



Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu  
*Ministerie van Volksgezondheid,  
Welzijn en Sport*

# **Radon** in Nederlandse woningen, op reguliere werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen

Resultaten meetcampagne 2022-2023



**Radon in Nederlandse woningen, op reguliere  
werkplekken en voor het publiek toegankelijke  
gebouwen**

Resultaten meetcampagne 2022-2023

RIVM-rapport 2024-0126

## Colofon

© RIVM 2024

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

DOI 10.21945/RIVM-2024-0126

M. Velsma (auteur), RIVM  
J. Verbeek-Spijkerman (auteur), RIVM  
F. Dekkers (auteur), RIVM  
A. Hengeveld (auteur), RIVM  
T. Jansen (auteur), RIVM  
L. Claassen (auteur), RIVM

Contact:  
Marloes Velsma  
Stralingsonderzoek, Kennis en Beleid  
marloes.velsma@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming en het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid

Dit is een uitgave van:  
**Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu**  
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven  
Nederland  
[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

## Publiekssamenvatting

### **Radon in Nederlandse woningen, op reguliere werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen**

Resultaten meetcampagne 2022-2023

In Nederland is de concentratie radon in bijna alle woningen en op werkplekken laag, zeker in vergelijking met de rest van Europa. Wel zijn de concentraties in 2022-2023 gemiddeld iets hoger dan in 2013-2014. Dit kan komen doordat mensen tijdens de energiecrisis in 2023 minder zijn gaan ventileren (ramen, deuren en ventilatieroosters gesloten hielden). Ventileren voorkomt dat radon zich in een ruimte ophoopt. Ook in bedrijfspanden en voor het publiek toegankelijke gebouwen is de radonconcentratie wat hoger dan bij de vorige meting in 2016-2017.

Dit blijkt uit de meetronde van het RIVM in 2022 en 2023. Dit keer is in bijna 2.700 woningen gemeten, en op ruim 350 werkplekken en gebouwen die voor het publiek toegankelijk zijn in Nederland.

De gemiddelde concentratie in woningen in Zuid-Limburg is ongeveer 2,5 keer zo hoog als die in de rest van Nederland. In het Gelderse Rivierengebied is deze ongeveer 1,5 keer zo hoog. Dat komt doordat er uit de bodem in het Gelderse Rivierengebied en vooral in Zuid-Limburg van nature meer radon vrijkomt dan in de rest van Nederland. De gemiddelde concentratie in Zuid-Limburg ligt in de buurt van het wereldwijde gemiddelde; in de rest van Nederland ligt deze daar ver onder. In bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen is de gemiddelde concentratie in de genoemde regio's ongeveer 1,5 keer zo hoog als in de rest van Nederland. Verder zien we dat de gemiddelde radonconcentratie in woningen die gebouwd zijn vanaf 2013 lager is dan in oudere huizen.

Sinds de jaren negentig van de vorige eeuw heeft het RIVM meerdere grote nationale onderzoeken gedaan naar de concentratie radon in woningen. In 2016-2017 is voor het eerst ook radon gemeten op werkplekken en in gebouwen die voor publiek toegankelijk zijn, zoals bibliotheken en bioscopen.

Radon is een radioactief edelgas dat van nature ontstaat in de bodem en in bouwmaterialen die daarvan zijn gemaakt. Vandaaruit kan het gas in woningen en gebouwen terecht komen. De radioactieve stoffen die ontstaan als radon verval, maken de kans op longkanker groter. Dat is vooral zo bij rokers, omdat roken de schadelijke effecten van radon versterkt. Continu ventileren is belangrijk voor het binnenmilieu en kan ook de concentratie radon in huis verlagen. Al blijft stoppen met roken het beste voor de gezondheid.

Kernwoorden: radon, metingen, roken, radioactieve stoffen, bodemtype, becquerel, woningen en werkplekken, voor het publiek toegankelijk gebouwen



## Synopsis

### **Radon in Dutch homes, in regular workplaces and in buildings with public access**

#### 2022–2023 measurement campaign results

The radon concentration in nearly all Dutch homes and workplaces is low, especially when compared to other European countries. However, average concentrations in 2022–2023 were somewhat higher than in 2013–2014. A possible cause is that people ventilated less during the 2023 energy crisis, meaning that they kept windows, doors and ventilation grilles closed. Ventilation prevents radon from accumulating in an indoor space. In indoor workplaces and buildings with public access, the concentration of radon was slightly higher than previously measured in 2016–2017, too.

This was the outcome of the RIVM survey conducted in 2022–2023. Measurements were carried out in nearly 2,700 homes and in over 350 workplaces and buildings with public access in the Netherlands.

The average concentration in homes in South Limburg was around 2.5 times higher than elsewhere in the Netherlands. The concentration was around 1.5 times higher in the Gelderland Rivers area. This is because the soil in these areas, and particularly in South Limburg, naturally releases more radon than elsewhere in the Netherlands. The average concentration in South Limburg was close to the global average, whereas concentrations were much lower elsewhere in the Netherlands. In indoor workplaces and buildings with public access, the average concentration in the aforementioned areas was around 1.5 times higher than elsewhere in the Netherlands. Additionally, RIVM found that the average radon concentrations in homes built from 2013 onwards were lower than those in older homes.

RIVM has conducted multiple large-scale studies of the concentration of radon in homes since the 1990s. Radon was first measured in workplaces and buildings with public access, such as libraries and cinemas, in 2016–2017.

Radon is a naturally occurring radioactive noble gas found in rock and soil and in building materials produced from these. This is how the gas can end up in homes and buildings. The radioactive substances that arise as radon decays increase the risk of lung cancer, particularly in smokers, as smoking enhances radon's harmful effects. Continuous ventilation is key in improving indoor air quality and may reduce the concentration of radon, but quitting smoking is the best thing you can do for your health.

Keywords: radon, measurements, smoking, radioactive substances, soil type, becquerel, homes, workplaces and buildings with public access





## Inhoudsopgave

### **Samenvatting — 11**

#### **1 Inleiding — 13**

- 1.1 Aanleiding — 13
- 1.2 Doelstelling en onderzoeksvragen — 14
- 1.3 Afbakening — 16
- 1.4 Leeswijzer — 16

#### **2 Over radon — 19**

- 2.1 Wat is radon? — 19
- 2.2 Natuurlijke oorsprong van radon — 19
- 2.3 Gezondheidseffecten — 21
- 2.4 Factoren die de radonconcentratie in gebouwen beïnvloeden — 21
- 2.5 Meten van radon — 22
  - 2.5.1 Passieve radondetector — 23
  - 2.5.2 Vergelijking met de in 2013-2014 en 2016-2017 gebruikte detector — 24

### **Deel B - Woningen — 25**

#### **3 Methode woningonderzoek — 27**

- 3.1 Opzet van het onderzoek — 27
  - 3.1.1 Beoogde steekproefgrootte — 27
  - 3.1.2 Werving deelnemers — 28
  - 3.1.3 Meetmethode en tijdschema — 29
  - 3.1.4 Vragenlijsten — 29
  - 3.1.5 Terugblik op meetcampagne 2013-2014 — 30
- 3.2 In de analyse gebruikte datasets — 30
  - 3.2.1 Campagne 2013-2014 — 31
  - 3.2.2 Campagne 2022-2023 — 31
  - 3.2.3 Representativiteit en statistisch gecorrigeerde data — 31
- 3.3 Grondsoorten — 32
- 3.4 Analyses — 32
  - 3.4.1 Algemeen beeld radon in woningen in Nederland — 33
  - 3.4.2 Overzicht van alle berekende variabelen — 34
  - 3.4.3 Bouwjaar — 35
  - 3.4.4 Multivariate-analyse — 35
  - 3.4.5 Univariante-analyse — 36
  - 3.4.6 Analyse perceptiedata — 36

#### **4 Resultaten woningen — 39**

- 4.1 Deelnemers en representativiteit — 39
  - 4.1.1 Deelnemers en representativiteit perceptieonderzoek — 41
- 4.2 Algemeen beeld radonwaarden in Nederland — 41
  - 4.2.1 Regionale verschillen — 42
  - 4.2.2 Resultaten uit 2013-2014 vergeleken met resultaten uit 2022-2023 — 44
  - 4.2.3 Referentieniveau en streefwaarde — 45
- 4.3 Radonconcentraties op (grondsoorten)kaart van Nederland — 47
- 4.4 Vergelijking met het buitenland — 49

- 4.5 Radonconcentraties in nieuwbouwwoningen — 50
- 4.6 Overige factoren die van invloed zijn op de radonconcentratie — 52
  - 4.6.1 Grondsoort — 52
  - 4.6.2 Bouwperiode — 53
  - 4.6.3 Binnenshuis roken — 54
  - 4.6.4 Woningtype — 55
  - 4.6.5 Verdieping — 56
  - 4.6.6 Ventilatiemethode — 57
  - 4.6.7 Verduurzaming — 58
  - 4.6.8 Aanwezigheid van een kelder — 59
  - 4.6.9 Aanwezigheid van een kruipruimte — 60
  - 4.6.10 Vloerisolatie — 61
  - 4.6.11 Ventileren via het openen van ramen/deuren — 62
  - 4.6.12 Tabel met alle bijdragende factoren — 64
- 4.7 Beschrijving van de hoogst gemeten radonconcentraties — 67
- 4.8 Perceptie van blootstelling, zorgen over radon in de woning, en ervaren kwetsbaarheid om ziek te worden — 69
  - 4.8.1 Samenhang tussen gemeten radonconcentratie en gepercipieerde blootstelling, ervaren zorgen, en ervaren kwetsbaarheid — 70
  - 4.8.2 Verschillen tussen Zuid-Limburg, het Gelders rivierengebied en de rest van Nederland — 71

## **5 Discussie woningen — 73**

- 5.1 Radonconcentraties in Nederlandse woningen in 2022-2023 — 73
  - 5.1.1 Representativiteit van de steekproef — 73
  - 5.1.2 Meteorologische omstandigheden — 74
  - 5.1.3 Verschillen tussen radondetectoren — 74
  - 5.1.4 Verduurzaming van woningen — 74
  - 5.1.5 Effect van gestegen brandstofprijzen op ventilatiegedrag — 75
  - 5.1.6 Gezondheidseffecten en hogere radonconcentraties — 75
- 5.2 Regionale verschillen — 75
  - 5.2.1 Invloed van grondsoort op radonconcentraties — 76
- 5.3 Radonconcentraties in nieuwbouwwoningen — 76
- 5.4 Factoren die van invloed zijn op de radonconcentratie — 77
  - 5.4.1 Ventilatie — 77
  - 5.4.2 Rookgedrag — 77
  - 5.4.3 Aanwezigheid van een kelder of kruipruimte en vloerisolatie — 78
  - 5.4.4 Bouwmaterialen — 78
  - 5.4.5 Effect van combineren van datasets op geobserveerde correlaties — 78
- 5.5 Perceptie van blootstelling, zorgen over radon in de woning, en ervaren kwetsbaarheid om ziek te worden — 79

## **Deel C Werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen — 81**

### **6 Methode werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen — 83**

- 6.1 Opzet van het onderzoek — 83
  - 6.1.1 Beoogde steekproefgrootte — 83
  - 6.1.2 Werven deelnemers — 84
  - 6.1.3 Meetmethode en tijdschema — 85
  - 6.1.4 Vragenlijst — 85
  - 6.1.5 Terugblik op meetcampagne 2016-2017 — 86
- 6.2 Datasets — 87

- 6.2.1 Meetcampagne 2016-2017 — 87
- 6.2.2 Meetcampagne 2022-2023 — 87
- 6.2.3 Representativiteit — 87
- 6.3 Grondsoorten — 88
- 6.4 Analyse — 88
- 6.4.1 Algemeen beeld radon op werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen in Nederland — 88
- 6.4.2 Overzicht van alle berekende variabelen — 89
- 6.4.3 Analyse per gebouweigenschap — 90

## **7 Resultaten werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen — 91**

- 7.1 Deelnemers en representativiteit — 91
- 7.2 Algemeen beeld radonwaarden in Nederland — 91
- 7.2.1 Regionale verschillen — 92
- 7.2.2 Resultaten uit 2016-2017 vergeleken met resultaten uit 2022-2023 — 94
- 7.2.3 Referentieniveau en streefwaarde — 95
- 7.3 Radonconcentraties op (grondsoorten)kaart van Nederland — 97
- 7.4 Vergelijking met het buitenland — 99
- 7.5 Branches — 99
- 7.6 Grondsoorten — 102
- 7.7 Ventilatiemethode — 105

## **8 Discussie werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen — 107**

- 8.1 Beperkingen door het aantal deelnemers — 107
- 8.2 Radonconcentratie op Nederlandse werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen in 2022-2023 — 107
- 8.2.1 Representativiteit — 107
- 8.2.2 Meteorologische omstandigheden — 108
- 8.2.3 Verschillen tussen radondetectoren — 108
- 8.2.4 Verduurzaming op werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen — 108
- 8.2.5 Effect van gestegen brandstofprijzen op ventilatiegedrag — 108
- 8.3 Regionale verschillen — 109
- 8.4 Vergelijking met woningen — 109
- 8.5 Verschillen tussen branches — 109
- 8.6 Invloed van grondsoort op de radonconcentraties — 110
- 8.7 Invloed van de ventilatiemethode — 110
- 8.8 Percepties over radon binnen werkplekken — 110

## **9 Conclusie — 111**

- 9.1 Woningen — 111
- 9.2 Bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen — 113
- 9.3 Handelingsperspectief — 114

## **10 Referenties — 115**

### **Bijlage I Onderbouwing steekproefgrootte — 119**

### **Bijlage II plaatsingsinstructie radonmeter woningen — 125**

### **Bijlage III vragenlijst woningen — 127**

**Bijlage IV plaatsingsinstructie radonmeter werkplekken – 133**

**Bijlage V vragenlijst bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen – 135**

**Bijlage VI Selectie adressen bedrijven – 141**

## Samenvatting

Sinds de jaren tachtig wordt met een frequentie van ruwweg eens in de tien jaar een landelijke radonmeetcampagne uitgevoerd. De laatste grote meetcampagne in woningen was in 2013-2014 en op werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen in 2016-2017. Nu, bijna 10 jaar later, heeft het RIVM opnieuw een grote meetcampagne gehouden. Voor deze meetcampagne is in de periode 2022-2023 bij 2.682 woningen en 342 werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen de jaargemiddelde radonconcentratie bepaald. Ook hebben deze deelnemers een vragenlijst ingevuld, zodat de meetresultaten gedifferentieerd kunnen worden naar onder andere eigenschappen van het gebouw of de woning. In deze vragenlijst zijn ook percepties van bewoners uitgevraagd, zoals gepercipieerde blootstelling en ervaren zorgen over radon. In Zuid-Limburg en het Gelders rivieren zijn extra metingen gedaan. In eerder onderzoek zijn in deze gebieden hogere radonconcentraties gemeten.

Radon is een radioactief gas dat van nature ontstaat in de bodem en bouwmaterialen die van bodemstoffen gemaakt zijn. Als radon hieruit vrijkomt, kan het in woningen en gebouwen terecht komen. De radioactieve stoffen die ontstaan als radon vervalt, dragen bij aan het risico op het krijgen van longkanker. Voor Rokers is dit risico 25 maal groter dan voor niet-rokers. Het is dus van belang om de blootstelling aan radon zo laag als redelijkerwijs mogelijk te houden. Door de Nederlandse overheid is een referentieniveau vastgesteld van 100 Bq/m<sup>3</sup>. Een referentieniveau is geen strikte limiet die niet mag worden overschreden. Overschrijding van de referentiewaarde dient wel zoveel als redelijkerwijs mogelijk te worden voorkomen.

In vrijwel alle Nederlandse woningen, werkplekken en voor publiek toegankelijke gebouwen is de radonconcentratie laag. De rekenkundig gemiddelde radonconcentratie in heel Nederland bij woningen is 21,4 Bq/m<sup>3</sup> en bij werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen 26,5 Bq/m<sup>3</sup>. In vergelijking met het wereldwijde rekenkundig gemiddelde 39 Bq/m<sup>3</sup> en andere Europese landen is de radonconcentratie in Nederland laag. Wel zijn deze gemiddelden hoger dan de gemiddelde radonconcentraties gemeten in de laatste radonmeetcampagnes. Bij de voorgaande campagnes was bij woningen het rekenkundig gemiddelde 15,5 Bq/m<sup>3</sup> en bij bedrijven 15,9 Bq/m<sup>3</sup>. De verhoging van de gemiddelde radonconcentratie in 2022-2023 kan komen, omdat de meetperiode samenviel met de energiecrisis. Mogelijk dat mensen tijdens de energiecrisis minder zijn gaan ventileren of hun woningen meer zijn gaan isoleren om de warmte binnen te houden. De meeste deelnemers denken dat er een beetje radon aanwezig is in de woning, maken zich geen zorgen over de aanwezigheid van radon in de woning, en denken niet ziek te kunnen worden van radon in de woning.

Net als in voorgaande meetcampagnes werden in 2022-2023 regionale verschillen waargenomen. In 2022-2023 was de rekenkundig gemiddelde radonconcentratie bij woning in Zuid-Limburg 58,5 Bq/m<sup>3</sup>, in het Gelders Rivierengebied 36,4 Bq/m<sup>3</sup> en in de rest van Nederland

20,0 Bq/m<sup>3</sup>. De radonconcentraties die gemeten zijn in 2022-2023 in deze regio's zijn 1,3 tot 1,5 keer hoger dan in 2013-2014. Bij bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen was de rekenkundig gemiddelde radonconcentratie in 2022-2023 in Zuid-Limburg 39,6 Bq/m<sup>3</sup>, in het Gelders Rivierengebied 28,3 Bq/m<sup>3</sup> en in de rest van Nederland 20,7 Bq/m<sup>3</sup>. De radonconcentraties die zijn gemeten in 2022-2023 zijn 20 tot 70 procent hoger dan in 2016-2017. De regionale verschillen komen vooral door het verschil in de bodemsamenstelling. Zo vinden we hogere radonconcentratie in woningen en gebouwen gebouwd op Leem, dan in woningen en gebouwen gebouwd op andere grondsoorten. Het grootste gedeelte van de woningen en gebouwen gebouwd op leem staan in Zuid-Limburg. Ook in woningen en gebouwen gebouwd op zavel worden, in mindere mate, hogere radonconcentraties gevonden. De woningen en gebouwen gebouwd op klei/zavel met hogere radonconcentratie staan vooral in het Gelders Rivierengebied. In tegenstelling tot een verschil in gemeten concentraties zijn er geen verschillen tussen de regio's in gepercipieerde blootstelling gevonden. Wel zijn er verschillen gevonden in ervaren zorgen en ervaren kwetsbaarheid.

In 2022-2023 overschreed 71 van de 2.681 (2,7%) deelnemende woningen en 8 van de 343 (2,3%) deelnemende bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen het referentieniveau. Het merendeel van deze woningen lag in het Gelders rivierengebied en Zuid-Limburg. Bij de bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen lagen alle meetpunten met een radonconcentratie van boven het referentieniveau in het Gelders rivierengebied en Zuid-Limburg. Zowel bij woningen als gebouwen zijn in 2022-2023 hogere piekwaarden gevonden dan in de voorgaande meetcampagnes. In 2022-2023 was bij de woningen de hoogst gemeten radonconcentratie 359 Bq/m<sup>3</sup> en in 2013-2014 was dit 174 Bq/m<sup>3</sup>. Bij gebouwen was de hoogst gemeten radonconcentratie 202 Bq/m<sup>3</sup> en in 2016-2017 was dit 129 Bq/m<sup>3</sup>. Deze hogere piekwaarden zijn gemeten, omdat we in 2022-2023 bij meer woningen, werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen in Zuid-Limburg en het Gelders Rivierengebied hebben gemeten dan in de voorgaande meetcampagnes

Woningen die gebouwd zijn tussen 2013 en 2022 hebben lagere radonconcentraties dan woningen die zijn gebouwd vóór 2013. De rekenkundig gemiddelde radonconcentratie is respectievelijk 18,0 Bq/m<sup>3</sup> en 37,9 Bq/m<sup>3</sup>. Daarnaast zijn lagere radonconcentraties gevonden in woningen die continue ventileren door openen van ramen of deuren, gebruikmaken van mechanische ventilatie of balansventilatie en in woningen met vloerisolatie. Hogere radonconcentraties zijn gevonden in ruimtes die zich op of onder de begane grond vinden dan in ruimtes op hogere verdiepingen. Ook vinden we in eengezinswoningen hogere radonconcentratie dan in meergezinswoningen. Bij bedrijven is het aantal deelnemers te klein om de invloeden van andere factoren dan de regionale verschillen te onderzoeken.

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Een belangrijke bijdrage aan onze stralingsbelasting, zowel in Nederland als wereldwijd, is toe te schrijven aan het inademen van radioactieve stoffen die van nature aanwezig zijn in onze leefomgeving. Het gaat dan vooral om de radioactieve stoffen radon-220 en radon-222<sup>1</sup>. Om historische redenen wordt radon-220 ook wel *thoron* genoemd; met radon wordt dan uitsluitend radon-222 bedoeld. Beide zijn radioactieve vormen van het chemische element radon. Ze komen van nature voor in de bodem en in uit bodemmateriaal vervaardigde bouwmaterialen, en kunnen van daaruit in het binnenmilieu terechtkomen.

Binnen het thema 'Straling in de leefomgeving' neemt het onderwerp radon een belangrijke plaats in. Om de kans op negatieve effecten op de gezondheid van blootstelling van personen aan radon in het binnenmilieu zoveel mogelijk te beperken, zijn met de vaststelling van Richtlijn 2013/59/Euratom een aantal regels en verplichtingen geïntroduceerd. Eén van deze verplichtingen is opgenomen in artikel 103 van richtlijn 2013/59/Euratom, en luidt dat een Lidstaat een Nationaal Actieprogramma Radon moet vaststellen. Het Nederlandse Nationaal Actieprogramma Radon is op 29 maart 2021 door de Staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat vastgesteld en aan de Tweede Kamer (TK) toegezonden [6], [7]. Met het Nationaal Actieprogramma Radon wordt invulling gegeven aan het Nederlandse radonbeleid.

Naast dit actieprogramma zijn regels en voorschriften voor radon in gebouwen opgenomen in het Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming (Bbs). Onder andere is de blootstelling aan radon in gebouwen in het Bbs aangemerkt als 'bestaande blootstelling'. De stralingsbeschermingsprincipes rechtvaardiging en optimalisatie zijn dan van toepassing. Dit wordt ook benadrukt in het Nationaal Actieprogramma Radon, waarin bijvoorbeeld in paragraaf 5.4 staat dat [6] "...*optimalisatie het leidende stralingsbeschermingsprincipe is om de radonblootstelling binnenshuis zoveel als redelijkerwijs mogelijk te beperken, rekening houdend met economische en sociaal-maatschappelijke aspecten. Dit houdt onder meer in dat de beperking van de blootstelling niet ten koste van alles hoeft te worden doorgevoerd, maar dat bij het nemen of voorstellen van maatregelen voortdurend een afweging plaatsvindt van de blootstellingsrisico's versus de maatschappelijke kosten en baten...*". Volgens de aanbevelingen van de ICRP is in het Bbs als 'benchmark' voor optimalisatie van de bescherming tegen radonblootstelling een referentieniveau vastgesteld van 100 Bq/m<sup>3</sup>, dat betrekking heeft op de jaargemiddelde radonactiviteitsconcentratie (hierna: radonconcentratie) in woningen, voor het publiek toegankelijke gebouwen en werkplekken. De ICRP stelt dat bij optimalisatie de prioriteit moet liggen bij het reduceren van de blootstelling boven het referentieniveau, maar dat het ook bij

<sup>1</sup> Eigenlijk gaat het om de vervalproducten (dochteren) van radon en thoron. Een uitleg staat in hoofdstuk 2.

blootstellingen onder dit referentieniveau gerechtvaardigd kan zijn om maatregelen te treffen [8].

Optimalisatie van bescherming van de bevolking en werknemers tegen radonblootstelling in gebouwen is samen met het al langer bestaande *'stand still'*-principe (het streven te voorkomen dat de radonconcentratie binnenshuis in de toekomst toeneemt) de belangrijkste beleidsdoelstelling voor het radon-beleid [6]. Om aan deze doelstellingen uitvoering te kunnen geven, is het nodig om te weten hoe de (jaargemiddelde) radonconcentraties in Nederlandse woningen, openbare gebouwen en werkplekken zich verhouden tot het bovengenoemde referentieniveau, in welke gebouwen de kans op overschrijding van het referentieniveau significant is, en of de gemiddelde radonconcentratie in de loop van de tijd verandert.

