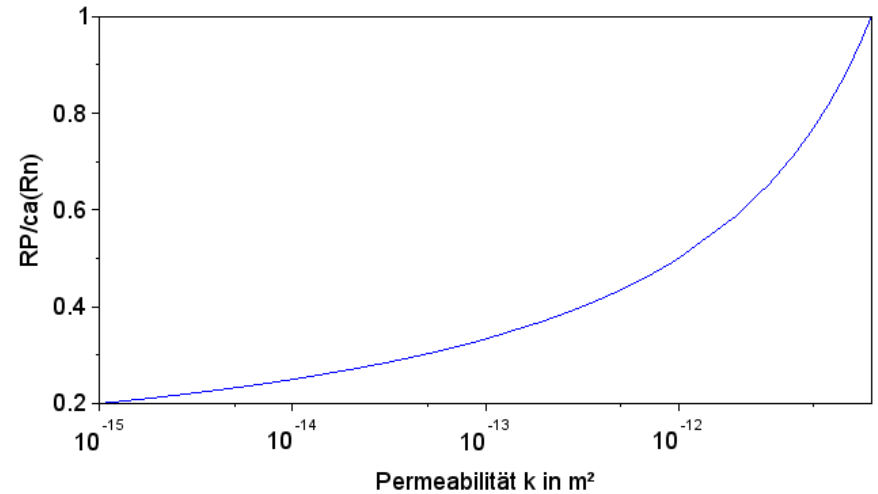
$$RP := c_a(Rn) * \frac{1}{(-\log_{10}(k) - 10)}$$

→ Permeabilitäten zwischen

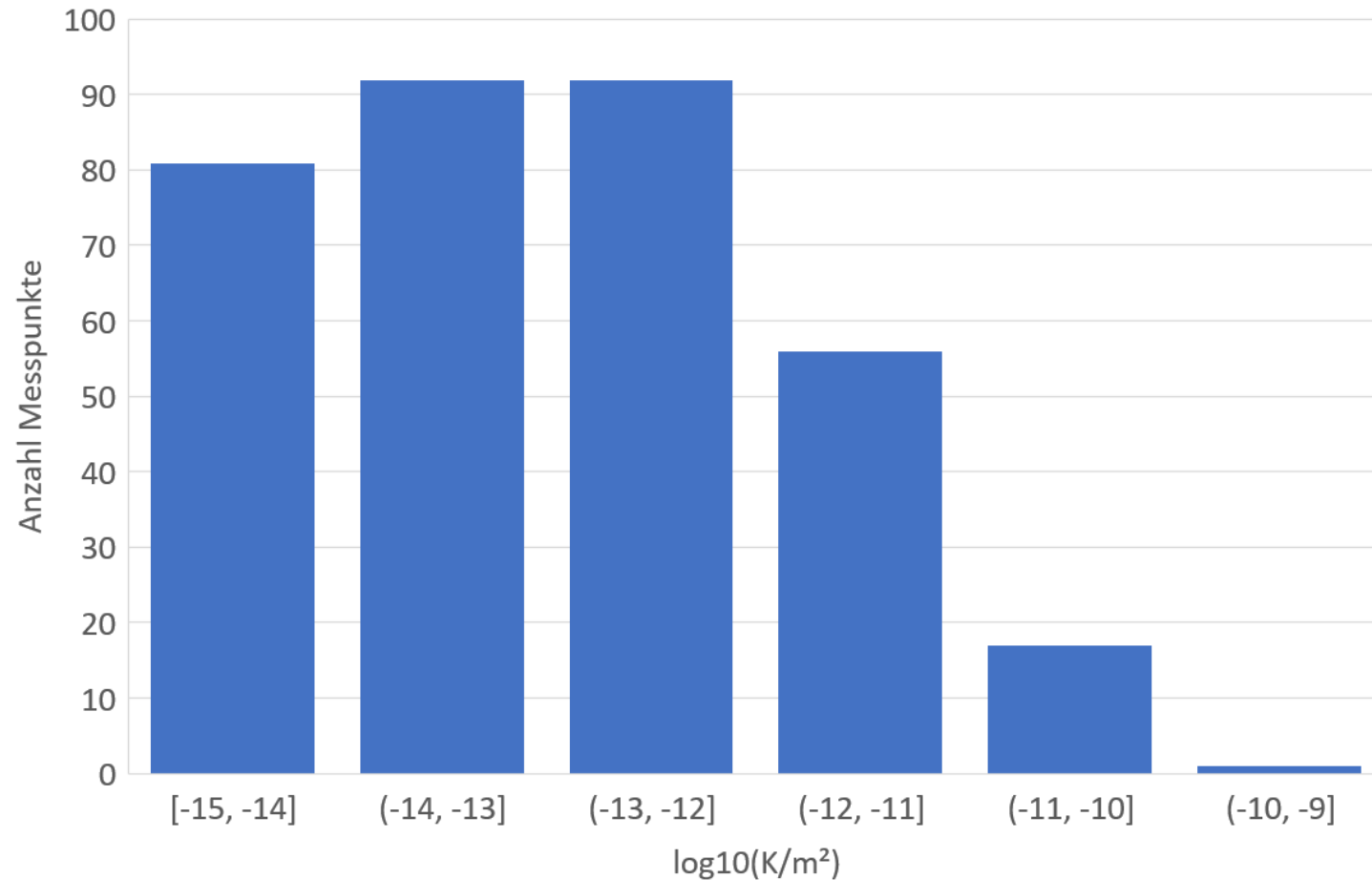
$1 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2$  und  $1 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2$  führen zu