De afgelopen jaren heeft het RIVM meerdere grote nationale onderzoeken gedaan naar radon. De laatste twee meetcampagnes waren in woningen (2013-2014) en op werkplekken en in voor het publiek toegankelijke gebouwen (2016-2017). In woningen is een rekenkundig gemiddelde jaargemiddelde radonconcentratie in de lucht gemeten van ongeveer 15,7 Becquerel per kubieke meter (Bq/m<sup>3</sup>) [2]. Op werkplekken en in voor het publiek toegankelijk gebouwen was dit 15,9 Bq/m<sup>3</sup> [9]. Vergeleken met het wereldwijde gemiddelde is de gemiddelde radonconcentratie in Nederland laag. Wel zien we regionale verschillen. In Zuid-Limburg, hier gedefinieerd als het deel van Nederland waar postcodes beginnen met de cijfers 61, 62, 63 of 64, is de gemiddelde radonconcentratie in woningen ongeveer tweeënhalf keer zo hoog als het landelijk gemiddelde. Ook in het Gelders rivierengebied (postcodes beginnend met 40, 41, 53, 65 en 66) is de gemiddelde radonconcentratie binnenshuis hoger dan gemiddeld in Nederland. Vergelijkbare resultaten zagen we op werkplekken en in openbare gebouwen. De steekproef in de genoemde meetcampagnes was te klein om een nadere analyse uit te voeren naar de gebieden met iets hogere radonconcentraties [6].

Om een beter beeld te krijgen van de radonconcentratie in woningen, op werkplekken en in voor het publiek toegankelijke gebouwen hebben de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) en het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW) het RIVM gevraagd om opnieuw een radonmeetcampagne uit te voeren. Hierbij hebben we extra aandacht besteed aan het Gelders Rivierengebied en Zuid-Limburg en woningen die gebouwd zijn sinds de laatste meetcampagne.

## 1.2 Doelstelling en onderzoeksvragen

Het doel van dit onderzoek is om vast te stellen wat de jaargemiddelde radonconcentratie is in Nederlandse woningen, op werkplekken en in voor het publiek toegankelijke gebouwen, met extra aandacht voor het Gelders rivierengebied en Zuid-Limburg. Daarnaast is een doel van dit onderzoek om te kijken wat de radonconcentratie is bij woningen die gebouwd zijn sinds de laatste meetcampagne. Hiertoe zijn de volgende onderzoeksvragen opgesteld.



1. Wat is de gemiddelde jaargemiddelde radonconcentratie in Nederlandse woningen? En hoe verhoudt deze zich tot het hiervoor geldende referentieniveau, tot waarden in het buitenland, en tot de resultaten van de laatste survey in woningen?
  - a. Wat is de verdeling van de jaargemiddelde radonconcentratie in woningen over Nederland? En hoe verhoudt deze zich tot de resultaten uit de laatste surveys?
  - b. Wat zijn de gemiddelde jaargemiddelde radonconcentraties in woningen in het Gelders Rivierengebied en in Zuid-Limburg? En hoe verhouden deze zich tot het referentieniveau, tot het Nederlandse gemiddelde, en tot waarden in het buitenland?
  - c. Hoe verhoudt de verdeling van alle in Nederlandse woningen gemeten jaargemiddelde radonwaarden zich tot het referentieniveau?
  - d. Hoe verhouden de verdelingen van de in het Gelders Rivierengebied en in Zuid-Limburg gemeten jaargemiddelde radonwaarden zich tot het referentieniveau?
  - e. In hoeverre kunnen eventuele regionale verschillen, en eventuele verschillen met de vorige survey worden gerelateerd aan het bodemtype, het type woning, het bouwjaar, en het type ventilatie?
2. Wat is de gemiddelde jaargemiddelde radonconcentratie in het binnenmilieu in Nederlandse woningen die zijn gebouwd na 2013?
  - a. Hoe verhoudt deze gemiddelde jaargemiddelde radonconcentratie zich tot de over alle Nederlandse woningen gemiddelde jaargemiddelde radonconcentratie?
  - b. Is er sprake van een relevant verschil ten opzichte van de woningen gebouwd in de periode 2005-2013? Hierbij wordt een relevant verschil gedefinieerd als een verschil groter dan  $3 \text{ Bq/m}^3$ .
3. Wat zijn de gemiddelde jaargemiddelde radonconcentraties op Nederlandse reguliere werkplekken en in openbare gebouwen? En hoe verhouden deze zich tot het hiervoor geldende referentieniveaus, tot waarden in het buitenland, en tot de resultaten van de laatste werkplekken/gebouwen survey?
  - a. Wat is de verdeling van de jaargemiddelde radonconcentratie op werkplekken en in voor het publiek toegankelijke gebouwen over Nederland? En hoe verhoudt deze zich tot de resultaten uit de laatste survey?
  - b. Wat zijn de gemiddelde jaargemiddelde radonconcentraties op werkplekken en in openbare gebouwen in het Rivierengebied en in Zuid-Limburg? En hoe verhouden deze zich tot het referentieniveau, tot het Nederlandse gemiddelde, en tot waarden in het buitenland?
  - c. Hoe verhouden de verdelingen van alle op Nederlandse (reguliere) werkplekken en in openbare gebouwen gemeten jaargemiddelde radonwaarden zich tot het Nederlandse referentieniveau?
  - d. Hoe verhouden de gemiddelde jaargemiddelde radonconcentraties op werkplekken en in openbare gebouwen in het Rivierengebied en in Zuid-Limburg zich tot het

referentieniveau, tot het Nederlandse gemiddelde, en tot waarden in het buitenland?

- e. In hoeverre kunnen eventuele regionale verschillen, en eventuele verschillen met de vorige survey worden gerelateerd aan het bodemtype, het type gebouw, het bouwjaar, en het type ventilatie?

Aanvullend is door het RIVM als extra doel gesteld inzicht te krijgen in de perspectieven van deelnemers over hun blootstelling aan radon, ervaren zorgen over radon in de woning, en de ervaren kwetsbaarheid om ziek te worden door blootstelling aan radon.

4. Hoe percipiëren deelnemers hun blootstelling aan radon in de woning, ervaren zij zorgen over de aanwezigheid van radon in de woning, en voelen zij zich kwetsbaar op ziek te worden van radon in de woning?
  - a. Wat is de samenhang tussen gemeten concentraties, gepercipieerde blootstelling, ervaren zorgen en ervaren kwetsbaarheid?
  - b. Zijn er verschillen in percepties en zorgen tussen het Zuid-Limburg, het Gelders Rivierengebied en de rest van Nederland?

### 1.3 Afbakening

Het onderzoek is als volgt afgebakend:

- De blootstelling aan radon wordt bepaald en uitgedrukt in de (equivalente) radon activiteitsconcentratie in lucht. Omdat er nationaal en internationaal discussie is over de conversie van radonconcentratie naar effectieve dosis [10], [4], en deze discussie buiten de scope van dit onderzoek valt, wordt de blootstelling aan radon in beginsel niet uitgedrukt in Sv/jaar, maar in Bq/m<sup>3</sup>. De dosis door blootstelling aan radon van werknemers en inwoners van Nederland valt buiten de scope van dit onderzoek
- Dit onderzoek richt zich alleen op de concentratie van radon-222, blootstelling aan thoron (radon-220) en gammastraling wordt buiten beschouwing gelaten. In voorgaande meetcampagnes zijn deze wel meegenomen.

### 1.4 Leeswijzer

Dit rapport bestaat uit drie delen. Alle drie de delen zijn los van elkaar te lezen. Het eerste deel (hoofdstuk 2), is een algemeen deel, met achtergrondinformatie over radon, en beschrijft de gebruikte detector voor het meten van radon.

Het tweede deel van het rapport (deel B, hoofdstukken 3 t/m 5), gaat over het onderzoek naar radon in woningen dat in 2022-2023 is uitgevoerd. Hoofdstuk 3 beschrijft de opzet van het onderzoek bij woningen, en de gebruikte analysetechnieken. In hoofdstuk 4 staan de onderzoeksresultaten, met daarin aandacht voor factoren die de radonconcentratie beïnvloeden en de perceptie van de mate radonblootstelling en bijbehorende risico's van deelnemers aan het

onderzoek. In hoofdstuk 5, de discussie, bespreken we de resultaten nader.

Het derde deel (deel C, hoofdstuk 6 t/m 8), gaat over werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen. Hoofdstuk 6 beschrijft de opzet van het onderzoek bij bedrijven, en de gebruikte analysetechnieken. In hoofdstuk 7 staan de resultaten van het onderzoek, met aandacht voor regionale verschillen. En in hoofdstuk 8, de discussie, gaan we verder in op wat de resultaten betekenen.

In hoofdstuk 9 vatten we de antwoorden op de onderzoeksvragen samen. Het hoofdstuk sluiten we af met een conclusie voor de woningen, werkplekken en voor het publiek toegankelijk gebouwen.

In het rapport zijn bovendien bijlagen opgenomen die (technische) achtergrondinformatie geven. Bijlage I rapporteert over de berekeningen die zijn uitgevoerd om te bepalen hoe groot de steekproef van het onderzoek moest zijn, en hoe deze verdeeld moest zijn over de verschillende subgroepen. Bijlage II bevat de vragenlijst die onderdeel was van de meetcampagne bij woningen. Bijlage III bevat de instructies die deelnemers kregen voor plaatsing van de radonmeters. In bijlage IV is de vragenlijst die onderdeel was van de meetcampagne bij bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen gerapporteerd.



## 2 Over radon

Dit hoofdstuk bevat achtergrondinformatie over radon. We beschrijven wat radon is, waar radon vandaan komt, wat het belangrijkste gezondheidseffect is, welke factoren invloed hebben op de radonconcentratie in woningen, op werkplekken en in voor het publiek toegankelijke gebouwen en hoe je radon kunt meten.

Voor verdiepende informatie verwijzen we naar eerder geschreven rapporten en artikelen. Sinds de jaren tachtig wordt namelijk ongeveer elke tien jaar een landelijke radonmeetcampagne uitgevoerd in Nederland. De laatste grote meetcampagne in woningen was in 2013-2014 [2] en op werkplekken en in voor het publiek toegankelijke gebouwen in 2016-2017 [9].

### 2.1 Wat is radon?

Radon is een radioactieve stof die in onze leefomgeving in gasvorm aanwezig is als radon-222 en radon-220. In dit rapport bedoelen we met radon steeds uitsluitend radon-222. Radon-220 noemen we, zoals internationaal gebruikelijk, thoron. Radon is kleurloos en geurloos. Je kunt het dus niet zien of ruiken. Radon komt van nature vrij uit de bodem of bouwmaterialen die van bodemstoffen gemaakt zijn. Radon dat vrijkomt uit de bodem verspreidt zich in de buitenlucht over de hele atmosfeer, waarbij het wordt verdund. Radonconcentraties zijn binnen meestal hoger dan buiten. Vooral als een woning of gebouw weinig geventileerd wordt, kan radon zich ophopen.

Radon is radioactief. Dat betekent dat het na verloop van tijd spontaan verandert in een andere (radioactieve) stof. Dit noemen we radioactief verval. Hierbij komt straling vrij.

#### Meer lezen?

In paragraaf 2.1 van het rapport *Radon in Nederlandse woningen* [2] is meer informatie te vinden over wat radioactiviteit en radioactief verval is. Ook vind je in dit rapport meer informatie over radon buitenshuis (paragraaf 2.4) en binnenshuis (paragraaf 2.5).

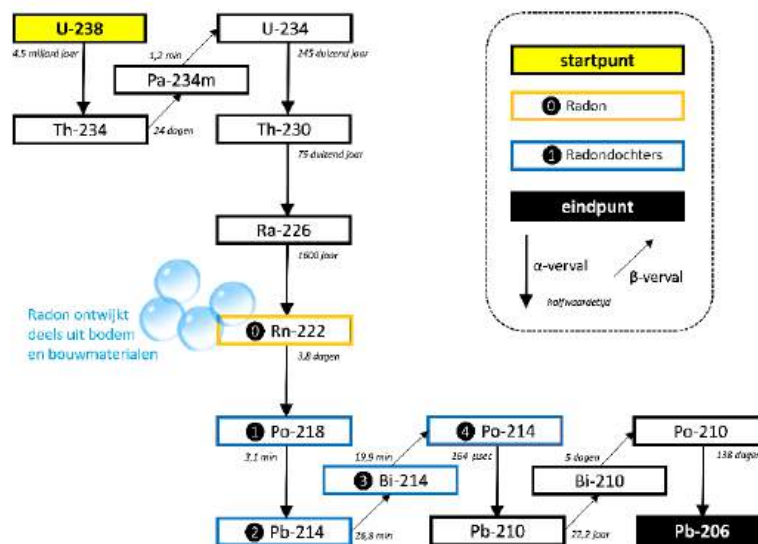
### 2.2 Natuurlijke oorsprong van radon

In de aardkorst zijn van nature radioactieve stoffen aanwezig die al voor het ontstaan van de aarde bestonden. Eén van deze stoffen is Uranium-238 (U-238)<sup>2</sup>, met een halveringstijd van 4,5 miljard jaar. Uranium vervalft via een lange reeks van radioactieve stoffen naar stabiel lood. Deze vervalreeks wordt de uraniumreeks genoemd. Eén van deze stoffen is radium-226 (Ra-226), dat vervalft tot het gasvormige radon. Omdat radon een edelgas is, kan het vooral vanuit de bodem en uit bouwmaterialen die van bodemstoffen zijn gemaakt, vrijkomen en in de

<sup>2</sup> Naast uranium-238 bevindt zich ook thorium-232 in de bodem en in bouwmaterialen die bodemstoffen bevatten. Halverwege de vervalreeks van thorium ontstaat een ander radioactief isotoop van radon, namelijk radon-220 (Rn-220). Omdat Rn-220 ontstaat in de thoriumreeks, wordt deze radonvariant thoron genoemd. In dit onderzoek zijn geen metingen gedaan naar thoron. Thoronmetingen zijn wel gedaan tijdens de meetcampagne in 2013-2014 (woningen) en in 2016-2017 (werkplekken en publiekstoegankelijke gebouwen).

lucht terechtkomen. De mate waarin radon vrijkomt, is afhankelijk van de samenstelling van de bodem of het bouw materiaal waarin het radium zich bevindt [4].

Radon vervalt met een halveringstijd van 3,8 dagen, onder het uitzenden van alfadeeltjes. De vervalproducten van radon worden radonochters genoemd en zijn onder andere de radionucliden polonium-218 (Po-218), lood-214 (Pb-214), bismuth-214 (Bi-214) en polonium-214 (Po-214). In tegenstelling tot radon zijn deze radonochters bij standaard temperatuur en druk niet gasvormig, maar vaste stoffen. Zie Figuur 2.1 voor een schematische weergave van de uraniumreeks, met daarin het ontstaan van radon en radonochters. Deze figuur geeft ook de halveringstijden van de verschillende radionucliden.



Figuur 2.1 Schematisch overzicht van de natuurlijke vervalreeks van Uranium-238 (uraniumreeks). De vier kortlevende vervalproducten van radon worden radonochters genoemd. Figuur uit [4].

### Meer lezen?

Het rapport *Radon in Nederlandse woningen* [2] bevat in paragraaf 2.2 meer informatie over de uraniumreeks. In het rapport *Blootstelling aan natuurlijke bronnen in Nederland* [4] is in paragraaf 4.1.3 informatie over het losraken van radon uit de bodem of bouwmaterialen te vinden, en over hoe het in de lucht terechtkomt. Dit rapport geeft ook meer informatie over de hoeveelheid radium die voorkomt in verschillende bodemsamenstellingen (paragraaf 4.2) en in bouwmaterialen (paragraaf 5.3).

Paragraaf 1.1.2 van het *basisdocument radon* [5] geeft informatie over het transport van radon door diffusie en convectie, wat een belangrijke rol speelt bij het vrijkomen van radon uit bodem en bouwmaterialen. Paragrafen 1.1.3 en 3.2.1 van het basisdocument beschrijven het proces

van losraken van radonatomen uit het moedermateriaal (emanatie) en het transport van radon uit de bodem of het bouwmateriaal (exhalatie). Deze processen worden beschreven voor verschillende bouwmaterialen en bodemsamenstellingen.

### 2.3 Gezondheidseffecten

Na het inademen van radon wordt dit meestal meteen weer uitgeademd. Dit komt doordat radon een edelgas is, en zich dus niet aan andere stoffen bindt. Maar de radondochters zijn vaste stoffen en kunnen (al dan niet) gebonden aan stofdeeltjes achterblijven in de longen. Als radon (op het moment dat het in de longen is) of radondochters (die in de longen achtergebleven zijn) radioactief vervallen, dan zenden zij daarbij straling uit. Deze straling kan schade veroorzaken aan het DNA van de longcellen. Dit vergroot de kans op het ontstaan van longkanker op de lange termijn.

Jaarlijks krijgen in Nederland bijna 12.000 mensen longkanker. Op basis van epidemiologisch onderzoek [11] schatten we dat in enkele honderden gevallen blootstelling aan radon hiervan een oorzaak is [2]. De onzekerheid in deze schatting is groot: het staat vast dat blootstelling aan radon het risico op het krijgen van longkanker vergroot, maar hoe groot de kans op longkanker bij een gegeven blootstelling aan radon is, is onzeker [4]. De kans op longkanker door radon is bij gelijke blootstelling voor rokers een factor 25 hoger dan voor nooit-rokers, doordat roken de effecten van blootstelling aan radon versterkt [11].

#### Meer lezen?

Meer informatie over de schatting van het aantal longkankergevallen door de blootstelling aan radon vind je in paragraaf 6.2 van het rapport *Radon in Nederlandse woningen* [2]. Informatie over de wetenschappelijke discussie over de relatie tussen blootstelling aan radon en het optreden van gezondheidseffecten staat beschreven in paragrafen 4.3.2 en 6.5 in het rapport *Blootstelling aan natuurlijke bronnen in Nederland* [4].

### 2.4 Factoren die de radonconcentratie in gebouwen beïnvloeden

Uit eerder onderzoek [5] weten we dat een groot aantal factoren van invloed is op de radonconcentratie in gebouw: de ondergrond (bodemsamenstelling en permeabiliteit), de gebruikte bouwmaterialen (de samenstelling, dikte en de kwaliteit), het type woning, de verdieping waar een ruimte zich bevindt, de mate van ventilatie (mede bepaald door het type ventilatie), het gedrag van de bewoners, de kwaliteit van de afdichting van de leefruimtes ten opzichte van de ondergrond en atmosferische condities [3], [12]. Welke factor dominant is, is per individuele situatie verschillend.

Voor landen met hoge radonconcentraties is bekend dat de radonconcentratie binnenshuis in de winter veelal hoger is dan in de zomer. Dit komt deels door weersomstandigheden, maar ook door ventilatiegedrag. De windsnelheid, windrichting en neerslag beïnvloeden de radonconcentratie binnenshuis. Atmosferische druk en relatieve vochtigheid lijken geen grote invloed te hebben. De belangrijkste

meteorologische factor is temperatuur [13]. De radonconcentratie binnenshuis kan oplopen door het zogenoemde schoorsteeneffect. Als de temperatuur binnen hoger is dan buiten (en daardoor ook de luchtdruk lager), kan de warme lucht via de bovenverdieping ontsnappen en kan er lucht worden aangezogen via de begane grond of de kelder [14]. Deze lucht bevat meestal meer radon dan die op hogere verdiepingen. Het is bekend dat het schoorsteeneffect een rol speelt in landen waar de bodem een belangrijke bijdrage levert aan de radonconcentratie in de woning. Voor de Nederlandse situatie is dit minder duidelijk.

Verder kunnen sommige energiebesparende maatregelen de radonconcentratie binnenshuis beïnvloeden. Studies in Frankrijk, het Verenigd Koninkrijk en Zwitserland beschrijven verhoogde radonconcentraties bij woningen met warmte-isolerende aanpassingen waarbij geen extra maatregelen zijn genomen om de ventilatie te verhogen [15], [16], [17]. Hierbij kan gedacht worden aan isolatie van ramen, daken, vloeren en buitenmuren.

Een andere factor die blootstelling aan radon en radondochters beïnvloedt, is de zogenoemde evenwichtsfactor. Omdat de dochters van radon een veel kortere halveringstijd hebben dan radon, zou in een ideale situatie de concentratie van de dochters gelijk zijn aan die van radon zelf [2]. In de praktijk is dat nooit het geval. In de lucht zal de concentratie van radondochters altijd lager zijn dan die van radon. Dit komt doordat radondochters deponeren op oppervlakken in de ruimte, waarna ze niet meer bijdragen aan de concentratie in de lucht. Hierbij geldt dat de radondochters die gebonden zijn aan stofdeeltjes langzamer verdwijnen uit de lucht dan de niet-gebonden radondochters. De evenwichtsfactor is een maat voor de afwijking van evenwicht. [4]. Bij een waarde gelijk aan 1 zijn radon en radondochters in evenwicht. Een typische waarde voor de evenwichtsfactor binnenshuis is 0,4 [18]. De evenwichtsfactor kan in specifieke situaties afwijken van de typische waarde. Omdat de effecten op de gezondheid veroorzaakt worden door de dochters van radon, en bij metingen over het algemeen de concentratie van radon zelf bepaald wordt, is inzicht in de evenwichtsfactor belangrijk.

### Meer lezen?

In paragrafen 2.5.1 en 6.1 van het *rapport Radon in Nederlandse woningen* [3] vind je meer informatie over de processen die bepalend zijn voor de concentraties van radon en zijn dochterproducten in woningen.

In paragraaf 3.2.2. van het basisdocument radon [5] vind je meer informatie over seizoensinvloeden en transport van radon uit de bodem naar de woning). Paragraaf 5.4.1 van het basisdocument beschrijft een aantal factoren dat invloed heeft op de radonconcentratie, zoals het gedrag van bewoners, ventilatie, weersomstandigheden en toegepaste bouwmaterialen.

## 2.5

### Metten van radon

De resultaten van metingen van radon worden gerapporteerd als een zogenoemde *activiteitsconcentratie*, met als eenheid Bq/m<sup>3</sup>. Een



radonactiviteitsconcentratie van, bijvoorbeeld,  $10 \text{ Bq/m}^3$  betekent dat in één kubieke meter lucht per seconde 10 atomen radon vervallen. In het vervolg van dit rapport schrijven we radonconcentratie waar radonactiviteitsconcentratie wordt bedoeld.

Omdat de radonconcentratie binnenshuis varieert, is het voor een betrouwbaar beeld van de radonconcentratie nodig gedurende lange tijd te meten. In dit onderzoek is met passieve detectoren de hoeveelheid radon gemeten, gedurende een jaar op een vaste locatie in een woning. Uit het resultaat van de meting wordt de jaargemiddelde concentratie berekend. Om als particulier dit soort metingen goed te kunnen uitvoeren, zijn instructies over hoe, waar, wanneer en hoelang te meten van belang.

### Meer lezen?

In het *rapport Radonmeters voor particulier gebruik* [1] staat meer informatie over een lange tijd-geïntegreerde passieve radonmeting en welke zaken belangrijk zijn bij een radonmeting.

#### 2.5.1

##### *Passieve radondetector*

De in dit onderzoek gebruikte passieve detector, de Radtrak3 van Radonova, bestaat uit een zwarte kunststofbehuizing met daarin een plastic plaatje.



*Figuur 2.2 De bij dit onderzoek gebruikte detector (Radtrak 3, Radonova, figuur afkomstig van Radonova©).*

Tussen de deksel en de bodem van deze behuizing zitten zeer kleine gaatjes waar het radongas de detector binnen kan komen. Thoron bereikt het plastic plaatje nauwelijks. Als het radongas in de detector vervalt, ontstaan er in de detector radondochters. De alfastraling die vrijkomt bij het verval van radon en sommige dochters veroorzaakt heel kleine beschadigingen in het plastic plaatje (ook wel film genoemd). Aan het einde van de meetperiode wordt in een laboratorium met een chemisch proces het aantal beschadigingen zichtbaar gemaakt en geteld. Het aantal beschadigingen wordt vervolgens omgerekend naar een jaargemiddelde radonconcentratie. Voor het meten van radon en voor het uitlezen en uitwerken van radonmetingen door laboratoria zijn normen beschikbaar. De gebruikte radonmeter voldoet aan de norm NEN-ISO 11665-4. Daarmee is aangetoond dat deze voldoet aan de gewenste basiskwaliteit voor radonmetingen. Het laboratorium waar de detector is uitgelezen, is geaccrediteerd volgens NEN-EN-ISO/IEC 17025, en voldoet dus aan de gewenste basiskwaliteit van de uitgevoerde meting, kwaliteitsborging en rapportage.

### 2.5.2 Meetonzekerheid in een individueel meetresultaat

In elke meting zit een bepaalde mate van onzekerheid. De gemeten waarde is een benadering van de echte waarde. Maar de echte waarde kan in de werkelijkheid iets boven of onder de gemeten waarde zitten.

In dit onderzoek is de gerapporteerde meetonzekerheid (2 standaarddeviaties) van een individuele radonmeting over een periode van een jaar ongeveer 15% van de meetwaarde. Onzekerheid in de kalibratie levert hierbij de grootste bijdrage. Het onzekerheidsbudget omvat verder onzekerheden met betrekking tot kwaliteit van het detectormateriaal, vervaging van de tracks en correctie voor de achtergrond. De invloed van deze factoren op de onzekerheid wordt beperkt doordat de producent van de detector aanvullende metingen uitvoert. Bij zeer hoge radonconcentraties neemt de onzekerheid toe door overlappende tracks, waardoor het tellen van de tracks die veroorzaakt wordt door één alfa-deeltje niet meer mogelijk is. Dergelijke hoge concentraties zijn in deze survey niet gemeten.

### 2.5.3 Vergelijking met de in 2013-2014 en 2016-2017 gebruikte detector

De radonmeter die gebruikt is voor de metingen van het RIVM in 2022-2023, is de Radtrak3 van Radonova in Zweden. De Radtrak3 is een nieuwe versie van de Radtrak2-detector die tijdens de meetcampagne in 2013-2014 en 2016-2017 is gebruikt. In Tabel 1 zijn de specificaties van beide radonmeters weergegeven.

De nauwkeurigheid van de meting is onveranderd. Wel is de sensitiviteit voor thoron van de Radtrak3-detector groter (8%) dan die van de Radtrak2 (2,4%) [19]. Dit blijkt uit metingen die zijn gedaan in de SURO thoronkamer in Praag [19]. Hierbij is de radondetector blootgesteld aan een bekende thoronconcentratie van 868 kBq·h/m<sup>3</sup>. De relatief hogere sensitiviteit voor thoron voor de Radtrak3-detector vergeleken met de Radtrak2-detector kan worden verklaard door het kleinere formaat van de Radtrak3-detector. De tijd die een deeltje nodig heeft om te diffunderen in de kamer van de detector is door het kleinere formaat van de Radtrak3-detector korter dan bij de Radtrak2-detector. Daarmee is de kans groter dat een thoronatom (t<sub>1/2</sub> = 56s) de detector bereikt voor het verval.

Tabel 1 Eigenschappen van de radondetectoren Radtrak2 en Radtrak3

	<b>Radtrak2[20]</b>	<b>Radtrak3[21]</b>
Toepassing detector	Woningen en werkplekken	Woningen en werkplekken
Meetbereik (Bq/m <sup>3</sup> )	15-25.000 na 3 maanden	15-25. 000 na 3 maanden
Meetbereik (kBq·h·m <sup>3</sup> )	30-50.000	30-50.000
Meetperiode (dagen)	60-100	60-365
Onzekerheid, 2 standaarddeviatie (%)	12% bij 400 kBq·h/m <sup>3</sup> (3 maanden bij 200 Bq/m <sup>3</sup> )	12% bij 400 kBq·h/m <sup>3</sup> (3 maanden bij 200 Bq/m <sup>3</sup> )
Sensitiviteit (sporen cm <sup>-2</sup> ·kBq <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> ·m <sup>3</sup> )	2,3	2,1
Sensitiviteit voor thoron	2,4%	8%
Vorm	rond	vierkant
Afmetingen detector	Diameter 58 mm Hoogte: 23 mm	45x45x17 mm

## Deel B - Woningen



## 3 Methode woningonderzoek

In dit hoofdstuk beschrijven we de opzet van het radononderzoek in woningen. Het eerste deel gaat over de opzet van de steekproef, de werving van de deelnemers en het tijdpad van het onderzoek. De tweede helft van het hoofdstuk beschrijft de in het onderzoek gebruikte datasets en de toegepaste analysetechnieken.

### 3.1 Opzet van het onderzoek

#### 3.1.1 *Beoogde steekproefgrootte*

Uitgangspunt bij het bepalen van de beoogde steekproefgrootte voor de radonsurvey in woningen zijn de resultaten van de metingen die gedaan zijn in 2013-2014. In deze survey hebben in totaal in 2.567 woningen radonmetingen plaatsgevonden. Hiervan waren 79 metingen in Zuid-Limburg en 106 metingen in het Gelders Rivierengebied.

Om de onderzoeksvragen van dit onderzoek te kunnen beantwoorden, zijn de volgende (sub)groepen van te meten woningen gekozen:

1. Woningen verspreid over Nederland, gebouwd voor 2005.
2. Woningen in Nederland gebouwd vanaf 2013 (ook in het Gelders Rivierengebied en in Zuid-Limburg).
3. Woningen in Nederland gebouwd tussen 2005 en 2013.
4. Woningen in het Gelders Rivierengebied.
5. Woningen in Zuid-Limburg.

De subgroepen 4 en 5 zijn gedefinieerd op basis van postcodegebieden die overeenkomen met postcodegebieden uit de eerdere survey. Hiervoor werden de eerste twee cijfers van de postcode gebruikt. Voor Zuid-Limburg waren dit de postcodegebieden 61, 62, 63, 64 en voor het Gelders Rivierengebied waren dat de gebieden 40, 41, 53, 65 en 66 [[12](#)].

In Bijlage I is een uitgebreidere onderbouwing van de steekproef beschreven. Met behulp van een statistische toets (zie Bijlage I) is gekeken hoeveel metingen vereist waren om met voldoende nauwkeurigheid antwoord te geven op de onderzoeksvraag voor de radonconcentraties in woningen in het Gelders Rivierengebied en in Zuid-Limburg (subgroep 4 en 5). Ook is gekeken naar het aantal metingen dat nodig was om de onderzoeksvraag voor de nieuwgebouwde woningen ten opzichte van de laatste woningsurvey (subgroep 2 en 3) te beantwoorden. De beoogde steekproefgrootten per subgroep staan samengevat in Tabel 2.

Daarnaast hebben wij een afweging gemaakt of het gerechtvaardigd is om in de survey ook woningen mee te nemen zonder woonruimte op de begane grond of in een souterrain. Omdat een deel van het in het binnenmilieu aanwezige radon afkomstig is uit de bodem, verschillen de radonconcentraties in woningen waar alle woonruimten zich bevinden op een hogere verdieping van die van woningen met woonruimte op de begane grond of in een souterrain. In woningen waar de woonruimten zich bevinden op een hogere verdieping, zijn de radonconcentraties

gemiddeld lager. Het gaat hierbij om bijvoorbeeld bovenwoningen en woningen in flatgebouwen. we hebben ervoor gekozen deze woningen wel op te nemen in de steekproef omdat:

- Het woningbestand in Nederland ook hoogbouw bevat. Voor een volledig beeld van de blootstelling van inwoners van Nederland aan radon, en eventuele veranderingen daarin in de tijd, is het wenselijk deze woningen mee te nemen.
- In de vorige survey dit type woningen is opgenomen. Om de resultaten van de surveys met elkaar te kunnen vergelijken, is het wenselijk deze woningen nu ook te includeren.

De deelnemers aan het onderzoek hebben een vragenlijst ingevuld. Eén van de vragen ging over de woonlaag waar de detector heeft gehangen.

*Tabel 2 Beoogde steekproefgrootte per subgroep en de impact op de analyse. Van 1.369 gerealiseerde meetlocaties is het bouwjaar onbekend in verband met niet (volledig) ingevulde enquêtes.*

	<b>(Sub)groep</b>	<b>Beoogd aantal meetlocaties</b>	<b>Gerealiseerd aantal meetlocaties</b>	<b>Relevante deelvraag</b>
1.	Woningen verspreid over Nederland gebouwd voor 2005	300	666	Deelvraag 1: vergelijking op landelijk niveau, met de andere subgroepen en met het referentieniveau.
2.	Nieuwbouwwoningen in Nederland gebouwd vanaf 2013 (ook in Gelders Rivierenland en Zuid-Limburg)	350	355	Deelvraag 2; vergelijking met woningen gebouwd in 2005-2013.
3.	Woningen in Nederland gebouwd tussen 2005-2013	350	291	Deelvraag 2: vergelijking met nieuwbouwwoningen.
4.	Woningen in het Gelders Rivierengebied	300	310	Deelvraag 1: regionale verschillen.
5.	Woningen in Zuid-Limburg	300	389	Deelvraag 1: regionale verschillen.

### 3.1.2 *Werving deelnemers*

In 2022 zijn we gestart met het werven van deelnemers. Hiervoor is een wervingsfilmpje opgenomen waarin een wetenschappelijk medewerker van het RIVM uitleg geeft over wat radon is, waarom we onderzoek doen en hoe het onderzoek in zijn werk gaat. Dit filmpje is geplaatst op het RIVM-account van verschillende sociale mediaplatforms. Daarnaast is gebruikgemaakt van de mogelijkheid die deze platforms bieden om advertenties te plaatsen. Deze advertenties waren gericht op drie gebieden: het Gelders Rivierengebied, Zuid-Limburg en de rest van Nederland. Tegelijkertijd werden onder de medewerkers van het RIVM ook deelnemers geworven.

Representativiteit voor het Nederlandse woningbestand van de deelnemers was voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen geen vereiste.

Voor het aanmelden werden potentiële deelnemers verwezen naar de RIVM-webpagina over radon [22]. Op deze pagina stond nadere informatie over het onderzoek en een link naar het aanmeldformulier. Het aanmeldformulier bevatte enkele vragen over onder andere de locatie van de woning, het type woning, bouwjaar van de woning en de contactgegevens van de aanmelder. Met deze gegevens konden we de personen die zich hadden aangemeld indelen in één van de subgroepen uit Tabel 2.

Het aantal aanmeldingen voor deelname was veel groter dan de beoogde steekproefgrootte. Dit gold met name voor de categorie *Woningen verspreid over Nederland gebouwd voor 2005*. De steekproef is vergroot om zoveel mogelijk geïnteresseerden de gelegenheid te geven mee te doen. Het voor het project beschikbare budget was niet toereikend om iedereen die zich had aangemeld, een detector te sturen. De eerste 1.275 potentiële deelnemers die woonden in woningen in de categorie *Woningen verspreid over Nederland gebouwd voor 2005* hebben een detector opgestuurd gekregen. Mensen die in deze categorie vielen die zich later hadden aangemeld, kregen een afwijzing. Naar alle aanmelders in de overige categorieën is een detector verstuurd.

### 3.1.3 *Meetmethode en tijdschema*

De geselecteerde deelnemers ontvingen eind mei 2023 een envelop met hierin de radonmeter en een instructie voor het plaatsen van de meter. De volledige instructie staat in Bijlage III. De deelnemers hebben de meter in hun woning geplaatst en daar een jaar lang laten liggen. Tussendoor ontvingen de deelnemers een nieuwsbrief met informatie over het onderzoek en een vragenlijst die ze moesten invullen, zie paragraaf 3.1.4.

Aan het einde van de meetperiode hebben de deelnemers een brief met retourinstructie en een retourenvelop ontvangen. Onderaan de brief bevond zich een strook waarop de deelnemers de datum waarop ze de radonmeter hebben verwijderd, het nummer van de radonmeter en het adres van de woning konden invullen.

De meters zijn na ontvangst bij het RIVM in een plastic zakje verpakt, dat werd geseald om ervoor te zorgen dat de detectoren niet verder aan radon werden blootgesteld. De detectoren zijn vervolgens voor analyse naar het laboratorium gestuurd.

Start- en einddatum van de meetperiode zijn voor elke detector individueel vastgesteld op basis van de door de deelnemers verstrekte gegevens. Indien de startdatum niet bekend was, kozen we als start de datum waarop de meeste radonmeters zijn geplaatst. Als de einddatum niet bekend was, kozen we voor de verwijderdatum van de radonmeters die op dezelfde dag op het RIVM zijn ontvangen. Als er geen andere meters met een bekende verwijderdatum waren, gebruikten we als einddatum de ontvangstdatum op het RIVM minus 5 dagen.

Na de analyse van de radonmeters kregen alle deelnemers een brief met hun eigen meetresultaat en een toelichting daarbij.

### 3.1.4 *Vragenlijsten*

Deelnemers hebben bij de start van de meetperiode een vragenlijst ontvangen. In deze vragenlijst werd de deelnemers gevraagd naar hun postcode en huisnummer, het nummer van de radonmeter, de datum

waarop de radonmeter geplaatst is, de ruimte waar gemeten wordt en op welke verdieping deze ruimte zich bevindt.

Halverwege de meetperiode ontvingen deelnemers een nieuwsbrief met een link naar een uitgebreidere vragenlijst. Deze vragenlijst bestond uit meerdere delen. Het eerste deel van deze vragenlijst bestond uit een aantal algemene vragen. Deze vragen hadden als doel om de gegevens uit de vragenlijst aan de radonmeting te koppelen.

Het tweede deel van de vragenlijst ging over de (risico)perceptie van radon. Die vragen zijn gesteld om inzicht te krijgen in de gepercipieerde blootstelling, ervaren zorgen over de aanwezigheid van radon in de woning en de ervaren kwetsbaarheid om ziek te worden.

De vragen in het derde en vierde deel van de vragenlijst dienden ter ondersteuning van het onderzoek naar factoren die in Nederland van invloed kunnen zijn op de hoogte van het radonniveau. Deze factoren staan beschreven in paragraaf 2.4. In het derde deel werden vragen gesteld over eigenschappen van de woning en in het vierde deel over de ruimte waarin de radonmeter is geplaatst. Tenslotte konden de deelnemers opmerkingen plaatsen die ze eerder in de vragenlijst niet kwijt konden. De volledige vragenlijst met antwoordmogelijkheden staat in Bijlage II.

### 3.1.5 *Terugblik op meetcampagne 2013-2014*

Het vorige RIVM-onderzoek naar de gemiddelde concentratie en naar de verdeling van de jaargemiddelde radon- en thorondochterconcentratie in Nederlandse woningen vond plaats in 2013-2014. Daarbij is ook gekeken of we verschillen zien, bijvoorbeeld per bouwperiode of voor verschillende regio's in Nederland.

Bij de selectie van de deelnemers is destijds in eerste instantie willekeurig een groep van bijna 10.000 woningen uitgekozen die representatief is voor het Nederlands woningbestand vanaf 1930. In tegenstelling tot het huidige onderzoek was er 2013-2014 geen extra aandacht voor bepaalde regio's binnen Nederland.

In 2013-2014 kregen de bewoners van de geselecteerde woningen een brief met de uitnodiging om deel te nemen aan het onderzoek. Enkele duizenden bewoners reageerden daarop positief. De bewoners van 2.900 woningen hebben vervolgens passieve radon- en thorondochtermeters ontvangen met de vraag om deze in de woning te plaatsen. Ook is de bewoners gevraagd om een vragenlijst in te vullen, zodat de meetresultaten uitgesplitst konden worden naar bijvoorbeeld wijze van ventilatie of rookgedrag.

## 3.2 **In de analyse gebruikte datasets**

Bij de analyses is gebruikgemaakt van de datasets die verkregen zijn in de huidige meetcampagne, 2022-2023, en/of de voorgaande meetcampagne in 2013-2014. Zo omvat paragraaf 4.6 een analyse van factoren die de radonconcentratie in woningen beïnvloeden. In veel gevallen zijn hierbij data van de survey uit 2013-2014 en die van de huidige survey gecombineerd. Hiermee is een grotere dataset verkregen



dan bij gebruik van de data uit 2022-2023 alleen. De opzet van het huidige onderzoek is erop ingericht dit mogelijk te maken. In het bijzonder zijn aanvullende gegevens die in 2013-2014 verzameld zijn, ook in 2022-2023 verzameld. Bij alle figuren in dit rapport is in de subtitel aangegeven van welke meetcampagne(s) de data is meegenomen.

### 3.2.1 *Campagne 2013-2014*

Naast de gemeten radonconcentraties zijn bij de deelnemers van het radononderzoek aanvullende gegevens uitgevraagd. Deze gegevens omvatten het woningtype, de bouwperiode van de woning, de ventilatiemethode, in welke ruimte de radonmeter geplaatst is, en of er binnenshuis gerookt wordt. Ook is de locatie (postcode en huisnummer) van de deelnemende woningen bekend.

### 3.2.2 *Campagne 2022-2023*

Behalve de gemeten radonconcentraties is ook via een enquête informatie opgevraagd bij de deelnemers over hun woning. Hierbij zijn deels dezelfde variabelen opgevraagd als in 2013-2014 (woningtype, bouwjaar, ventilatiemethode en binnenshuis roken). Ook zijn woningeigenschappen uitgevraagd: of de woning gerenoveerd is (en zo ja: wanneer), of de woning verduurzaamd is, of isolatie van vloer, dak en/of muren aanwezig is, wat het materiaal van muur- en vloerconstructie is en of er een kruipruimte of kelder aanwezig is. Daarnaast zijn vragen gesteld over gedrag in de woning: op welke momenten er wordt geventileerd door het openen van ventilatieroosters of ramen/deuren en de redenen van deelnemers om niet of minder te ventileren. Ook is de locatie (postcode en huisnummer) van de deelnemende woningen bekend.

### 3.2.3 *Representativiteit en statistisch gecorrigeerde data*

Eén van de doelen van de huidige survey is meer inzicht te krijgen in de radonconcentraties in woningen in de twee potentiële risicogebieden, het Gelders Rivierengebied en Zuid-Limburg. Daarnaast heeft het onderzoek als doel de gemiddelde radonconcentratie in heel Nederland te onderzoeken.

In de totale steekproef zijn meer woningen uit de potentiële risicogebieden opgenomen dan het geval geweest zou zijn als we hadden gestreefd naar een representatieve verdeling van woningen over heel Nederland, zie Tabel 3. Woningen uit de potentiële risicogebieden zijn dus oververtegenwoordigd. Daarnaast is ook de verhouding tussen het aantal eengezins- en meergezinswoningen in dit onderzoek anders dan gemiddeld in Nederland. De gemiddelde radonconcentratie voor de woningen in dit onderzoek zal naar verwachting geen goed beeld geven van de gemiddelde radonconcentratie in het Nederlandse woningbestand. De woningen in deze survey zijn niet representatief voor de geografische verdeling van woningen voor heel Nederland.

Om een zo goed mogelijk beeld te krijgen van de radonconcentratie waaraan inwoners van Nederland gemiddeld in huis worden blootgesteld, kan de dataset statistisch gecorrigeerd worden op basis van een aantal voor heel Nederland bekende parameters, namelijk het woningaantal en woningtype (eengezins/meergezins). Zowel het aantal woningen, als de bijbehorende verhouding meergezins- versus

eengezinswoningen is per postcodegebied uit de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG) [23] gehaald. Voor elke regio wordt de dataset vervolgens statistisch gecorrigeerd voor de verhouding tussen het aantal meergezins- en eengezinswoningen dat in het gebied staat ten opzichte van de woningen in de dataset. Ook wordt statistisch gecorrigeerd voor het aantal woningen in de dataset dat zich in een bepaald gebied bevindt, ten opzichte van het totale aantal woningen in dit gebied. Als bijvoorbeeld de dataset relatief weinig woningen bevat uit een gebied waar veel woningen staan, tellen deze meetpunten zwaarder mee. Zo wordt de dataset meer representatief voor de werkelijke situatie. De gebieden worden gekozen op basis van de eerste twee cijfers van de postcode, ofwel het tweecijferig postcodegebied.

### 3.3 Grondsoorten

Het is bekend dat de grondsoort invloed heeft op de radonconcentratie binnenshuis [2]. Verschillende grondsoorten bevatten verschillende concentraties aan radon en aan radon producerende modernnucliden. Ook varieert de doorlaatbaarheid voor radongas tussen grondsoorten. Daarom is voor de meetpunten van beide meetcampagnes de grondsoort bepaald waarop de betreffende woning was gebouwd. Dit is in drie stappen gedaan.

Eerst is de Grondsoortenkaart van Nederland 2006 [24] gebruikt. Deze kaart geeft een globaal overzicht van de bodemgesteldheid in Nederland. Als op deze kaart de grondsoort is aangegeven voor de locatie waar een meetpunt zich bevond, is deze gebruikt. In bebouwd gebied, waar de natuurlijke situatie is verstoord, geeft deze kaart geen informatie over de grondsoort ter plaatse.

In de tweede stap is gebruikgemaakt van de Geologiekaart 2021 [25] voor locaties waarvoor in de eerste stap geen grondsoort kon worden bepaald. Op deze kaart is Nederland ingedeeld in geologische gebieden met overeenkomende samenstelling van de bovenste meters van de bodem. Een deel van de geologische codes van deze kaart kon gekoppeld worden aan een grondsoort, zoals gedefinieerd in de Grondsoortenkaart van Nederland 2006.

Ten slotte is een handmatige beoordeling van de grondsoort gemaakt voor meetpunten met een radonconcentratie boven het Nederlandse referentieniveau ( $100 \text{ Bq/m}^3$ ) en meetpunten in Zuid-Limburg en het Gelders Rivierengebied waarvoor nog geen (hoofd)grondsoort gevonden was. Hiervoor zijn drie kaartlagen gebruikt: de Grondsoortenkaart van Nederland 2006, de Geologie kaart 2021 en de Basiskaart Natuurlijk Systeem Nederland [26]).

### 3.4 Analyses

Deze paragraaf beschrijft de verschillende analysetechnieken die gebruikt zijn om de onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden. In de volgende sectie staat een tekstbox waarin de twee in dit rapport gebruikte manieren om gemiddelden uit te rekenen (rekenkundig en geometrisch gemiddelde) worden uitgelegd. Om significante verbanden aan te tonen, wordt bij de analyse gebruikgemaakt van statistische toetsen. Aan het einde van de paragraaf staat een tekstbox waarin de gebruikte statistische toetsen toegelicht worden.

## 3.4.1

*Algemeen beeld radon in woningen in Nederland*

Voor een algemeen beeld van radon in woningen in Nederland wordt de gemiddelde radonconcentratie berekend. De radonconcentratie in woningen is over het algemeen lognormaal verdeeld [27]. Ook in de radonsurveys uit 2013-2014 en 2022-2023 volgde de verdeling van de gemeten radonconcentraties bij benadering een lognormale verdeling.

**Geometrisch gemiddelde en rekenkundig gemiddelde**

Bijna iedereen kent het rekenkundig gemiddelde: in dagelijks gebruik wordt dit simpelweg het 'gemiddelde' genoemd. Het rekenkundig gemiddelde  $a_{rg}$  over een verzameling getallen  $\{a_1, \dots, a_n\}$  wordt berekend als de som van de getallen, gedeeld door het aantal getallen ( $n$ ):

$$a_{rg} = \frac{\sum_i^n a_i}{n}$$

Het geometrisch gemiddelde  $a_{gg}$  is een ander voorbeeld van een gemiddelde van een set van  $n$  getallen  $\{a_1, \dots, a_n\}$ , dat berekend wordt als de  $n$ -de wortel van het product van de getallen:

$$a_{gg} = \sqrt[n]{\prod_i^n a_i}$$

Bij een lognormale verdeling is het geometrisch gemiddelde informatiever dan het bekendere rekenkundige gemiddelde [27]. De lognormale verdeling heeft namelijk een lange staart. De hoge waarden in deze staart hebben een grote invloed op de waarde van het rekenkundig gemiddelde, dat vaak veel hoger is dan de mediane waarde. Het geometrisch gemiddelde is minder gevoelig voor piekwaarden in de staart van de verdeling.

In eerdere rapporten werd alleen het rekenkundig gemiddelde gerapporteerd. Om vergelijking met eerdere rapportages mogelijk te maken, is het rekenkundig gemiddelde ook in dit onderzoek berekend en gerapporteerd.

Omdat de radonwaarden in deze survey bij benadering lognormaal verdeeld waren, is ervoor gekozen om behalve het rekenkundige gemiddelde ook het geometrisch gemiddelde te rapporteren. Internationaal wordt, naast het rekenkundig gemiddelde, ook het geometrische gemiddelde vaak toegepast bij de analyse van radonconcentraties. De keuze om ook het geometrisch gemiddelde te rapporteren, vergemakkelijkt daarmee internationale vergelijkingen.

Als maat voor de betrouwbaarheid van het geometrisch gemiddelde zal (tussen haken) het 95 procent-betrouwbaarheidsinterval van het geometrisch gemiddelde gegeven worden: dit zijn de waarden waar met 95 procent zekerheid het geometrisch gemiddelde tussen zal liggen. Het betrouwbaarheidsinterval is berekend aan de hand van het geometrisch gemiddelde en de geometrische standaardafwijking van het gemiddelde (de zogenoemde 'standard error of the mean').

In het vorige rapport van de meetcampagne in 2013-2014 [2] werd het rekenkundige gemiddelde gerapporteerd. Bij vergelijkingen met het vorige rapport wordt in dit rapport ook het rekenkundige gemiddelde gerapporteerd. Ook worden de gemeten radonconcentraties geplot in een histogram. Om de histogrammen van 2013-2014 en 2022-2023 onderling te kunnen vergelijken, wordt hierbij gebruikgemaakt van de gecorrigeerde dataset, zie paragraaf 3.2.3.