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		
<b>Permeability</b>	<i>Pervious</i>			<i>Semi-pervious</i>					<i>Impervious</i>							
<b>Aquifer</b>	<i>Good</i>			<i>Poor</i>					<i>None</i>							
<b>Soils</b>	<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>							
<b>Rocks</b>				<i>Oil rocks</i>			<i>Sandstone</i>		<i>Good limestone, dolomite</i>		<i>Breccia, granite</i>					
<b>Concrete (water/cement ratio by weight)</b>									<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.

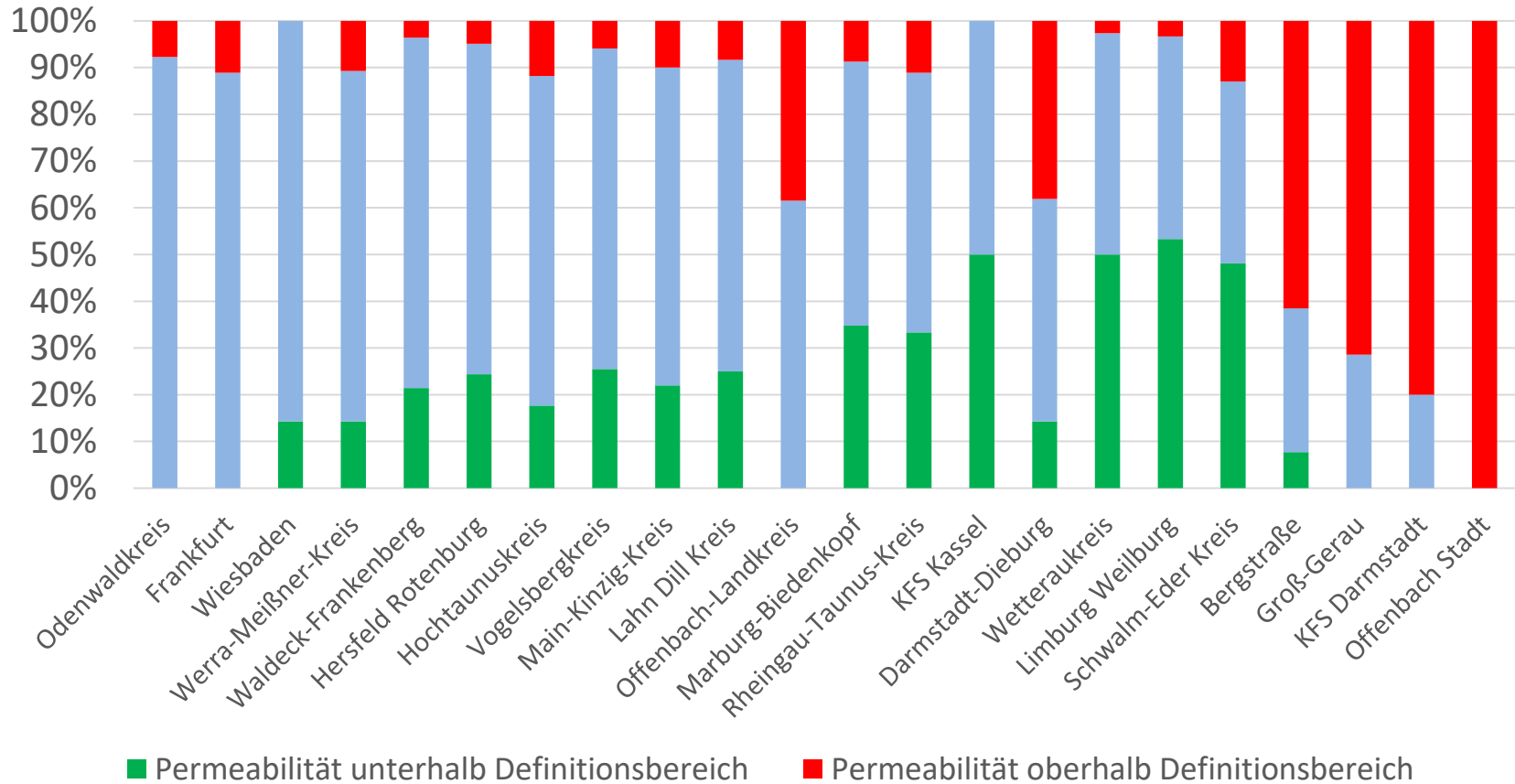
## Geogenes Radon Potential – Grenzen des Definitionsbereiches

$-\log_{10} K(\text{cm/s})$	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
<b>Permeability</b>			<i>Pervious</i>			<i>Semi-pervious</i>			<i>Impervious</i>						
<b>Aquifer</b>			<i>Good</i>			<i>Poor</i>			<i>None</i>						
<b>Soils</b>		<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>							
<b>Rocks</b>					<i>Oil rocks</i>			<i>Sandstone</i>		<i>Good limestone, dolomite</i>		<i>Breccia, granite</i>			
<b>Concrete (water/cement ratio by weight)</b>								<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