Andere waardes die gerapporteerd worden, zijn de mediaan en het aantal meetwaarden boven het Nederlands referentieniveau van 100 Bq/m<sup>3</sup>. Als maat voor de spreiding van de metingen wordt het 95 procent-betrouwbaarheidsinterval van alle meetwaarden berekend: dit zijn de waardes waar een meetwaarde met 95 procent zekerheid tussen zal liggen.

Om regionale verschillen te onderscheiden, worden ook de gemiddelden van de radonconcentratie per regio (Gelders Rivierengebied, Zuid-Limburg en de rest van Nederland) berekend. Ook wordt per regio een histogram van de gemeten radonconcentraties getoond. Binnen de regio's is niet meer statistisch gecorrigeerd voor eengezins- en meergezinswoningen.

De radonconcentraties van de radonsurvey van 2022-2023 worden vergeleken met de waarden die gemeten zijn bij de vorige radonsurvey in 2013-2014 en met het Nederlandse referentieniveau (100 Bq/m<sup>3</sup>).

### Boxplots

Bij de analyses van factoren die de radonconcentratie in woningen kunnen beïnvloeden, maken we gebruik van zogenoemde boxplots. In een boxplot, of: box-whisker-plot, wordt een gebied aangegeven waarin 50 procent van alle meetwaarden vallen waarbij met een horizontale lijn de mediaan is aangegeven. Dit is de box. De spreiding tussen de hoogste en laagste waarden wordt aangegeven door de whiskers. Dit zijn verticale lijnen in de plot. In dit rapport kappen we ter verhoging van de leesbaarheid de whiskers veelal af bij 150 Bq/m<sup>3</sup>.

#### 3.4.2

##### *Overzicht van alle berekende variabelen*

Voor het presenteren van de meetresultaten zijn verschillende variabelen berekend en (in tabellen) weergegeven. Dit zijn de volgende variabelen:

- Het aantal meetpunten per geanalyseerde groep.
- Het percentage meetpunten per groep ten opzichte van het totaal aantal meetpunten.
- Het (geometrisch) gemiddelde.
- Het 95 procent-betrouwbaarheidsinterval van het geometrisch gemiddelde (tussen haken).
- Het rekenkundig gemiddelde.
- De mediaan; dit is de waarde die zich in het midden van een (op hoogte van de datapunten gesorteerde) dataset bevindt. Er zijn dus evenveel datapunten hoger dan de mediaan, als dat er lager dan de mediaan zijn. Als de mediaan en het gemiddelde ver uiteen liggen is dit een indicatie van een asymmetrisch verdeelde dataset.
- De limieten van het 95% betrouwbaarheidsinterval van alle gemeten radonconcentraties (het 2,5e en 97,5e percentiel van alle meetwaarden).

- Het aantal meetpunten per groep dat het Nederlands referentieniveau overschrijdt, en het percentage van dit aantal ten opzichte van het aantal meetpunten in deze groep

### 3.4.3 *Bouwjaar*

Voor de beantwoording van deelvraag 2 'Wat is de gemiddelde jaargemiddelde radonconcentratie in het binnenmilieu in Nederlandse woningen die zijn gebouwd na 2013?' zijn de radonconcentraties in woningen die sinds de vorige radonsurvey (bouwjaar na 2013) gebouwd zijn, vergeleken met oudere woningen. De radonconcentraties van beide groepen zijn geplot in boxplots (zie kader) en de gemiddelden van de radonconcentraties zijn voor beide groepen berekend. Ook is getest of de radonconcentraties in woningen die sinds 2013 gebouwd zijn, significant verschillend zijn van eerder gebouwde woningen. Hierbij worden de data niet statistisch gecorrigeerd.

### 3.4.4 *Multivariate-analyse*

Om vast te stellen welke in deze survey onderzochte variabelen gecorreleerd zijn aan een hogere of lagere radonconcentratie in woningen, hebben we eerst een *multivariate-analyse* uitgevoerd. Hiervoor hebben we een zogenoemde *regressieanalyse* toegepast, met als input alle onderzochte variabelen waarvan voorafgaand aan de studie de verwachting was dat ze zouden kunnen bijdragen. Regressieanalyse is een statistische techniek die kan worden gebruikt om relaties tussen variabelen te onderzoeken. Bij een multivariate-analyse worden meerdere variabelen tegelijk geanalyseerd. In dit onderzoek is regressieanalyse toegepast om te onderzoeken of radonconcentraties in verband gebracht kunnen worden met een aantal eigenschappen van de woningen waar is gemeten. Het gaat daarbij om de volgende variabelen:

- Grondsoort
- Bouwperiode
- Binnenshuis roken
- Ruimte
- Verdieping
- Woningtype (eengezins of meergezins)
- Verduurzaming
- Renovatie
- Renovatieperiode (wanneer is er gerenoveerd)
- Aanwezigheid van kelder
- Aanwezigheid van een kruipruimte
- Materiaal van de vloerconstructie en muurconstructie
- Isolatie van vloer, muur en dak
- Redenen om niet te ventileren
- Ventilatiesysteem
- Frequentie van openen van ramen en deuren of ventilatieroosters

De multivariate-analyse hebben we uitgevoerd met gecombineerde data van 2013-2014 en 2022-2023, om een zo groot mogelijke statistische power te krijgen. We hebben gecorrigeerd voor het verschil in gemiddelde radonconcentraties tussen de meetjaren door het meetjaar als dummyvariabele toe te voegen. Dat wil zeggen dat naast de variabelen in bovenstaand overzicht aan de analyse één extra variabele is toegevoegd om een eventueel effect van het meetjaar te

onderzoeken. Uit de analyse volgt welke van de variabelen significant gecorreleerd zijn met een hogere of lagere radonconcentratie.

#### 3.4.5 *Univariate-analyse*

Voor elk van de variabelen die in de multivariate-analyse een significant verband met de radonconcentratie bleken te hebben, hebben we een individuele analyse uitgevoerd. In deze zogenoemde *univariate-analyse* is per variabele bekeken of er een verband was met de hoogte van gemeten radonconcentraties. Bijvoorbeeld: is bij woningen gebouwd op de grondsoort 'Klei' de radonconcentratie significant hoger of lager dan de radonconcentraties bij woningen gebouwd op andere grondsoorten?

#### 3.4.6 *Analyse perceptiedata*

De samenhang tussen de gemeten radonconcentratie en de gepercipieerde blootstelling, ervaren zorgen en ervaren kwetsbaarheid is onderzocht. We hebben de statistische correlatie tussen de gemeten radonconcentratie en de drie variabelen (gepercipieerde blootstelling, ervaren zorgen en ervaren kwetsbaarheid) berekend. Ook is de onderlinge correlatie tussen de gepercipieerde blootstelling, de ervaren zorgen en de ervaren kwetsbaarheid berekend. Bij alle analyses hebben we ook onderzocht of er regionale verschillen zijn.

#### **Extra toelichting op de statistische analyse**

We hebben een Shapiro-Wilktest uitgevoerd om te testen of de gemeten radonconcentraties lognormaal verdeeld zijn. Hoewel de data een lognormale verdeling benadert, volgt de data de lognormale verdeling niet volledig en was de test niet significant ( $p > 0,05$ ). Daarom wordt gebruik gemaakt van non-parametrische tests bij het vervolg van de statistische analyse.

Bij de regressieanalyse wordt bekeken welke variabelen mogelijk bijdragen aan de radonconcentratie binnenshuis. Hierbij hebben we gebruik gemaakt van een lineaire regressie. Bij de regressieanalyse kan het voorkomen dat meer variabelen lijken bij te dragen aan de radonconcentratie dan daadwerkelijk het geval is.

Bij de univariate-analyse wordt onderzocht of er statistisch significante verschillen in radonconcentratie zijn tussen verschillende groepen van een variabele, zoals de groepen eengezins- en meergezinswoningen van de variabele 'woningtype'. Wanneer er twee verschillende groepen zijn, zoals bij de variabele 'woningtype', wordt de Mann-Whitney U-test toegepast. Wanneer er meer dan twee verschillende groepen zijn voor een variabele, zoals bij de grondsoort het geval is, wordt de Kruskal-Wallistest gebruikt. De univariate-analyse laat zien of er inderdaad een verband bestaat tussen de variabele en de radonconcentratie, en welke groep van de variabele dan een hogere of juist lagere (gemiddelde) radonconcentratie heeft. Bij meer dan twee groepen wordt gebruikgemaakt van de Kruskal-Wallistest. In de resultaten van deze analyse staan alleen de variabelen met een significante correlatie met de radonconcentratie.

Ook bij de analyse van de perceptiedata zijn alleen non-parametrische tests toegepast. De correlatie tussen de antwoorden van de deelnemers op de drie uitkomstmaten en de daadwerkelijk gemeten

radonconcentraties hebben we onderzocht door de Spearman's rangcorrelatiecoëfficiënten te berekenen. De Kruskal-Wallistest hebben we gebruikt om te onderzoeken of er verschillen zijn tussen de regio's. Wanneer de Kruskal-Wallistest significant was, hebben we een paarsgewijze vergelijking tussen twee regio's uitgevoerd met de post hoc Dunn-Bonferronitest. De Dunn test is de standaardprocedure om te bepalen welke groepen significant van elkaar verschillen nadat een Kruskal-Wallistoets is uitgevoerd. Een Bonferroni-correctie is toegepast om te corrigeren voor mogelijke vals-positieve bevindingen (Type 1 error) wanneer er meerdere vergelijkingen worden gedaan.

Bij alle statistische tests is een significantieniveau van  $p < 0,05$  gebruikt.





## 4 Resultaten woningen

### 4.1 Deelnemers en representativiteit

Er waren 4.980 aanmeldingen voor deelname aan het radononderzoek. Onder de aanmeldingen zijn 3.064 deelnemers geselecteerd op basis van locatie, bouwjaar van de woning en aanmelddatum, en zij hebben radonmeters ontvangen. Van die 3.064 zijn 2.858 radonmeters na plaatsing door de deelnemers geregistreerd. 2.690 radonmeters zijn aan het einde van de meetperiode terugontvangen en opgestuurd naar Radonova om te worden uitgelezen. 2.682 meters konden succesvol worden uitgelezen en leverden een meetresultaat op. De vragenlijst is door 1.652 deelnemers deel en door 1.540 deelnemers volledig ingevuld. Alle deelnemers hebben een brief ontvangen met hun eigen meetresultaat en een uitleg wat dit meetresultaat betekent.

Na analyse van de detectoren hebben we telefonisch contact opgenomen met deelnemers bij wie de gemeten radonconcentratie hoger was dan  $150 \text{ Bq/m}^3$ . Tijdens dit contact gingen we na of de meting volgens de instructie was uitgevoerd en er geen bijzonderheden waren die het meetresultaat (sterk) kunnen beïnvloeden. Het ging hierbij om 25 deelnemers. In één geval bleek de gemeten waarde niet reëel te zijn. Bij deze deelnemer heeft de meter in de kruipruimte gehangen. Deze meting is niet geïnccludeerd in de verdere analyse (voor meer informatie, zie paragraaf 4.7). Het aantal metingen waarvan de resultaten gebruikt is, komt hiermee op 2.681. Zie Tabel 3 voor een overzicht van alle deelnemende woningen. De tabel laat zien dat de woningen in de steekproef geen representatieve afspiegeling vormen van het woningbestand. Woningen in het Gelders Rivierengebied en in Zuid-Limburg waren oververtegenwoordigd; van alle woningen buiten deze twee potentiële risicogebieden voor verhoogde radonconcentraties is maar 0,03 procent opgenomen in de steekproef. Voor Zuid-Limburg was dit percentage met 0,15 procent veel hoger. Dit was een gevolg van de onderzoeksopzet. Daarnaast zijn eengezinswoningen oververtegenwoordigd in de steekproef. Dit was geen onderdeel van de onderzoeksopzet. Waar dit relevant is in de analyses, is hiermee rekening gehouden.

Tabel 3 Voor de meetjaren 2022-2023 per regio (Z-L: Zuid-Limburg; GR: Gelders Riviereengebied; NL: rest van Nederland) het beoogd aantal deelnemers en het aantal verzonden meters. Het aantal gerealiseerde meetlocaties is het aantal afgeronde metingen per regio, (aantal) en welk percentage dit is van het aantal woningen dat per regio geregistreerd staat in de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (% van woningbestand). Ook is het aantal meetlocaties weergegeven waarvan bekend is of het gaat om een meergezins- en eengezinswoning en welk percentage dit is van het totaal aantal meergezins- of eengezinswoningen in de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (% van woningbestand).

Meetjaar	Regio	Beoogd aantal deelnemers	Aantal verzonden radonmeters	Gerealiseerde meetlocaties		Meergezinswoningen		Eengezinswoningen	
				Aantal	% van woningbestand	Aantal	% van woningbestand	Aantal	% van woningbestand
2022-2023	NL	1000	2244	1982	0,03%	241	0,01%	1215	0,04%
	GR	300	349	310	0,08%	26	0,03%	247	0,10%
	Z-L	300	471	389	0,15%	27	0,03%	337	0,17%
	<b>Totaal</b>	<b>1600</b>	<b>3064</b>	<b>2681</b>	<b>0,03%</b>	<b>294</b>	<b>0,02%</b>	<b>1799</b>	<b>0,05%</b>
2013-2014	NL			2345	0,03%	350	0,02%	1792	0,04%
	GR			119	0,03%	10	0,01%	97	0,03%
	Z-L			86	0,03%	7	0,01%	72	0,03%
	<b>Totaal</b>			<b>2550</b>	<b>0,03%</b>	<b>367</b>	<b>0,02%</b>	<b>1961</b>	<b>0,04%</b>

#### 4.1.1 Deelnemers en representativiteit perceptieonderzoek

In totaal hebben 1.652 deelnemers de perceptie-vragen ingevuld. De meeste deelnemers (ruim 68%) hebben hoger beroepsonderwijs (hbo) of wetenschappelijk onderwijs (wo) afgerond. Dit is een ruime oververtegenwoordiging van hoger opgeleiden ten opzichte van de Nederlandse bevolking. In 2021 was 35,5 procent van de 15- tot 75-jarigen in Nederland hoogopgeleid [28]. Tabel 4 toont een overzicht de deelnemers, verdeeld over regio en opleidingsniveau. Er zijn geen gegevens bekend over leeftijd en geslacht van de deelnemers.

Tabel 4 Overzicht deelnemers perceptieonderzoek per regio en hoogst afgeronde opleiding

Deelnemers	aantal (%)
<b>Totaal</b>	<b>1.652 (100%)</b>
<b>Regio</b>	
Zuid-Limburg	249 (15%)
Gelders rivierengebied	192 (12%)
Rest van Nederland	1211 (73%)
<b>Opleidingsniveau</b>	
Geen diploma	8 (0.5%)
Basisonderwijs	4 (0.2%)
Voortgezet onderwijs (vmbo, havo, vwo)	148 (9%)
Middelbaar beroepsonderwijs (mbo)	337 (20.4%)
Hoger onderwijs (hbo, wo)	1.128 (68.3%)

De belangrijkste reden om deel te nemen aan het radononderzoek is persoonlijke interesse (413 keer genoemd) of nieuwsgierig(heid) (211 keer genoemd) in het onderwerp.

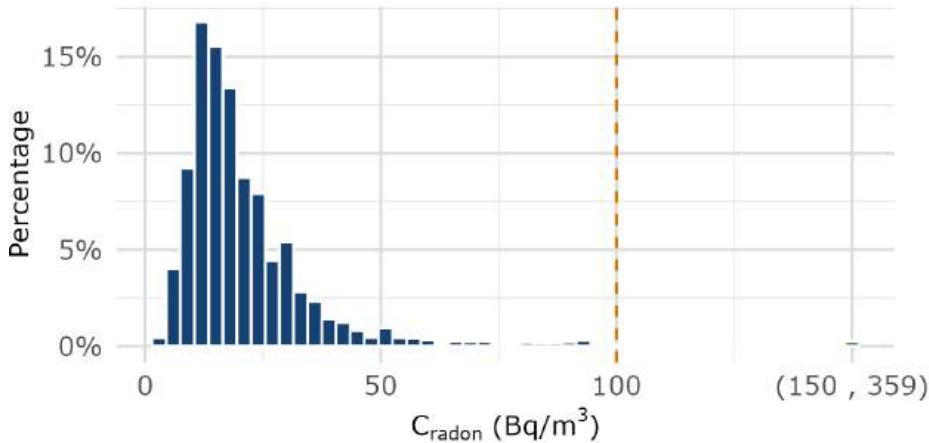
#### 4.2 Algemeen beeld radonwaarden in Nederland

De (statistisch gecorrigeerde) rekenkundig gemiddelde radonconcentratie in heel Nederland in 2022-2023 was 21,7 Bq/m<sup>3</sup>. De geometrisch gemiddelde radonconcentratie in heel Nederland in 2022-2023 was 18,1 Bq/m<sup>3</sup>, met een 95 procent-betrouwbaarheidsinterval van (18,1 – 18,2) Bq/m<sup>3</sup> (zie Tabel 5 voor meer informatie). Hierbij is gecorrigeerd voor het aantal woningen en de verhouding tussen eengezins- en meergezinswoningen per tweecijferig postcodegebied. De gemeten radonwaarden zijn weergegeven in een histogram (Figuur 4.1). Hierin is een piek te zien bij een radonconcentratie van ongeveer 15-20 Bq/m<sup>3</sup>. Dit is in overeenstemming met de rekenkundig gemiddelde radonconcentratie. De hoogst gemeten waarde was 359 Bq/m<sup>3</sup>.

## Radonconcentraties binnenshuis in heel Nederland

Campagne(s): 2022-2023

Gecorrigeerd voor woningaantal en woningtype



Figuur 4.1 Histogram van de gemeten radonconcentraties van de survey van 2022-2023, gecorrigeerd voor woningaantal en woningtype (eengezins- of meergezins) per 2-cijferig postcodegebied. Alle metingen boven 150 Bq/m<sup>3</sup>, zijn gecombineerd weergegeven (groen). Het gaat hierbij om 24 meetpunten. De laagste gemeten radonconcentratie was 3 Bq/m<sup>3</sup>. De hoogst gemeten radonconcentratie was 359 Bq/m<sup>3</sup>. De oranje stippellijn geeft het Nederlandse referentieniveau weer. De y-as geeft het percentage woningen t.o.v. het totaal weer.

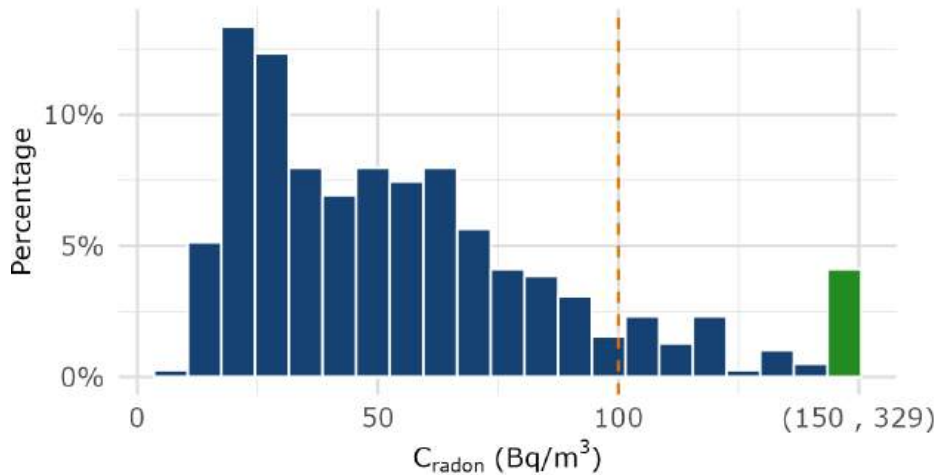
### 4.2.1

#### Regionale verschillen

Er zijn regionale verschillen in de gemeten radonconcentraties. In Zuid-Limburg was de gemeten radonconcentratie gemiddeld het hoogst. In 389 woningen in Zuid-Limburg vonden geldige metingen plaats (dit is 14,5% van het totaal aantal geldige metingen in de survey). De geometrisch gemiddelde radonconcentratie was hier 47,3 (44,4 – 50,5) Bq/m<sup>3</sup>. In de 310 woningen in het Gelders Rivierengebied waar geldige metingen zijn verkregen (11,6% van het totaal in deze survey) was de geometrisch gemiddelde radonconcentratie 27,1 (25,0 – 29,3) Bq/m<sup>3</sup>. In de 1.982 woningen in de rest van Nederland (73,9% van het totaal) was de geometrisch gemiddelde radonconcentratie 17,3 (16,9 - 17,7) Bq/m<sup>3</sup>. Hierbij is niet gecorrigeerd voor woningaantal en woningtype per postcodegebied. De gemeten radonconcentraties zijn weergegeven in histogrammen in Figuur 4.2, Figuur 4.3, en Figuur 4.4.

### Radonconcentraties binnenshuis in Zuid-Limburg

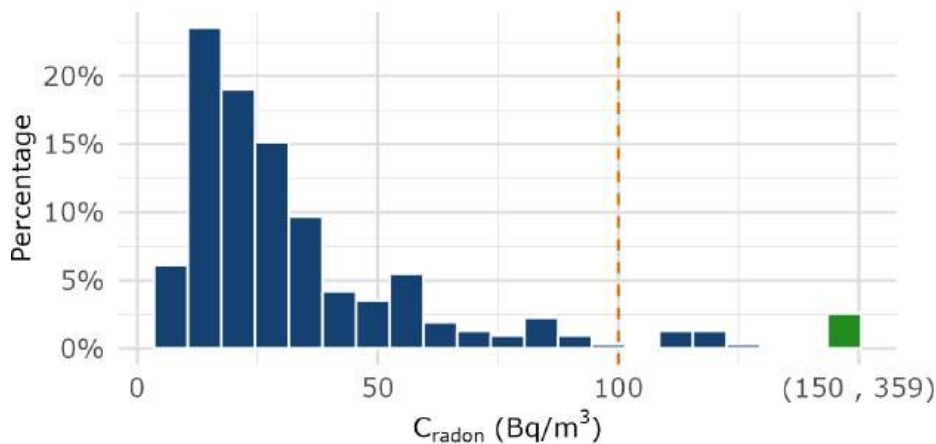
Campagne(s): 2022-2023



Figuur 4.2 Histogram van de gemeten radonconcentraties in Zuid-Limburg voor de survey van 2022-2023. De groene staaf representeert alle meetwaarden van 150  $\text{Bq/m}^3$  en hoger. Dit waren er 16. De laagst gemeten radonconcentratie was 10  $\text{Bq/m}^3$ . De hoogst gemeten radonconcentratie was 329  $\text{Bq/m}^3$ . De oranje stippellijn geeft het Nederlandse referentieniveau weer. De y-as geeft het percentage woningen t.o.v. het totaal weer.

### Radonconcentraties binnenshuis in het Gelders Rivierengebied

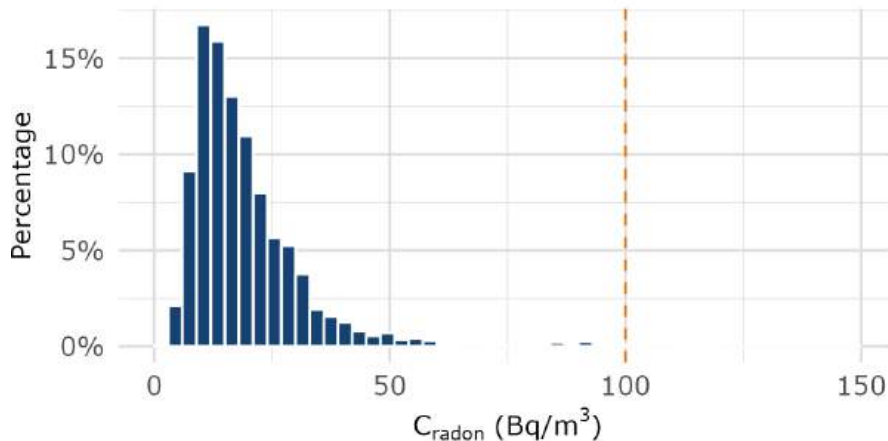
Campagne(s): 2022-2023



Figuur 4.3 Histogram van de gemeten radonconcentraties in het Gelders rivierengebied voor de survey van 2022-2023. De groene staaf representeert alle meetwaarden van 150  $\text{Bq/m}^3$  en hoger. Dit waren er 8. De laagst gemeten radonconcentratie was 5  $\text{Bq/m}^3$ . De hoogst gemeten radonconcentratie was 359  $\text{Bq/m}^3$ . De oranje stippellijn geeft het Nederlandse referentieniveau weer. De y-as geeft het percentage woningen t.o.v. het totaal weer.

## Radonconcentraties binnenshuis in de rest van Nederland

Campagne(s): 2022-2023



Figuur 4.4 Histogram van de gemeten radonconcentraties in de rest van Nederland (i.e. heel Nederland exclusief Zuid-Limburg en het Gelders Rivierengebied) voor de survey van 2022-2023. De laagst gemeten radonconcentratie was 3 Bq/m<sup>3</sup>. De hoogst gemeten radonconcentratie was 118 Bq/m<sup>3</sup>. De oranje stippellijn geeft het Nederlandse referentieniveau weer. De y-as geeft het percentage woningen t.o.v. het totaal weer.

### 4.2.2

#### Resultaten uit 2013-2014 vergeleken met resultaten uit 2022-2023

De radonconcentraties die gemeten zijn in de huidige survey (van 2022-2023) zijn hoger dan de radonconcentraties die gemeten zijn in de vorige survey (van 2013-2014). Figuur 4.5 geeft de in 2013-2014 gemeten radonconcentraties weer in een histogram. De gemiddelden en betrouwbaarheidsintervallen staan in Tabel 5. Vergeleken met de metingen uit 2022-2023 (zie Figuur 4.1) was in 2013-2014 niet alleen de gemiddelde radonconcentratie lager, maar waren er ook minder waarden boven het referentieniveau en was de hoogst gemeten waarde lager dan die in 2022-2023. In 2013-2014 werd in 10 van de 2.553 deelnemende woningen het referentieniveau overschreden, dit is 0,4% van de deelnemende woningen. In 2022-2023 waren dit er 71 van de 2.681, ofwel 2,7 procent van de deelnemende woningen. Wel lag in 2022-2023 een groter aandeel van de deelnemende woningen in Zuid-Limburg of het Gelders Rivierengebied dan in 2013-2014. In 2022-2023 waren er 389 (14,5% van het totaal) en 310 (11,6% van het totaal) woningen en in 2013-2014 waren er 86 (3,4% van het totaal) en 120 (4,7% van het totaal) woningen uit respectievelijk Zuid-Limburg en het Gelders Rivierengebied.

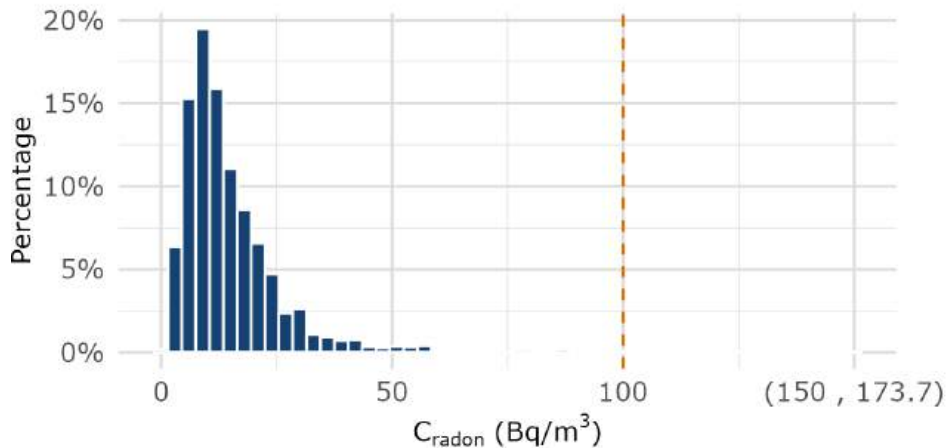
In het rapport uit 2015 [2] werd het rekenkundig gemiddelde gerapporteerd. Er werd niet gecorrigeerd voor woningaantal en woningtype per postcodegebied. Zonder correctie was het rekenkundig gemiddelde 15,7 Bq/m<sup>3</sup> voor de metingen van 2013-2014. Om de resultaten van 2013-2014 zoveel mogelijk vergelijkbaar te maken met die van 2022-2023, hebben we ook op de data uit 2013-2014 een correctie voor samenstelling van het woningbestand toegepast. Na correctie was het rekenkundig gemiddelde 15,5 Bq/m<sup>3</sup> in 2013-2014 en 21,7 Bq/m<sup>3</sup> in 2022-2023, zie ook Tabel 5. Het geometrisch gemiddelde

van de radonconcentraties was na correctie 11,9 Bq/m<sup>3</sup> in 2013-2014 en 18,1 Bq/m<sup>3</sup> in 2022-2023. Zowel het rekenkundige als het geometrische gemiddelde lag in 2022-2023 dus ongeveer anderhalf keer hoger dan tien jaar eerder.

### Radonconcentraties binnenshuis in heel Nederland

*Campagne(s): 2013-2014*

*Gecorrigeerd voor woningaantal en woningtype*



*Figuur 4.5 Histogram van de gemeten radonconcentraties in heel Nederland voor de survey van 2013-2014. Hierbij is gecorrigeerd voor woningaantal en woningtype (eengezins- of meergezins) per postcodegebied. De laagst gemeten radonconcentratie was 1 Bq/m<sup>3</sup>. De hoogst gemeten radonconcentratie was 174 Bq/m<sup>3</sup>. De oranje stippellijn geeft het Nederlandse referentieniveau weer. De y-as geeft het percentage woningen t.o.v. het totaal weer.*

#### 4.2.3 Referentieniveau en streefwaarde

Het Nederlands referentieniveau voor de radonconcentratie is door de overheid vastgesteld op 100 Bq/m<sup>3</sup>. [6]. Een referentieniveau is geen strikte limiet die niet mag worden overschreden. Overschrijding van de referentiewaarde dient wel zoveel als redelijkerwijs mogelijk te worden voorkomen. In de meeste woningen is de gemeten radonconcentratie lager dan het referentieniveau, zie Tabel 5. In Limburg zien we de meeste overschrijdingen van het referentieniveau: in 12,3 procent van de deelnemende woningen werd een radonconcentratie boven de 100 Bq/m<sup>3</sup> gemeten. We merken hierbij op dat eengezinswoningen oververtegenwoordigd waren in de steekproef. Omdat eengezinswoningen vaker grondgebonden zijn dan meergezinswoningen, zal het percentage eengezinswoningen waar het referentieniveau wordt overschreden in eengezinswoningen naar verwachting hoger zijn.

Het radonactieplan kent naast een referentieniveau ook een streefwaarde voor het gemiddelde van de radonconcentratie in Nederlandse woningen. Deze streefwaarde is 20 Bq/m<sup>3</sup>. Het rekenkundig gemiddelde van de radonconcentraties in Nederlandse woningen ligt in deze survey met 21,7 (21,6-21,8) Bq/m<sup>3</sup> net boven deze streefwaarde. Om vast te stellen of deze lichte overschrijding het gevolg is van tijdelijke omstandigheden tijdens de survey of structureel is (zie hoofdstuk 5), zijn in de toekomst aanvullende metingen nodig.

Tabel 5 Voor de meetjaren 2022-2023 en 2013-2014 voor heel Nederland en per regio (Z-L: Zuid-Limburg; GR: Gelders Rivierengebied; NL: rest van Nederland) het aantal meetpunten (n), het geometrisch gemiddelde (geo. gemiddelde), het 95 procent-betrouwbaarheidsinterval (95%-CI) van het geometrisch gemiddelde, het rekenkundig gemiddelde (rek. gemiddelde), het 95 procent-betrouwbaarheidsinterval (95%-CI) van het rekenkundig gemiddelde, de mediaan, de limieten van het 95 procent-betrouwbaarheidsinterval (95%-CI) van alle gemeten radonconcentraties, het aantal metingen per branche en per regio (n), het percentage van het totaal aantal metingen van het betreffende meetjaar, en het aantal en de fractie metingen die boven het referentieniveau uitkomen (n/fractie >100Bq/m<sup>3</sup>). In de bovenste rij per meetjaar staan de cijfers voor de statistisch gecorrigeerde meetdata: hierbij is gecorrigeerd voor woningaantal en woningtype (eengezins of meergezins) per postcodegebied. Zie paragraaf 3.4.1 voor meer informatie over de analysemethode en berekende variabelen.

Meetjaar	Regio	n	Geo. gemiddelde (95%-CI) [Bq/m <sup>3</sup> ]	Rek. gemiddelde (95%-CI) [Bq/m <sup>3</sup> ]	Mediaan [Bq/m <sup>3</sup> ]	95%-CI van alle meetwaardes [Bq/m <sup>3</sup> ]		n/fractie >100Bq/ m <sup>3</sup>
						Min	Max	
2022-2023	Heel Nederland, gecorrigeerd	2681	18,1 (18,1 – 18,2)	21,7 (21,6 – 21,8)	17,0	6,0	54,9	
	Heel Nederland, <b>niet</b> gecorrigeerd	2681	21,1 (20,5 – 21,6)	27,5 (26,5 – 28,5)	19,0	5,6	78,8	71/2,7%
	Z-L	389	47,3 (44,4 – 50,5)	58,6 (54,3 – 62,8)	49,0	13,3	168,3	48/12,3%
	GR	310	27,1 (25,0 – 29,3)	36,4 (32,3 – 40,5)	25,0	6,6	110,5	17/5,5%
	NL	1982	17,3 (16,9 – 17,7)	20,0 (19,5 – 20,6)	17,0	6,2	48,4	6/0,3%
2013-2014	Heel Nederland, gecorrigeerd	2553	11,9 (11,8 – 12,0)	15,5 (15,4 – 15,6)	11,8	3,2	44,4	
	Heel Nederland, <b>niet</b> gecorrigeerd	2553	12,4 (12,1 – 12,7)	15,7 (15,2 – 16,2)	12,3	3,3	45,8	10/0,4%
	Z-L	86	31,7 (27,2 – 37,0)	40,8 (34,5 – 47,1)	31,9	7,6	132,0	5/5,8%
	GR	120	21,5 (19,2 – 24,2)	27,2 (23,3 – 31,2)	19,7	6,0	77,4	3/2,5%
	NL	2347	11,6 (11,3 – 11,9)	14,2 (13,8 – 14,6)	11,6	3,4	39,6	2/0,1%

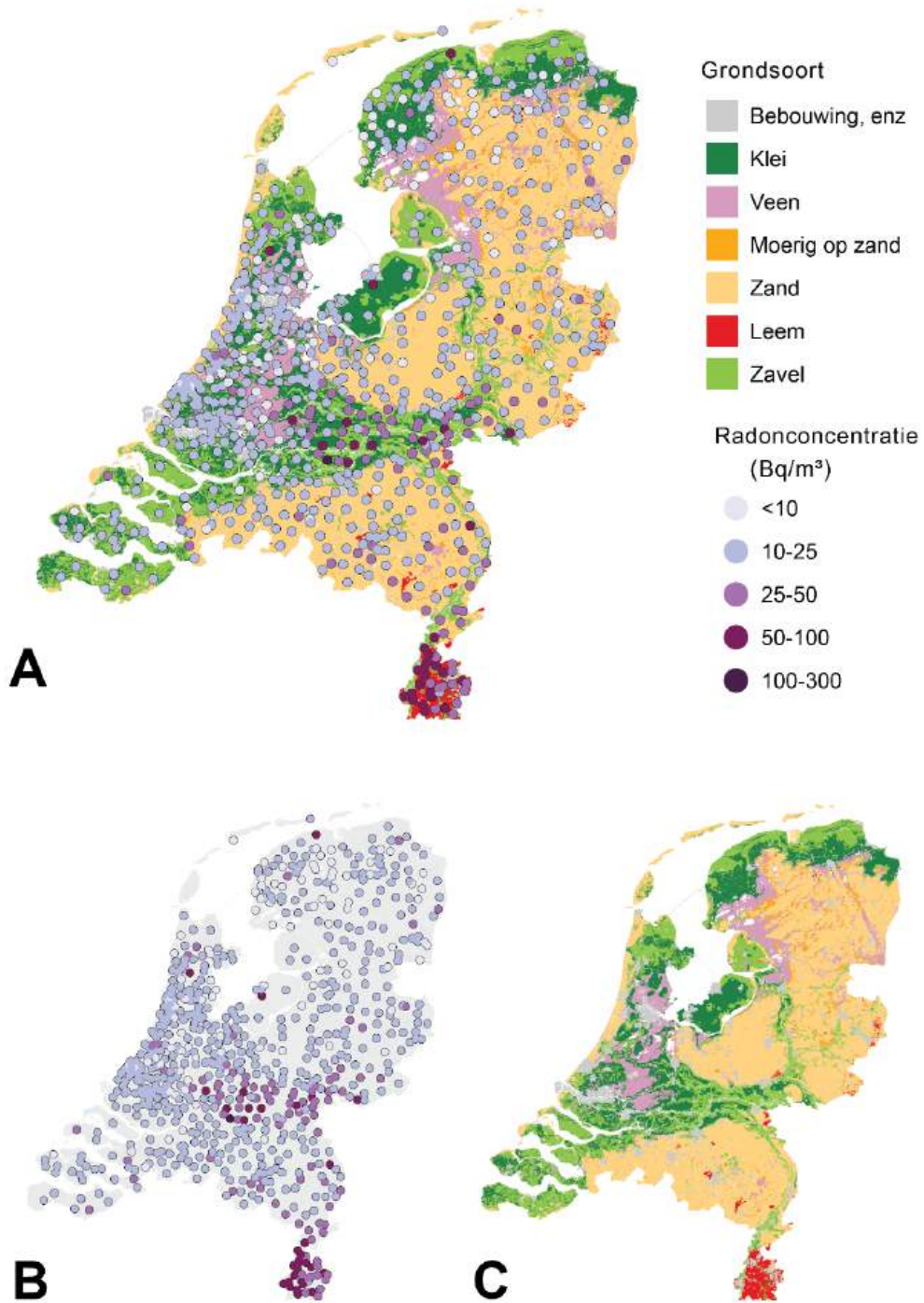


### **4.3 Radonconcentraties op (grondsoorten)kaart van Nederland**

In Figuur 4.6 zijn de rekenkundig gemiddelde radonconcentraties per 3-cijferige postcode weergegeven op de Grondsoortenkaart van Nederland 2006 [24]. De kleuren representeren de grondsoorten in Nederland. De gekleurde punten geven de rekenkundig gemiddelde radonconcentratie per 3-cijferig postcodegebied weer. In deze kaart is bijvoorbeeld te zien dat in Zuid-Limburg veel leem te vinden is, en dat hier ook relatief hoge radonconcentraties zijn gemeten. In de gebieden met de grondsoort zand zijn de gemeten radonconcentraties juist lager.

## Radonconcentraties en grondsoorten in Nederlandse woningen

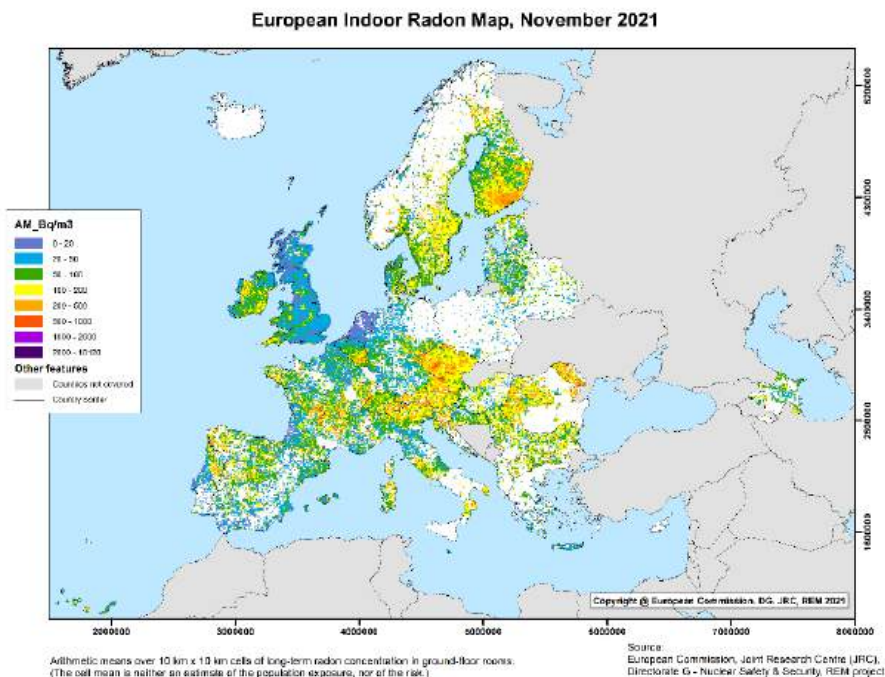
Radonconcentraties gemiddeld per 3-cijferig postcodegebied  
 Campagne(s): 2022-2023



Figuur 4.6 De Grondsoortenkaart van Nederland (2006) samen met de rekenkundig gemiddelde radonconcentraties per 3-cijferige postcode (A), de rekenkundig gemiddelde radonconcentraties in Nederland per 3-cijferig postcodegebied (B) en de Grondsoortenkaart van Nederland (2006) (C).

#### 4.4 Vergelijking met het buitenland

Het *Joint Research Center* van de Europese Commissie verzamelt gegevens over radonconcentraties van verschillende landen in Europa. De verzamelde gegevens worden vervolgens weergegeven op de 'European indoor radon-map' [29]. Deze kaart geeft het rekenkundig gemiddelde van de radonconcentraties over een grid van 10 x 10 km weer. De nieuwste versie van deze kaart is in november 2021 gepubliceerd (Figuur 4.7). Vergeleken met andere Europese landen heeft Nederland een zeer lage radonconcentratie.



*Figuur 4.7 Kaart van de verzamelde radonconcentraties in Europa, afkomstig uit [29]. Vergeleken met andere Europese landen heeft Nederland een zeer lage radonconcentratie.*

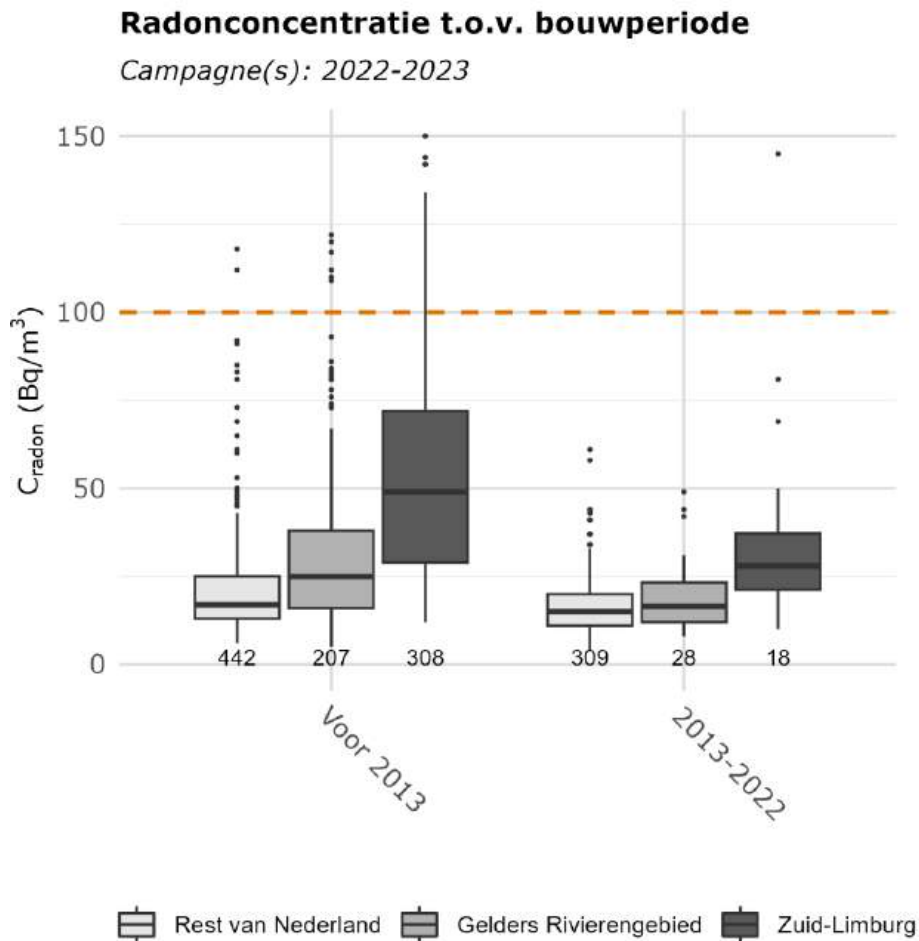
Het WHO-rapport uit 2009 [30] geeft de rekenkundige gemiddelde radonconcentratie binnenshuis van verschillende landen. Ter illustratie noemen we hier 140 Bq/m<sup>3</sup> in Tsjechië, 49 Bq/m<sup>3</sup> in Polen, 46 Bq/m<sup>3</sup> in de Verenigde Staten, 28 Bq/m<sup>3</sup> in Canada en 20 Bq/m<sup>3</sup> in het Verenigd Koninkrijk. In België bedraagt de rekenkundig gemiddelde radonconcentratie in woningen 46 Bq/m<sup>3</sup> [31] en in Duitsland 65 Bq/m<sup>3</sup> [32]. Het wereldwijde rekenkundig gemiddelde is 39 Bq/m<sup>3</sup> [30]

Binnen landen zijn er grote regionale verschillen in de radonconcentratie. Woningen gebouwd op granieten bodem laten hogere radonconcentraties zien dan woningen gebouwd op sedimentaire bodems. Ook actieve seismische zones, tektonische bewegingsgebieden, vulkanische zones en geothermische velden zijn belangrijke bronnen van radon [33]. Hoge radonconcentraties worden bijvoorbeeld aangetroffen in Zuid-Finland, in de Zwitserse Jura, in de kristallijne rotsen van de Centrale Alpen en het Boheemse massief in Tsjechië en in bepaalde vulkanische structuren in midden Italië en in gedeelten van de Ardennen [33]. Op de radonkaart van België zijn in de Ardennen gemeentes

weergegeven waar de rekenkundige gemiddelde radonconcentratie rond de 300 Bq/m<sup>3</sup> ligt [34]

#### 4.5 Radonconcentraties in nieuwbouwwoningen

In woningen die gebouwd zijn sinds de vorige survey ligt voor alle regio's in Nederland de gemiddelde radonconcentratie lager dan voor woningen die in eerdere periodes gebouwd zijn (Figuur 4.8 en Tabel 6). Het verschil tussen de recent gebouwde woningen en de eerder gebouwde woningen is statistisch significant.



Figuur 4.8 Boxplots van de gemeten radonconcentraties voor woningen die gebouwd zijn voor en na 2013, voor Zuid-Limburg, het Gelders Rivierengebied en de rest van Nederland. Onder iedere boxplot staat het aantal meetpunten. De radonconcentratie is het laagst in woningen die gebouwd zijn sinds de vorige survey in 2013-2014. De oranje stippellijn geeft het Nederlands referentieniveau weer. De y-as is afgekapt op 150 Bq/m<sup>3</sup>, 21 meetpunten zijn niet weergegeven.

Tabel 6 Voor het meetjaar 2022-2023 voor heel Nederland en per regio (Z-L: Zuid-Limburg; GR: Gelders Rivierengebied; NL: rest van Nederland) voor woningen die gebouwd zijn voor en na 2013 het aantal meetpunten (n), het geometrisch gemiddelde (geo. gemiddelde), het 95%-betrouwbaarheidsinterval (95%-CI) van het geometrisch gemiddelde, het rekenkundig gemiddelde (rek. gemiddelde), het 95 procent-betrouwbaarheidsinterval (95%-CI) van het rekenkundig gemiddelde, de mediaan, de limieten van het 95 procent-betrouwbaarheidsinterval (95%-CI) van alle gemeten radonconcentraties, het percentage van het totaal aantal metingen van het betreffende meetjaar, en het aantal en de fractie metingen die boven het referentieniveau uitkomen (n/fractie >100Bq/m<sup>3</sup>). Zie sectie 3.5 voor meer informatie over de analysemethode en berekende variabelen.

Bouw- periode	Regio	n	Geo. gemiddelde (95%-CI) [Bq/m <sup>3</sup> ]	Rek. gemiddelde (95%-CI) [Bq/m <sup>3</sup> ]	Mediaan [Bq/m <sup>3</sup> ]	95%-CI van alle meetwaardes [Bq/m <sup>3</sup> ]		n/fractie >100Bq/ m <sup>3</sup>
						Min	Max	
Vóór 2013	Heel Nederland	957	27,8 (26,5 – 29,1)	37,9 (35,6 – 40,2)	25,0	6,4	121,0	59/6,2%
	Z-L	308	49,4 (46,0 – 53,1)	60,7 (55,9 – 65,4)	51,5	14,2	172,0	42/ 16,6%
	GR	207	28,0 (25,3 – 31,0)	38,8 (33,1 – 44,5)	30,0	6,4	122,1	14/6,8%
	NL	442	18,5 (17,6 – 19,4)	21,6 (20,2 – 23,1)	17,0	6,6	51,7	3/0,7%
2013- 2022	Heel Nederland	355	15,8 (15,0 – 16,6)	18,0 (16,7 – 19,2)	15,0	6,1	40,7	1/0,3%
	Z-L	18	30,4 (22,6 – 40,9)	38,1 (23,1 – 53)	28,0	8,6	106,9	1/5,6%
	GR	28	17,6 (14,6 – 21,1)	19,9 (15,9 – 23,9)	16,5	6,7	46,3	0/0,0%
	NL	309	15,1 (14,3 – 15,8)	16,6 (15,7 – 17,5)	15,0	6,4	35,6	0/0,0%

## 4.6 Overige factoren die van invloed zijn op de radonconcentratie

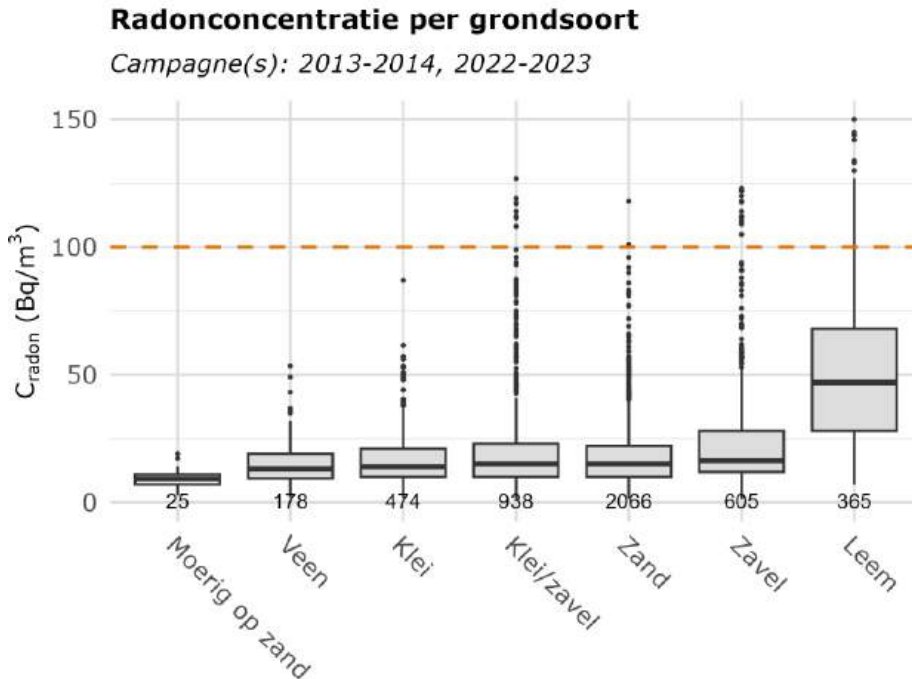
De multivariate- en univariate-analyses zijn uitgevoerd met de gecombineerde datasets van 2013-2014 en 2022-2023 (zie paragraaf 3.4.3 en paragraaf 3.4.4). Hierbij is niet gecorrigeerd voor woningaantal en woningtype. Uit deze analyses blijkt dat negen variabelen in meerdere of mindere mate bijdragen aan de radonconcentratie binnenshuis. In de volgende paragrafen wordt per variabele een toelichting gegeven en worden de resultaten grafisch weergegeven. De factoren zijn hierbij geordend van sterkste naar zwakste correlatie. Aan het eind van dit hoofdstuk zijn alle resultaten samengevat in Tabel 6. Een aantal van de in de regressieanalyse beschouwde variabelen bleek niet significant gecorreleerd met de radonconcentratie. Het betrof ruimte, renovatie en renovatieperiode, isolatie van muur en dak, redenen om niet te ventileren, materiaal van de vloer- en muurconstructie en de frequentie van het openen van ventilatieroosters.

### 4.6.1 Grondsoort

Voor 43,2 procent van de meetpunten kon op grond van de Grondsoortenkaart van Nederland 2006 [24] een grondsoort worden vastgesteld (zie Paragraaf 3.3). Door gebruik te maken van de Geologiekaart 2021 [25] is het percentage meetpunten waarvoor de (hoofd)grondsoort kon worden bepaald verhoogd naar 86,3 procent. Voor meetpunten met een radonconcentratie boven het Nederlandse referentieniveau ( $100 \text{ Bq/m}^3$ ) en meetpunten in Zuid-Limburg en het Gelders Rivierengebied waarvoor nog geen (hoofd)grondsoort gevonden was is een handmatige beoordeling uitgevoerd, waarmee voor 93,4 procent van de meetpunten met een radonconcentratie boven  $100 \text{ Bq/m}^3$  de (hoofd)grondsoort bepaald is. In de regio's Zuid-Limburg en het Gelders Rivierengebied is voor 97,2 procent van de meetpunten de (hoofd)grondsoort bepaald. Van een aantal (938) meetpunten is alleen bekend dat de onderliggende grondsoort valt in de categorie 'Klei- en zavelachtige grond', maar kon het onderscheid tussen klei en zavel (een grondsoort die vooral bestaat uit zand, met een beperkt aandeel klei) op grond van de beschikbare kaarten niet gemaakt worden. Deze meetpunten zijn daarom bij alle analyses ingedeeld in een gecombineerde groep, 'Klei/zavel'.

In op leem gebouwde woningen worden hogere radonconcentraties gevonden dan in woningen die gebouwd zijn op andere grondsoorten. Van de onderzochte woningen zijn er 365 (7% van het totaal) gebouwd op leem. Het grootste deel hiervan (357 woningen) staat in Zuid-Limburg. De geometrisch gemiddelde radonconcentratie in op leem gebouwde huizen is  $45,2 \text{ Bq/m}^3$ . In 10,4 procent van deze woningen lag de radonconcentratie boven het Nederlands referentieniveau. Ook in op zavel gebouwde woningen (een grondsoort die vooral bestaat uit zand, met een klein aandeel klei) hebben we, in mindere mate, verhoogde radonconcentraties gevonden, met een geometrisch gemiddelde radonconcentratie van  $19,1 \text{ Bq/m}^3$ . In 3,8 procent van deze woningen werd het referentieniveau overschreden. In de woningen die gebouwd zijn op de andere grondsoorten bestaan ook (kleine) onderlinge verschillen in radonconcentraties. In minder dan 1 procent van deze woningen werd het referentieniveau overschreden. Voor 938 meetpunten is alleen bekend dat de grondsoort valt in de categorie

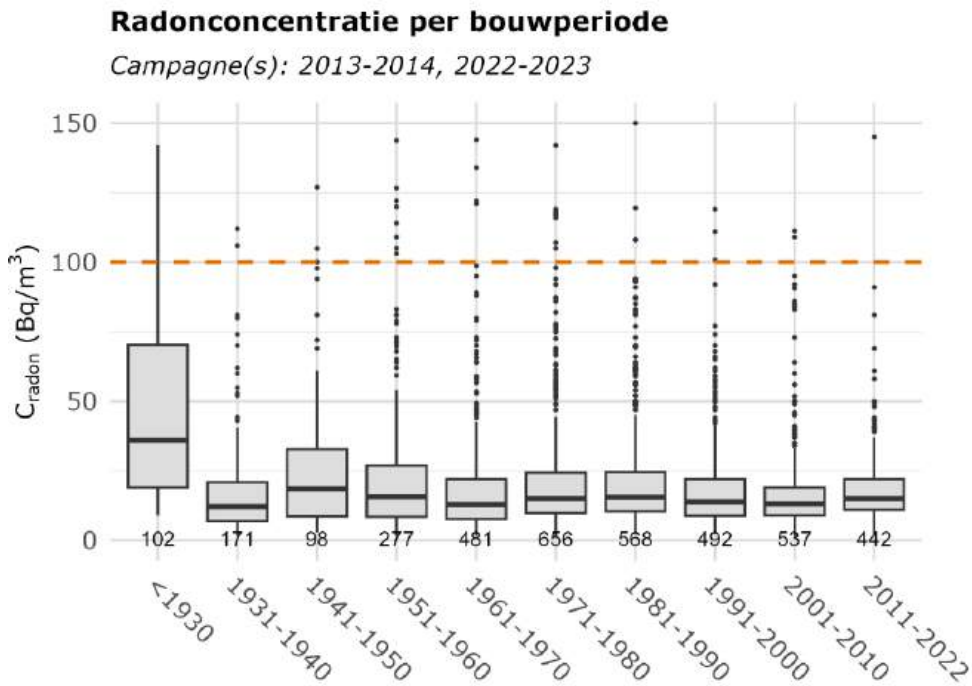
'Klei/zavel', maar kan het onderscheid tussen klei en zavel niet gemaakt worden. Voor 583 meetpunten is de grondsoort niet vast te stellen (zie paragraaf 3.3). De resultaten staan in Tabel 6 en Figuur 4.9.



Figuur 4.9 Boxplots van de gemeten radonconcentraties per grondsoort. Onder iedere boxplot staat het aantal meetpunten per grondsoort. De radonconcentratie is het hoogst in woningen die gebouwd zijn op leem en het laagst in woningen die gebouwd zijn op moerige gronden op zand. De y-as is afgekapt op 150 Bq/m<sup>3</sup>. 23 meetpunten zijn niet weergegeven.

#### 4.6.2 Bouwperiode

Als onderscheid gemaakt wordt naar bouwperiode van de woning is in de groep woningen die gebouwd is vóór 1930 (102 woningen) de geometrisch gemiddelde radonconcentraties het hoogst (40,5 Bq/m<sup>3</sup> (34,6 – 47,40) Bq/m<sup>3</sup>). We merken hierbij op dat deze categorie woningen in de survey in 2013-2014 buiten beschouwing gelaten is. Dit kan de resultaten beïnvloed hebben. In 17 procent van deze woningen lag de radonconcentratie boven het referentieniveau. In woningen die gebouwd zijn tussen 1931-1940 en direct na de eeuwwisseling (2001-2010) zijn de geometrisch gemiddelde radonconcentraties het laagst, respectievelijk 13,0 (11,5 – 14,8) Bq/m<sup>3</sup> en 13,4 (12,7 – 14,1) Bq/m<sup>3</sup>. In de groep woningen die gebouwd is na 2011 zijn woningen waar gemeten is tijdens de survey in 2022-2023 oververtegenwoordigd. De resultaten staan in Tabel 6 en in boxplots in Figuur 4.10.

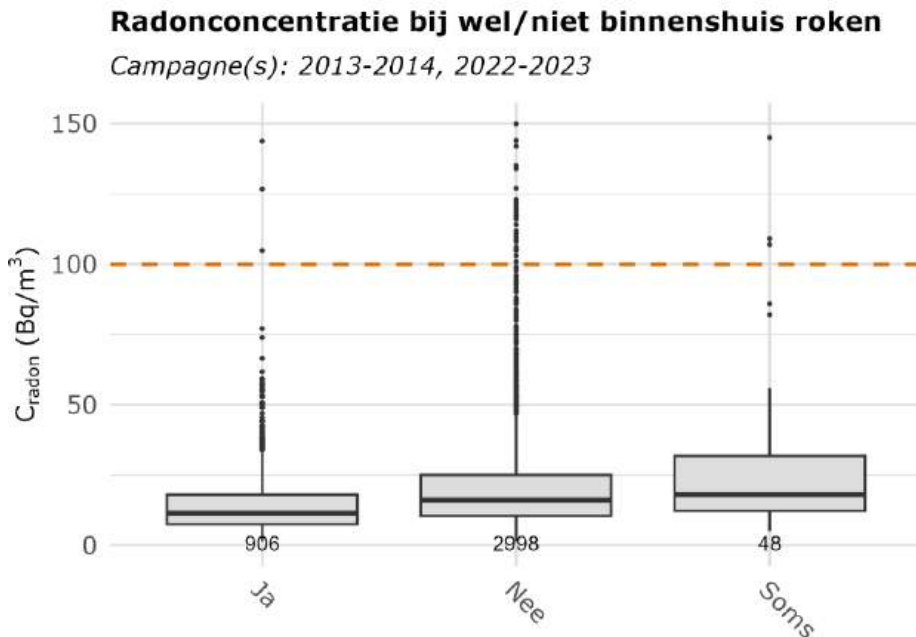


Figuur 4.10 Boxplots van de gemeten radonconcentraties per bouwperiode. Onder iedere box staat het aantal meetpunten per bouwperiode. De radonconcentratie is het hoogst in woningen die gebouwd zijn vóór 1930 (Nota bene: Deze woningen waren niet opgenomen in de survey in 2013-2014) en het laagst in na 2000 gebouwde woningen. De y-as is afgekapt op 150 Bq/m<sup>3</sup>. 22 meetpunten zijn niet weergegeven.

#### 4.6.3 Binnenshuis roken

In woningen waar binnenshuis gerookt wordt (906 woningen), is de geometrisch gemiddelde radonconcentratie lager (11,7 (11,2 – 12,2) Bq/m<sup>3</sup>) dan in woningen waar niet binnenshuis gerookt wordt (2.998 woningen, 16,6 (16,2 – 17,0) Bq/m<sup>3</sup>). In een kleine groep woningen (48 stuks, uitsluitend metingen in 2022-2023) wordt soms (incidenteel of 1x per maand) binnenshuis gerookt. Hier is een hogere radonconcentratie gemeten (24,0 (18,7 – 30,7) Bq/m<sup>3</sup>). Voor de overige woningen (1.282 stuks) is onbekend of er binnenshuis wordt gerookt. De resultaten worden weergegeven in Tabel 6 en in boxplots in Figuur 4.11.

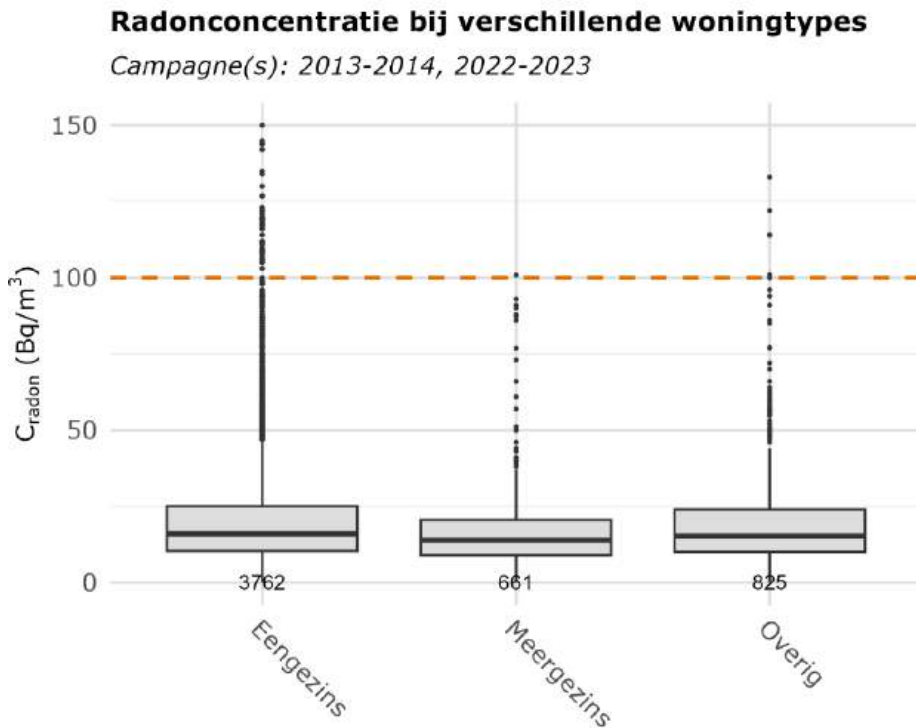




Figuur 4.11 Boxplots van de gemeten radonconcentraties bij wel/niet binnenshuis roken. Onder iedere boxplot staat het aantal meetpunten. De radonconcentratie is hoger in woningen waar niet of soms gerookt wordt. De y-as is afgekapt op 150 Bq/m<sup>3</sup>. 16 metingen zijn niet weergegeven.

#### 4.6.4 Woningtype

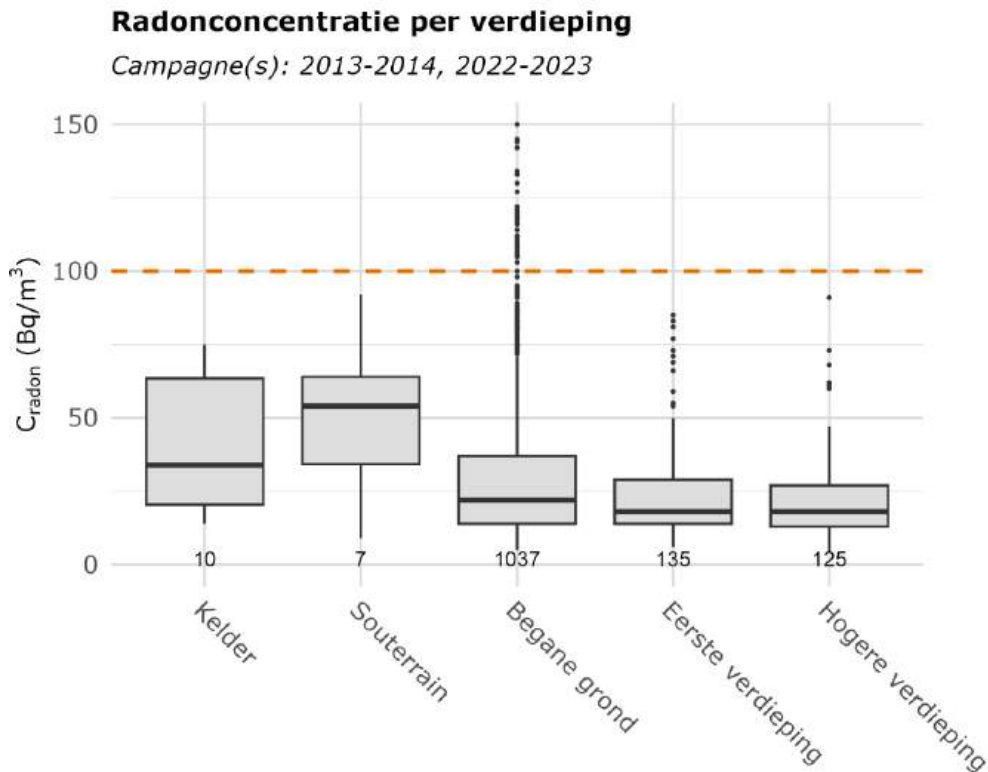
In meergezinswoningen (660 woningen) is de geometrisch gemiddelde radonconcentratie lager (13,2 (12,6 – 13,9) Bq/m<sup>3</sup>) dan in ééngesinswoningen (3759 stuks, 16,8 (16,4 – 17,2) Bq/m<sup>3</sup>). In het onderzoek uit 2013-2014 is hierbij de CBS-definitie van een één- of meergezinswoning gehanteerd. Een ééngesinswoning is elke woning die ook een geheel pand vormt. Hieronder vallen vrijstaande woningen, aangebouwde woningen, zoals twee-onder-een-kap gebouwde hele huizen, boerderijen met woningen en voorts alle rijenhuisen [35]. Een meergezinswoning is elke woning die samen met andere woonruimten c.q. bedrijfsruimten een geheel pand vormt. Hieronder vallen flats, galerij-, portiek-, beneden- en bovenwoningen, appartementen en woningen boven bedrijfsruimten, voor zover deze zijn voorzien van een buiten de bedrijfsruimte gelegen toegangsdeur [36].



Figuur 4.12 Boxplots van de gemeten radonconcentraties per woningtype. Onder iedere boxplot staat het aantal meetpunten. De radonconcentratie in eengezinswoningen is hoger dan in meergezinswoningen. De y-as is afgekapt op 150 Bq/m<sup>3</sup>. 24 metingen zijn niet weergegeven.

#### 4.6.5 Verdieping

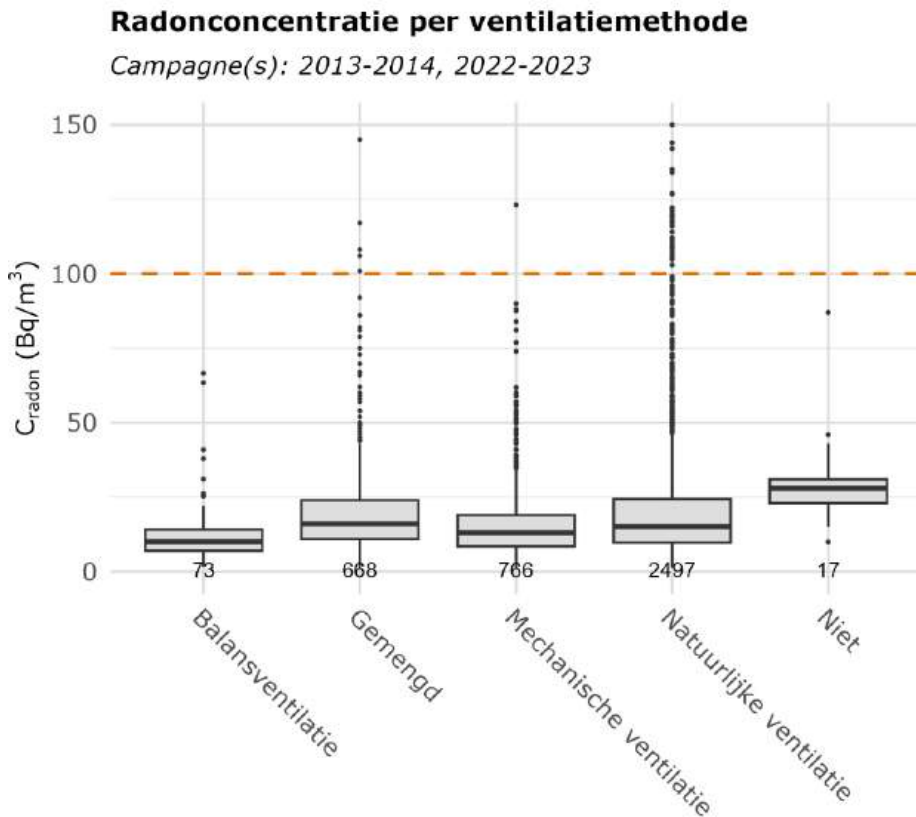
Van 1.314 meetpunten (allen survey 2022-2023) is bekend op welke verdieping er gemeten is. Radonconcentraties die gemeten zijn in een kelder (10 metingen) of souterrain (7 metingen) (respectievelijk 34,3 (22,9 – 51,1) Bq/m<sup>3</sup> en 52,6 (24,7 – 112,0) Bq/m<sup>3</sup>) zijn significant hoger dan radonconcentraties op de eerste of op een hogere verdieping (respectievelijk 20,2 (18,3 – 22,4) Bq/m<sup>3</sup> en 18,6 (16,9 – 20,5) Bq/m<sup>3</sup>). De meeste meetpunten (1.037 in getal) bevonden zich echter op de begane grond. De radonconcentraties in deze groep liggen tussen die van de andere groepen in, met 24,9 (23,8 – 26,1) Bq/m<sup>3</sup>. De resultaten staan in boxplots in Figuur 4.13.



Figuur 4.13 Boxplots van de gemeten radonconcentraties per verdieping. Onder iedere boxplot staat het aantal meetpunten per verdieping. De radonconcentratie is het hoogst in kelders en souterrains en het laagst voor verdiepingen boven de begane grond. De y-as is afgekapt op 150 Bq/m<sup>3</sup>. 21 metingen zijn niet weergegeven.

#### 4.6.6 Ventilatiemethode

Voor de woningen waarvan de ventilatiemethode bekend is, wordt in het merendeel van de gevallen gebruikgemaakt van natuurlijke ventilatie (2.497 woningen), gevolgd door mechanische ventilatie (766) en gemengde ventilatie – dit is een combinatie van mechanische en natuurlijke ventilatie (668). De kleinste groepen maken gebruik van balansventilatie (73 woningen) of hebben geen ventilatiemethode (17). In deze laatste categorie werden de hoogste radonconcentraties geregistreerd (28,1 (22,5 – 35,0) Bq/m<sup>3</sup>). In woningen met balansventilatie werden de laagste radonconcentraties gevonden (10,5 (9,0 – 12,2) Bq/m<sup>3</sup>). De radonconcentraties voor de andere drie groepen, met natuurlijke ventilatie, mechanische ventilatie en een combinatie hiervan, liggen relatief dicht bij elkaar. Bij mechanische ventilatie zijn de radonconcentraties iets lager (13,1 (12,5 – 13,7) Bq/m<sup>3</sup>) dan bij natuurlijke en gemengde ventilatie (respectievelijk 16,0 (15,5 – 16,5) Bq/m<sup>3</sup> en 15,8 (15,1 – 16,6) Bq/m<sup>3</sup>). De resultaten staan in Tabel 6 en in boxplots in Figuur 4.14.

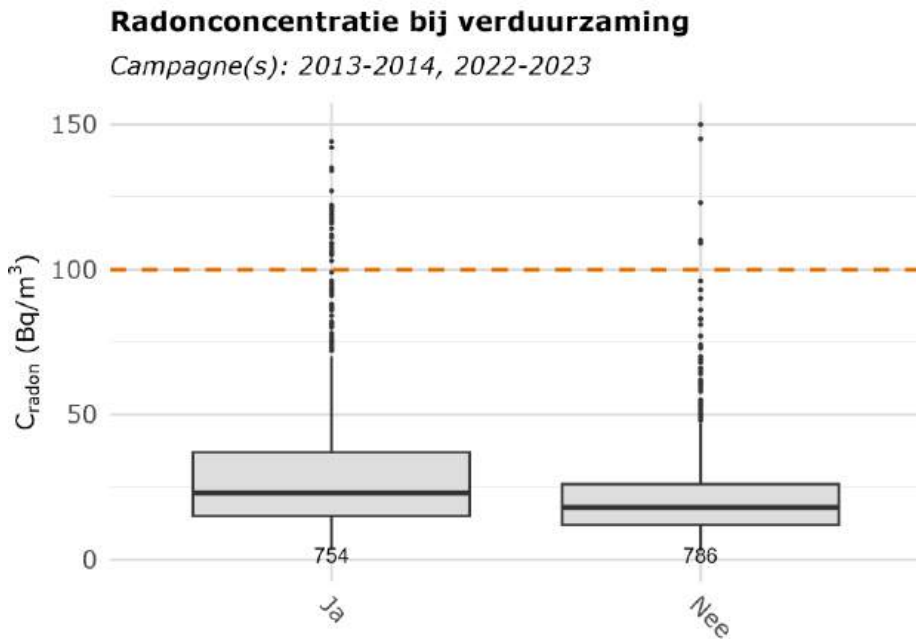


Figuur 4.14 Boxplots van de gemeten radonconcentraties per ventilatiemethode. Onder iedere boxplot staat het aantal meetpunten per ventilatiemethode. De radonconcentratie is het hoogst in woningen zonder ventilatie en het laagst in woningen met balansventilatie. De y-as is afgekapt op 150 Bq/m<sup>3</sup>. 16 metingen zijn niet weergegeven.

#### 4.6.7

##### Verduurzaming

Bij de survey van 2022-2023 is uitgevraagd of de woning verduurzaamd is. De bewoners van 754 woningen geven aan dat hun woning wél is verduurzaamd. Voor 786 woningen geven de bewoners aan dat deze niet zijn verduurzaamd. Er is geen informatie beschikbaar over de aard van de uitgevoerde verduurzamingsmaatregelen. Bij de survey 2013-2014 is niet gevraagd naar verduurzamingsmaatregelen. In woningen die verduurzaamd zijn, werden hogere radonconcentraties gevonden (25,3 (24,0 – 26,7) Bq/m<sup>3</sup>) dan in woningen die niet verduurzaamd zijn (18,8 (18,0 – 19,6) Bq/m<sup>3</sup>). De resultaten staan in Tabel 6 en in boxplots in Figuur 4.15.

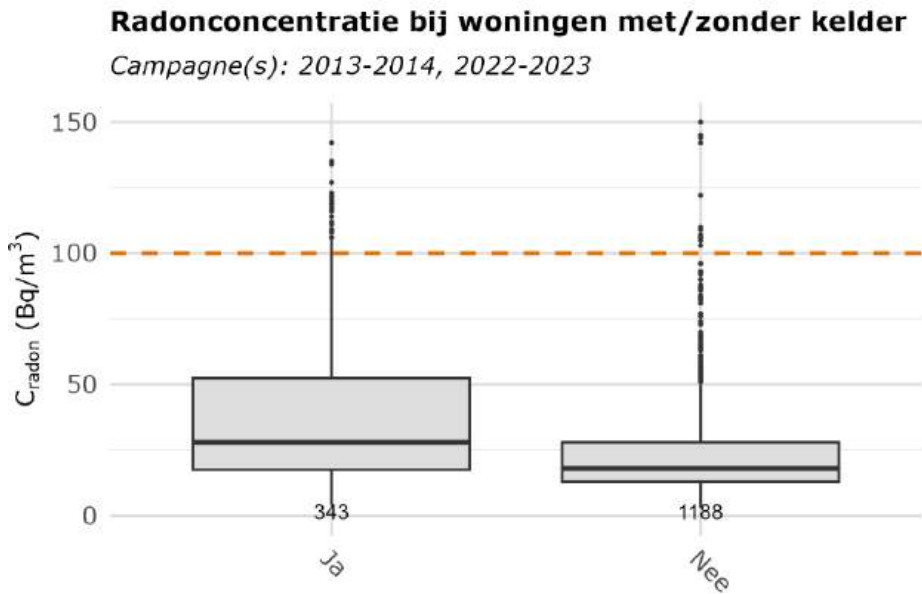


Figuur 4.15: Boxplots van de gemeten radonconcentraties in wel en niet verduurzaamde woningen. Onder iedere boxplot staat het aantal meetpunten. De radonconcentratie is hoger in woningen die wel verduurzaamd zijn en lager in woningen die niet verduurzaamd zijn. De y-as is afgekapt op 150 Bq/m<sup>3</sup>. 15 metingen zijn niet weergegeven.

#### 4.6.8

##### Aanwezigheid van een kelder

In woningen waarvoor bekend is dat er een kelder is (343 in aantal) ligt de radonconcentratie gemiddeld hoger dan in woningen waarvoor de bewoner aangaf dat er geen kelder was (1.188): in de woningen met kelder is het geometrische gemiddelde 31,1 (28,8 – 33,8) Bq/m<sup>3</sup> en in de woningen zonder kelder 19,6 (18,9 – 20,3) Bq/m<sup>3</sup>. De resultaten staan in Tabel 6 en in boxplots in Figuur 4.16.

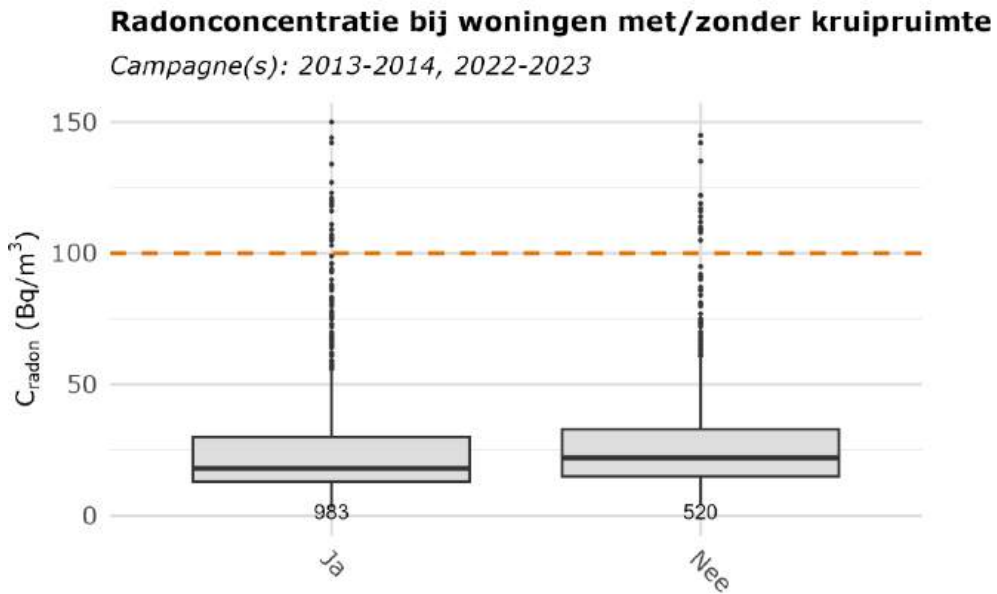


Figuur 4.16 Boxplots van de gemeten radonconcentraties met en zonder kelder. Onder iedere boxplot staat het aantal meetpunten. De radonconcentratie in woningen met kelder is hoger dan in woningen zonder kelder. De y-as is afgekapt op 150 Bq/m<sup>3</sup>. 15 metingen zijn niet weergegeven.

#### 4.6.9

##### Aanwezigheid van een kruipruimte

In woningen met een kruipruimte (983) ligt de radonconcentratie gemiddeld lager dan in woningen zonder kruipruimte (520). In de woningen met kruipruimte is dit het geometrisch gemiddelde 20,7 (19,8 – 21,6) Bq/m<sup>3</sup> en in de woningen zonder kruipruimte 24,2 (22,8 – 25,7) Bq/m<sup>3</sup>. Voor de overige woningen (3731 stuks) is onbekend of er een kruipruimte aanwezig is. De resultaten staan in Tabel 6 en in boxplots in Figuur 4.17.



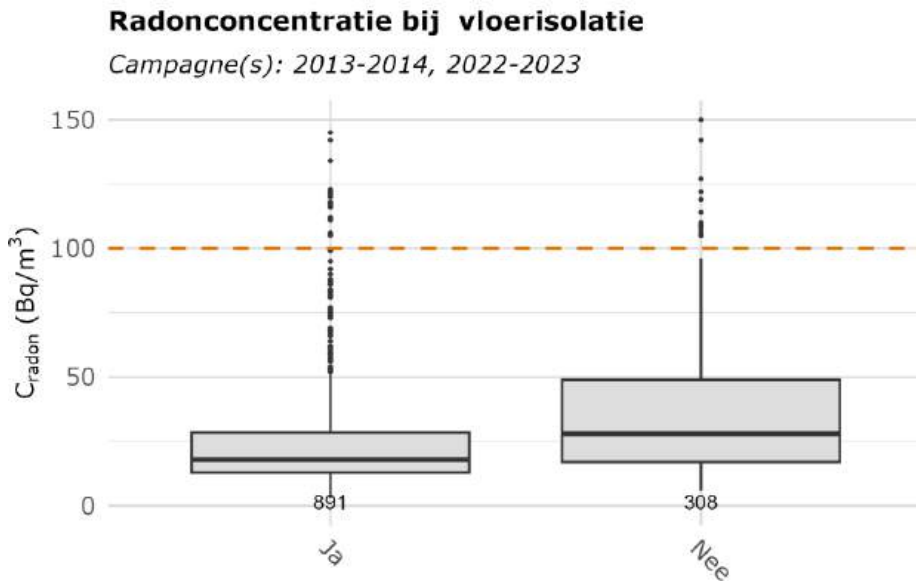
*Figuur 4.17* Boxplots van de gemeten radonconcentraties met en zonder kruipruimte. Onder iedere boxplot staat het aantal meetpunten. De radonconcentratie in woningen zonder kruipruimte is iets hoger dan in woningen met kruipruimte. De y-as is afgekapt op 150 Bq/m<sup>3</sup>. 15 metingen zijn niet weergegeven.

#### 4.6.10

##### Vloerisolatie

In de 891 woningen met vloerisolatie ligt de radonconcentratie gemiddeld lager dan in de 308 woningen zonder vloerisolatie. In de woningen met vloerisolatie is de geometrisch gemiddelde radonconcentratie 19,9 (19,1 – 20,7) Bq/m<sup>3</sup>. In de groep woningen (308) waarvoor de bewoners aangeven dat er geen vloerisolatie aanwezig is, is dit 30,4 (27,9 – 33,1) Bq/m<sup>3</sup>. In een kleine groep woningen (36 in totaal) is tijdens het onderzoek vloerisolatie aangebracht, en voor de overige woningen (3.999 stuks) is onbekend of er vloerisolatie aanwezig is.

De resultaten staan in Tabel 6 en in boxplots in Figuur 4.18.

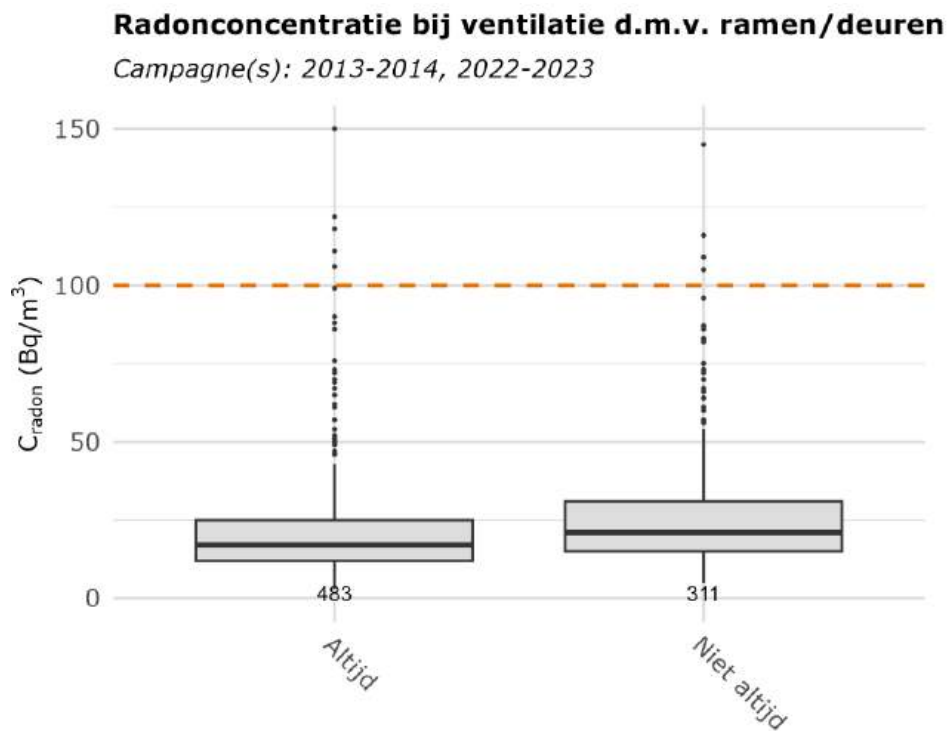


Figuur 4.18 Boxplots van de gemeten radonconcentraties met/zonder vloerisolatie. Onder iedere boxplot staat het aantal meetpunten. In woningen zonder vloerisolatie is de radonconcentratie hoger dan in woningen met vloerisolatie. De y-as is afgekapt op 150 Bq/m<sup>3</sup>. 12 metingen zijn niet weergegeven.

#### 4.6.11 Ventileren via het openen van ramen/deuren

In de woningen waar wordt geventileerd door (onder meer) het openen van ramen en/of deuren, ligt de geometrisch gemiddelde radonconcentratie lager als de ramen/deuren altijd geopend zijn (18,1 (17,1 – 19,1) Bq/m<sup>3</sup>) (483 woningen). In de 311 woningen waar deze niet altijd geopend zijn, is de geometrisch gemiddelde waarde 22,5 (21,0 – 24,1) Bq/m<sup>3</sup>. De resultaten staan in boxplots in Figuur 4.19.





Figuur 4.19 Boxplots van de gemeten radonconcentraties bij het wel of niet permanent ventileren in woningen met natuurlijke ventilatie via ramen en/of deuren. Onder iedere boxplot staat het aantal meetpunten. In woningen waar ramen en/of deuren niet altijd geopend zijn, is de radonconcentratie hoger dan in woningen waar ramen en/of deuren wel altijd geopend zijn. De y-as is afgekapt op 150 Bq/m<sup>3</sup>. 3 metingen zijn niet weergegeven.

## 4.6.12 Tabel met alle bijdragende factoren

Tabel 7 Voor de meetjaren 2022-2023 en 2013-2014 samen voor heel Nederland, voor alle bijdragende factoren het aantal meetpunten ( $n$ ) en het percentage ten opzichte van het totaal aantal meetpunten (% van totaal), het geometrisch gemiddelde (geo. gemiddelde), het 95 procent-betrouwbaarheidsinterval (95%-CI) van het geometrisch gemiddelde, het rekenkundig gemiddelde (rek. gemiddelde), de mediaan, de limieten van het 95%-betrouwbaarheidsinterval (95%-CI) van alle gemeten radonconcentraties, het aantal metingen per branche en per regio ( $n$ ), het percentage van het totaal aantal metingen van het betreffende meetjaar, en het aantal en de fractie metingen die boven het referentieniveau uitkomen ( $n$ /fractie > 100 Bq/m<sup>3</sup>). Zie paragraaf 3.4.1 voor meer informatie over de analysemethode en berekende variabelen. Bij de factor 'Grondsoort' vallen onder de categorie 'Klei/zavel' alle woningen waarvoor alleen de hoofdgrondsoort bepaald kon worden, en het niet het onderscheid tussen de categorieën 'Klei' en 'Zavel' gemaakt kon worden. Bij kleine groepsgrottes ( $n \leq 10$ ) wordt niet het 95 procent-interval van alle meetwaardes, maar de laagste en hoogste gemeten radonconcentratie weergegeven. Dit wordt aangegeven met een asterisk (\*).

Factor	Categorie	n	% van totaal	Geo. gemiddelde (95%-CI) [Bq/m <sup>3</sup> ]	Rek. gemiddelde [Bq/m <sup>3</sup> ]	Mediaan [Bq/m <sup>3</sup> ]	95%-CI van alle meetwaardes [Bq/m <sup>3</sup> ]		n/fractie >100 Bq/m <sup>3</sup>
							Min	Max	
Grondsoort	Moerig op zand	25	0,5%	8,8 (7,3 – 10,4)	9,5	9,2	3,6	21,2	0/0%
	Veen	178	3,4%	12,9 (11,9 – 14,0)	14,9	13,1	4,3	39,0	0/0%
	Klei	474	9,1%	14,5 (13,7 – 15,2)	17,2	14,0	4,7	44,8	1/0,2%
	Zand	2066	39,5%	15,1 (14,7 – 15,5)	18,2	15,0	4,6	49,9	4/0,2%
	Klei/zavel	938	17,9%	15,2 (14,5 – 15,9)	20,1	15,0	3,6	63,1	11/1,2%
	Zavel	605	11,6%	19,1 (18,0 – 20,3)	26,8	17,0	4,4	82,5	23/3,8%
	Leem	365	7,0%	45,2 (42,2 – 48,3)	55,9	48,9	12,5	164	38/10,4%
	Onbekend	583	11,1%	12,8 (12,1 – 13,5)	16,6	12,8	3,3	49,7	4/0,7%
Bouwperiode	<1930	102	2,0%	40,5 (34,6 – 47,4)	55,7	38,5	8,3	198,4	17/16,7%
	1931 – 1940	171	3,3%	13,0 (11,5 – 14,8)	19,7	12,3	2,4	70,7	4/2,3%
	1941 – 1950	98	1,9%	18,4 (15,3 – 22,0)	28,2	18,6	3,0	112,3	3/3,1%
	1951 – 1960	277	5,3%	16,5 (14,9 – 18,4)	26,1	16,0	2,8	98,8	12/4,3%
	1961 – 1970	481	9,2%	13,8 (12,8 – 14,8)	20,1	12,9	2,8	68,7	7/1,5%
	1971 – 1980	656	12,5%	16,3 (15,3 – 17,3)	23,0	15,1	3,5	75,0	14/2,1%

Factor	Categorie	n	% van totaal	Geo. gemiddelde (95%-CI) [Bq/m <sup>3</sup> ]	Rek. gemiddelde [Bq/m <sup>3</sup> ]	Mediaan [Bq/m <sup>3</sup> ]	95%-CI van alle meetwaarden [Bq/m <sup>3</sup> ]		n/fractie >100 Bq/m <sup>3</sup>
							Min	Max	
Binnenshuis roken	1981 – 1990	568	10,9%	16,5 (15,6 – 17,5)	21,4	15,6	4,3	63,6	5/0,9%
	1991 – 2000	492	9,4%	14,4 (13,5 – 15,3)	18,7	13,9	3,7	56,0	4/0,8%
	2001 – 2010	537	10,3%	13,4 (12,7 – 14,1)	16,6	13,1		46,1	2/0,4%
	2011 – 2022	442	8,5%	15,6 (14,8 – 16,3)	17,8	15,0	5,4	42,0	1/0,2%
	Onbekend	1410	26,9%	18,5 (17,9 – 19,1)	22,6	18,0	5,7	59,8	12/0,9%
	Ja	906	17,3%	11,7 (11,2 – 12,2)	14,8	11,4	3,2	43,2	4/0,4%
	Nee	2998	57,3%	16,6 (16,2 – 17,0)	22,2	16,0	4,1	67,8	50/1,7%
	Soms	48	0,9%	24,0 (18,7 – 30,7)	37,2	19,0	4,3	132,1	5/10,4%
	Onbekend	1282	24,5%	19,2 (18,5 – 20,0)	25,1	18,0	5,0	73,4	22/1,7%
Woningtype	Eengezins	3759	71,7%	16,8 (16,4 – 17,2)	23,0	16,0	3,8	73,9	74/2,0%
	Meergezins	660	12,6%	13,2 (12,6 – 13,9)	16,4	14,0	3,6	48,0	1/0,2%
	Overig	824	15,7%	15,9 (15,1 – 16,6)	20,0	15,3	4,2	60,5	6/0,7%
Verdieping	Kelder	10	0,2%	34,3 (22,9– 51,4)	41,1	34,0	14,0*	75,0*	0/0%
	Souterrain	7	0,1%	52,6 (24,7 – 112,0)	78,4	55,0	9,0*	245,0*	1/14,3%
	Begane grond	1037	19,8%	24,9 (23,8 – 26,1)	34,4	22,0	5,7	108,6	58/5,6%
	Eerste verdieping	135	2,6%	20,2 (18,3 – 22,4)	24,9	18,0	6,2	66,1	1/0,7%
	Hogere verdieping	125	2,4%	18,6 (16,9– 20,5)	21,9	18,0	6,3	66,1	0/0%
Ventilatiemethode	Onbekend	3920	74,9%	14,3 (14,0 – 14,6)	18,1	14,0	3,8	53,4	21/0,5%
	Balans-ventilatie	73	1,4%	10,5 (9,0 – 12,2)	13,3	10,1	2,8	38,8	0/0%
	Gemengde ventilatie	668	12,8%	15,8 (15,1 – 16,6)	19,8	16,0	4,4	56,9	6/0,9%
	Mechanische ventilatie	766	14,6%	13,1 (12,5 – 13,7)	16,2	13,0	3,8	45,2	1/0,1%
	Natuurlijke ventilatie	2497	47,7%	16,0 (15,5 – 16,5)	22,2	15,3	3,6	71,8	53/2,1%

Factor	Categorie	n	% van totaal	Geo. gemiddelde (95%-CI) [Bq/m <sup>3</sup> ]	Rek. gemiddelde [Bq/m <sup>3</sup> ]	Mediaan [Bq/m <sup>3</sup> ]	95%-CI van alle meetwaarden [Bq/m <sup>3</sup> ]		n/fractie >100 Bq/m <sup>3</sup>
							Min	Max	
Verduurzaming	Geen ventilatiemethode	17	0,3%	28,1 (22,5 – 35,0)	31,2	28,0	11,3	69,6	0/0%
	Onbekend	1213	23,2%	19,9 (19,1 – 20,6)	25,7	18,0	5,4	72,8	21/1,7%
	Ja	754	14,4%	25,3 (24,0 – 26,7)	34,2	23,0	5,9	108,5	43/5,7%
	Nee	786	15,0%	18,8 (18,0 – 19,6)	23,1	18,0	5,9	59,5	7/0,9%
Aanwezigheid van een kelder	Onbekend	3703	70,6%	14,3 (13,9 – 14,6)	18,9	14,0	3,4	59,4	31/0,8%
	Ja	343	6,6%	31,1 (28,8 – 33,8)	42,1	29,0	7,1	138,4	31/9,1%
	Nee	1188	22,7%	19,6 (18,9 – 20,3)	24,7	19,0	5,8	66,2	19/1,6%
Aanwezigheid van een kruipruimte	Onbekend	3703	70,7%	14,4 (14,1 – 14,7)	18,9	14,0	3,6	57,2	31/0,8%
	Ja	983	18,8%	20,7 (19,8 – 21,6)	27,3	19,0	5,5	78,1	28/2,9%
	Nee	520	9,9%	24,2 (22,8 – 25,7)	31,6	23,0	6,3	93,3	22/4,2%
Vloerisolatie	Onbekend	3731	71,3%	14,4 (14,1 – 14,8)	18,9	14,0	3,6	57,3	31/0,8%
	Ja	891	17,0%	19,9 (19,1 – 20,7)	25,0	19,0	5,8	68,5	19/2,1%
	Nee	308	5,9%	30,4 (27,9 – 33,0)	41,4	28,0	7,0	131,2	23/7,5%
	Aangebracht in de meetperiode	36	0,7%	28,5 (21,6 – 37,6)	42,3	25,0	5,4	150,9	3/8,3%
Natuurlijke ventilatie d.m.v. ramen/deuren	Onbekend	3999	76,4%	14,7 (14,4 – 15,1)	19,3	14,1	3,7	58,4	36/0,9%
	Altijd	483	9,2%	18,1 (17,1 – 19,1)	22,2	17,0	5,5	59,0	6/1,2%
	Niet altijd	311	5,9%	22,5 (21,0 – 24,1)	28,0	21,0	6,7	75,1	7/2,3%
	Onbekend	4440	84,8%	15,7 (15,4 – 16,0)	21,3	15,0	3,7	66,0	68/1,5%

#### 4.7 Beschrijving van de hoogst gemeten radonconcentraties

Aan het einde van het onderzoek is er contact geweest met de deelnemers waarbij een hogere radonconcentratie is gemeten in hun woning. Het doel van het telefoongesprek was drieledig:

1. Achterhalen of er factoren in het spel waren die de meting ongeldig zouden maken. Dit zou bijvoorbeeld kunnen zijn als de meter niet volgens de instructie gebruikt is.
2. Achterhalen of er patronen gesignaleerd konden worden van factoren, al dan niet opgenomen in de vragenlijst, die voor een verhoging van radonconcentratie in de woning kunnen zorgen.
3. Deelnemers wijzen op eventuele maatregelen die ze zouden kunnen nemen om de radonconcentratie in hun woning te doen verlagen.

Om de tijdsinvestering van het nabellen beperkt te houden, is gekozen om alleen contact op te nemen met de deelnemers met een meetwaarde die hoger is dan 150 Bq/m<sup>3</sup>. Het ging hierbij om 25 woningen.

Om vast te stellen of er aanleiding was een meting ongeldig te verklaren, hebben we uitgevraagd of de meter volgens instructie is gebruikt, en op welke locatie deze was geplaatst. Ook hebben we gevraagd of er bijvoorbeeld een open verbinding was tussen de plaats waar de meter zich bevond en een ruimte die zich onder de grond bevindt (kelder/souterrain/kruipruimte); of de deelnemer langdurig van huis was geweest, waardoor de radonconcentratie zich eventueel maandenlang had kunnen ophopen in een afgesloten ruimte en of er sprake was van bijzonderheden in huis of in de meetruimte die tot een verhoging zouden kunnen leiden, zoals het gebruik van bijzonder bouw materiaal of de aanwezigheid van een collectie van stenen en mineralen in de meetruimte (zoals het geval was in de survey van 2013-2014 [2]).

In Tabel 7 zijn de regio, radonconcentratie en het stempel 'reëel ja/nee' voor de 25 meetpunten met een radonconcentratie hoger dan 150 Bq/m<sup>3</sup> weergegeven. In het restant van deze sectie beschrijven we waarnemingen die volgden uit de gesprekken met de deelnemers. Het is hierbij belangrijk om te benadrukken dat de resterende bevindingen niet als wetenschappelijk gestaafe feiten kunnen worden gezien. Daarvoor is de omvang van de dataset niet voldoende.

*Tabel 8 Gemeten radonconcentraties boven 150 Bq/m<sup>3</sup>. Met de corresponderende deelnemers is contact opgenomen om een inschatting te maken of de meetwaarden reëel zijn, en om eventuele patronen te achterhalen die voor hogere concentraties kunnen zorgen. Met vier deelnemers is het niet gelukt in contact te komen. Hier is de kolom 'Reële meting' leeg gelaten.*

Regio	Radonconcentratie (Bq/m <sup>3</sup> )	Reële meting?
Rest van Nederland	218	Nee
Gelders Rivierengebied	151	Ja
Gelders Rivierengebied	164	Ja
Zuid-Limburg	317	Ja

<b>Regio</b>	<b>Radonconcentratie (Bq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Reële meting?</b>
Zuid-Limburg	166	Niet vastgesteld
Zuid-Limburg	208	Ja
Zuid-Limburg	185	Niet vastgesteld
Zuid-Limburg	329	Ja
Zuid-Limburg	245	Ja
Zuid-Limburg	227	Ja
Zuid-Limburg	166	Ja
Zuid-Limburg	150	Niet vastgesteld
Zuid-Limburg	154	Ja
Zuid-Limburg	164	Ja
Zuid-Limburg	154	Ja
Zuid-Limburg	153	Ja
Zuid-Limburg	203	Ja
Zuid-Limburg	192	Ja
Zuid-Limburg	170	Ja
Zuid-Limburg	176	Ja
Zuid-Limburg	162	Ja
Zuid-Limburg	219	Niet vastgesteld
Zuid-Limburg	198	Ja
Zuid-Limburg	162	Ja
Zuid-Limburg	359	Ja

Met 21 van de 25 deelnemers hebben we contact kunnen opnemen. Voor één van de 25 meetpunten met de hoogste radonconcentraties leidde dit ertoe dat we de meting ongeldig verklaard hebben. Deze meting is verricht in de kruipruimte van de woning van de deelnemer, en niet in een leefruimte.

Om vast te stellen of de woningen waar voor Nederland hoge radonconcentraties werden gevonden, of hun bewoners, relevante eigenschappen deelden, hebben we de bewoners gevraagd naar hun ventilatiegedrag. Voor ongeveer de helft van de gesproken deelnemers gold dat ze voor het ontvangen van de uitslag slecht tot matig ventileerden. Dit kwam soms door gedragskeuzes (niet ventileren vanwege energiekosten, of afname van comfort in de woning), soms door het gebrek aan passieve ventilatiemogelijkheden in de woning, en soms door allebei. Na het ontvangen van hun meetresultaten hebben de meeste deelnemers met slecht tot matig ventilatiegedrag kans gezien hierin veranderingen aan te brengen. Er was onder de deelnemers veel interesse in een eventueel vervolgonderzoek, waarbij de doeltreffendheid van de genomen maatregelen bepaald zou kunnen worden. Alle hoogste meetpunten bevonden zich in ruimtes op of onder de begane grond (en dus niet op verdiepingen). Bij drie van de meetpunten gold dat de corresponderende deelnemers problemen met de luchtwegen hadden en daarom juist veel aandacht schonken aan de kwaliteit van het binnenklimaat. In drie gevallen kwam een bijzonderheid naar boven over grondwater of water in de bodem. Het

ging hierbij om een woning die gebouwd was op zeer natte grond, en twee woningen met opwellend grondwater in de kruipruimte. Een verband tussen infiltratie van grondwater in woningen, en hogere radonconcentraties in de bijbehorende woning is in internationaal onderzoek vaker gesignaleerd [5, 37]. De aanwezigheid van water in de bodem kan als een barrière fungeren en exhalatie van radon door de bodem en rotsen vertragen. Anderzijds kan radon ook oplossen in het water dat door de grond of het gesteente stroomt en naar andere ruimtes transporteren [37]. Of deze processen zich op dezelfde manier voltrekken onder de omstandigheden in Nederland is niet bewezen. Om dat te kunnen doen, is gericht onderzoek vereist.

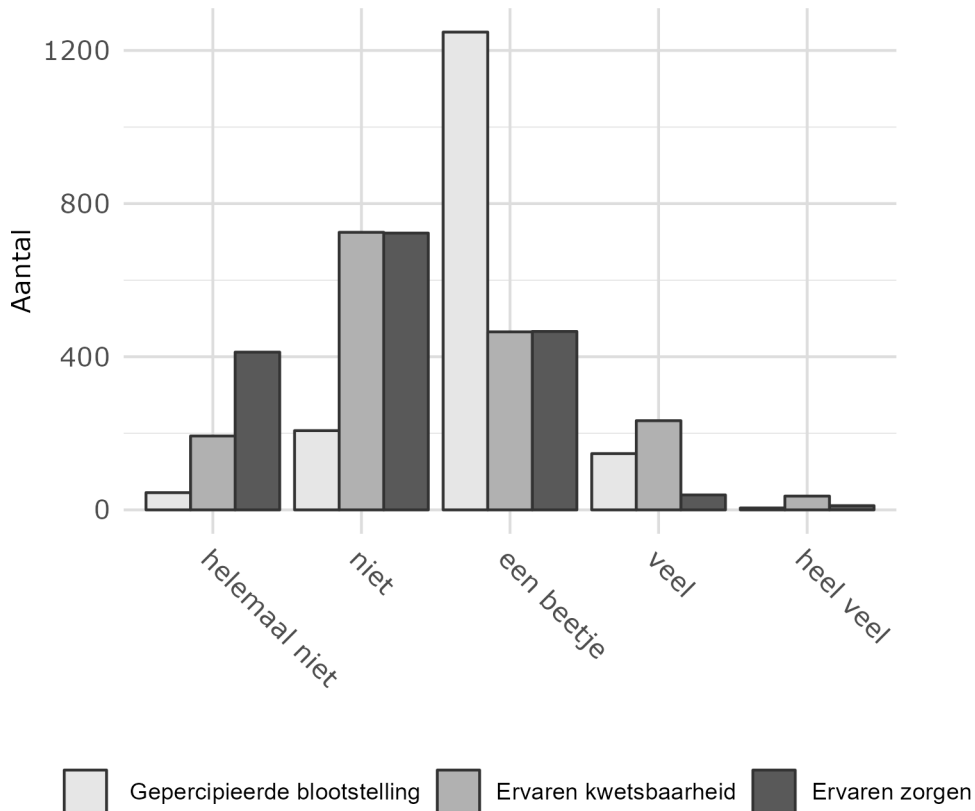
#### **4.8 Perceptie van blootstelling, zorgen over radon in de woning, en ervaren kwetsbaarheid om ziek te worden**

In totaal beantwoordden 1.652 deelnemers de vragen over gepercipieerde blootstelling, zorgen over radon in de woning, en ervaren kwetsbaarheid en zorgen over radon. Een overzicht van de resultaten is weergegeven in Figuur 4.20.

De meeste deelnemers (76%) aan het onderzoek denken dat er een beetje radon aanwezig is in de woning. Een minderheid (9%) denkt dat er (heel) veel radon in hun woning aanwezig is. De meeste deelnemers maken zich ook geen zorgen over de aanwezigheid van radon in de woning (69%). Ongeveer 3 procent maakt zich (zeker) wel zorgen. De meeste deelnemers denken (helemaal) niet ziek te kunnen worden (56%). Er is ook een aanzienlijke minderheid die denkt een beetje (28%) of (zeker) wel (16%) ziek te kunnen worden (ervaren kwetsbaarheid) van de blootstelling aan radon in de woning.

## Gepercipieerde blootstelling, kwetsbaarheid en ervaren zorgen

Campagne(s): 2022-2023



*Figuur 4.20 Staafdiagrammen van de gepercipieerde blootstelling aan radon, ervaren kwetsbaarheid voor radon en de ervaren zorgen over radon. De meeste deelnemers denken dat er 'een beetje' radon aanwezig is in de woning (gepercipieerde blootstelling). De meeste deelnemers denken ook (helemaal) niet ziek te worden door radon (ervaren kwetsbaarheid) en maken zich geen zorgen over radon (ervaren zorgen)*

### 4.8.1

#### *Samenhang tussen gemeten radonconcentratie en gepercipieerde blootstelling, ervaren zorgen, en ervaren kwetsbaarheid*

De perceptie over blootstelling aan radon in de woning hangt niet samen met gemeten radonconcentraties. Dit suggereert dat in de regio's met een hogere gemiddelde radonconcentratie men zich niet meer blootgesteld voelt (en vice versa).

Er is een zeer zwak positief verband tussen zowel de ervaren zorgen over radon als de ervaren kwetsbaarheid voor radon en de gemeten radonconcentraties. Wel is het (positieve) verband sterker tussen deze twee variabelen (zorgen en kwetsbaarheid) en de perceptie over blootstelling. Zorgen over de aanwezigheid van radon in de woning en de ervaren kwetsbaarheid hangen het sterkst samen.

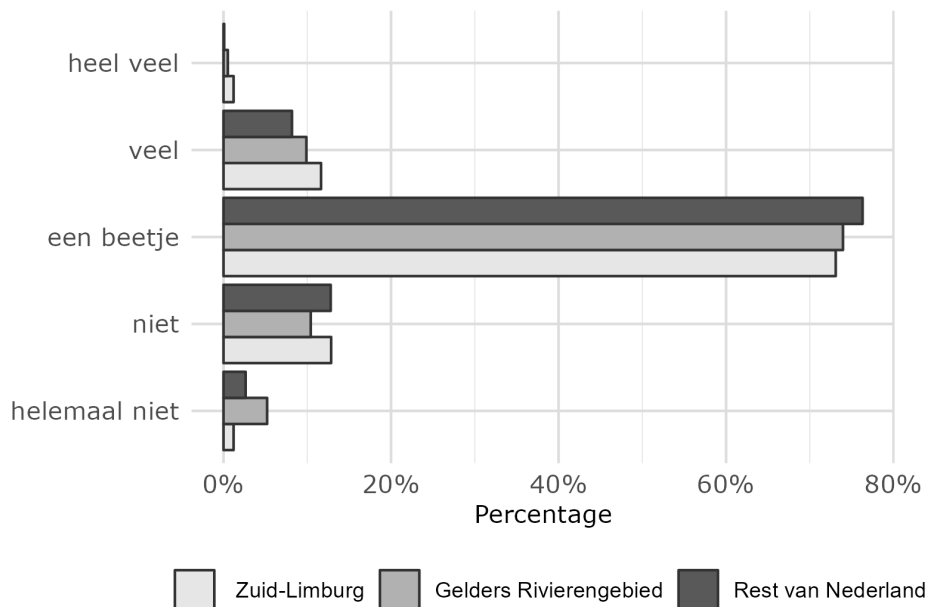


#### 4.8.2 *Verschillen tussen Zuid-Limburg, het Gelders rivierengebied en de rest van Nederland*

We hebben geen regionale verschillen gevonden in gepercipieerde blootstelling. Dit suggereert dat inwoners van de regio's met hogere radonconcentraties (Zuid-Limburg en het Gelders Rivierengebied) dat niet als zodanig percipiëren. Wel zijn er regionale verschillen in de ervaren zorgen over radon in de woning en de ervaren kwetsbaarheid voor radon. Deelnemers uit Zuid-Limburg geven vaker aan zich zorgen te maken over radon in de woning dan deelnemers uit het Gelders Rivierengebied, al geven ze niet vaker aan zich kwetsbaar te voelen. Deelnemers uit Zuid-Limburg geven ook vaker aan zich zorgen te maken om radon in de woning en geven vaker aan zich kwetsbaar te voelen dan deelnemers uit de rest van Nederland. We hebben geen verschillen gevonden in de ervaren zorgen en de ervaren kwetsbaarheid tussen deelnemers uit het Gelders Rivierengebied en de rest van Nederland. Figuur 4.21 tot en met Figuur 4.23 geven een overzicht van de antwoorden van deelnemers uit de verschillende regio's.

#### **Gepercipieerde blootstelling per regio**

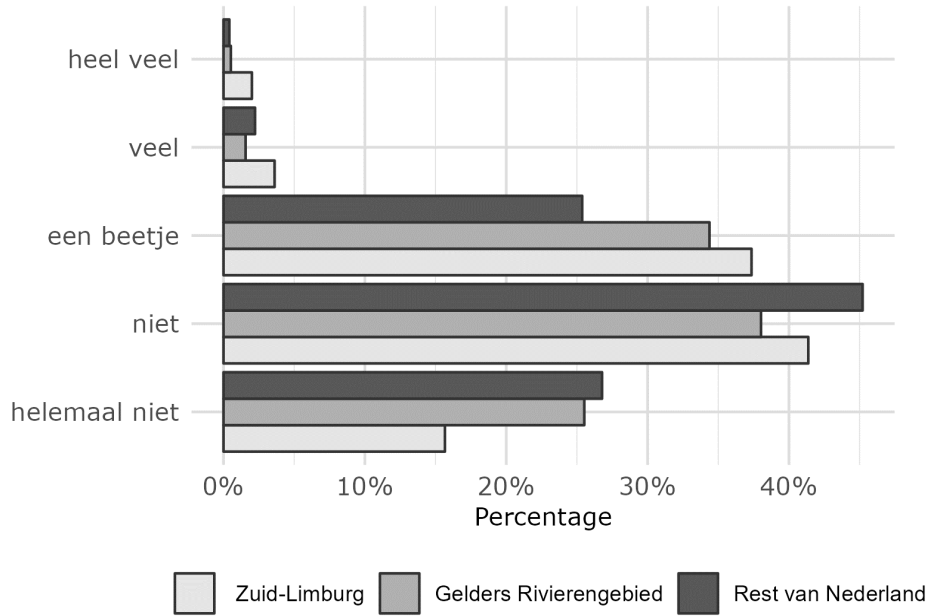
*Campagne(s): 2022-2023*



*Figuur 4.21 Staafdiagram van de gepercipieerde blootstelling aan radon, gesplitst over de drie regio's. In alle drie de regio's denken de meeste deelnemers dat er een beetje radon aanwezig is in de woning.*

### Ervaren zorgen per regio

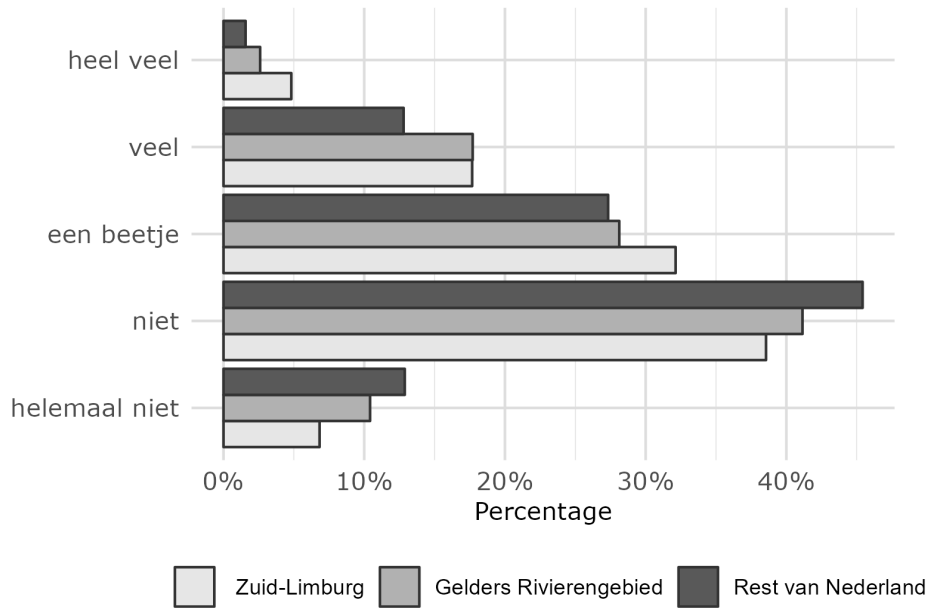
Campagne(s): 2022-2023



Figuur 4.22 Staafdiagram van de ervaren zorgen over radon in de woning, gesplitst over de drie regio's. Deelnemers uit Zuid-Limburg geven het vaakst aan zich zorgen te maken over radon in de woning.

### Ervaren kwetsbaarheid per regio

Campagne(s): 2022-2023



Figuur 4.23 Staafdiagram van de ervaren kwetsbaarheid om ziek te worden door radon in de woning, gesplitst over de drie regio's. Deelnemers uit Zuid-Limburg geven vaker aan zich kwetsbaar te voelen voor radon dan deelnemers uit de rest van Nederland.

## 5 Discussie woningen

### 5.1 Radonconcentraties in Nederlandse woningen in 2022-2023

Een van de doelen van dit onderzoek was zicht te krijgen op veranderingen in de radonconcentratie in woningen sinds de vorige woningsurvey in 2013-2014. De in hoofdstuk 4.2 gerapporteerde resultaten zijn circa 30 procent tot 50 procent hoger dan de bij de vorige survey gemeten radonconcentraties. Ook het aantal overschrijdingen van het referentieniveau nam toe, zie Tabel 5, en de rekenkundig gemiddelde radonconcentratie (Tabel 5) lag iets boven de streefwaarde van 20/m<sup>3</sup> uit het radonactieprogramma [6]. Deze toename was niet uniek voor Nederland. Ook in België zijn in 2023 hogere radonconcentraties gemeten dan in eerdere jaren [38]. Naar Europese en wereldwijde maatstaven blijven de Nederlandse radonconcentraties nog altijd laag.

We bespreken hier een aantal mogelijke verklaringen voor de gestegen radonconcentraties, en mogelijke implicaties voor de gezondheid van inwoners van Nederland.

#### 5.1.1 *Representativiteit van de steekproef*

Zoals vermeld in paragraaf 3.2.3 is de in de survey gehanteerde steekproef niet representatief voor het Nederlandse woningbestand, en de deelnemers niet voor de Nederlandse bevolking (paragraaf 4). Dit is deels een direct gevolg van de opzet van het onderzoek, waarbij extra aandacht was voor gebieden waar hogere radonconcentraties werden verwacht. Deels is dit ook toe te schrijven aan de wijze waarop deelnemers geworven zijn: deelnemers konden zich zelf aanmelden, waarbij bijvoorbeeld de interesse voor deelname onder bewoners van eengezinswoningen bovengemiddeld hoog bleek. Woningen uit gebieden in Nederland waar de radonconcentraties gemiddeld hoger zijn, waren zodoende oververtegenwoordigd. Dat gold ook voor eengezinswoningen. De gerapporteerde stijging van het radonniveau is verkregen na statistische correctie voor oververtegenwoordiging van deze groepen woningen. Deze stijging is dus niet het gevolg van de nadruk op gebieden met naar verwachting hogere radonconcentraties in dit onderzoek. Evenmin kan de stijging worden verklaard doordat relatief veel bewoners van eengezinswoningen zich aanmeldden als deelnemer. Ook de toename van het aantal overschrijdingen van het referentieniveau kan niet volledig worden verklaard door de samenstelling van de steekproef. Als we de drie regio's (Zuid-Limburg, Gelders Rivierengebied en Zuid-Limburg) apart bekijken, zien we dat in elk van de regio's het aantal overschrijdingen van het referentieniveau in 2022-2023 hoger was dan in 2013-2014. In het Gelders Rivierengebied en Zuid-Limburg is de fractie woningen waar het referentieniveau wordt overschreden, nu ongeveer twee keer zo groot, in de rest van Nederland ongeveer zes keer zo groot als tien jaar geleden.

Andere vormen van bias die de resultaten beïnvloeden hebben, zijn niet uitgesloten. Zo is onbekend of het ventilatiegedrag van de deelnemers aan de surveys representatief was voor Nederland, of dat deelnemers minder of juist meer ventileren.

### 5.1.2 *Meteorologische omstandigheden*

Het is bekend dat de meteorologische omstandigheden van invloed kunnen zijn op de radonconcentraties in het binnenmilieu [14]. Als de temperatuur binnenshuis hoger is dan buiten, kan de radonconcentratie oplopen door het schoorsteeneffect (zie ook paragraaf 2.4), waarbij radon uit de ondergrond de woning wordt ingezogen. Om een mogelijk effect van de weersomstandigheden te onderzoeken, hebben we de maandwaarden van de temperatuur in beide meetperiodes met elkaar vergeleken [39], waarbij de verschillen beperkt bleken. Ook is de relatieve stijging van het radonniveau in Zuid-Limburg gelijk aan die in overig Nederland; de relatieve stijging in het Gelders Rivierengebied is zelfs lager. Dit wijst niet op een belangrijke bijdrage van het schoorsteeneffect, dat leidt tot een toename van radon uit de bodem; in Nederland vormen bouwmaterialen veelal de belangrijkste bron van radon [40]. Zelfs een relatief grote toename van de bijdrage van de bodem door het schoorsteeneffect zou leiden tot een beperkt effect op de totale radonconcentratie. In Zuid-Limburg en het Gelders Rivierengebied wijzen de resultaten in paragraaf 4.3 op een relatief grote bijdrage van de bodem. Als temperatuurverschillen en een daaruit volgend schoorsteeneffect tussen de twee meetperiodes een belangrijke rol gespeeld hadden, zou dit naar verwachting geleid hebben tot een grotere relatieve stijging in deze gebieden. Verschillen tussen de meteorologische omstandigheden in de twee meetjaren lijken daarmee hoogstens een beperkt effect gehad te hebben.

### 5.1.3 *Verschillen tussen radondetectoren*

In 2022-2023 is een andere radonmeter gebruikt dan in 2013-2014, met een hogere gevoeligheid voor thoron. Dit verschil is vooral relevant als detectoren dichterbij muren of plafonds zijn geplaatst dan in de instructies voor deelnemers was aangegeven: vanwege de korte halveringstijd (56 seconden) leveren vooral de buitenste lagen van wanden, vloeren en plafonds (de wandafwerkingsmaterialen) een bijdrage aan de aanwezigheid van thoron in de leefruimte. Vlak bij een wand of plafond waaruit thoron vrijkomt, is de thoronconcentratie veel hoger dan midden in de kamer. In de instructie voor het plaatsen van de radonmeter was aangegeven dat de meter geplaatst moest worden op een minimale afstand van 50 cm van een buitenmuur en 25 cm van een binnenmuur en het plafond. Bij deze afstanden zou de bijdrage van thoron op het meetresultaat erg klein zijn. Als de meter echter toch tegen bijvoorbeeld een muur aan is geplaatst, kan dit resulteren in een hogere gemeten radonconcentratie. Gezien het beperkte verschil in gevoeligheid tussen de in de twee surveys gebruikte detectoren is het onwaarschijnlijk dat dit een belangrijke bijdrage levert aan de hogere radonconcentraties.

### 5.1.4 *Verduurzaming van woningen*

Bij verduurzaming van woningen worden isolatiemaatregelen genomen om het energieverbruik in de woning te reduceren. Als hierbij geen aandacht besteed wordt aan het op peil houden van de ventilatie, kan dit leiden tot een verhoging van het radonniveau in de woning. Dat blijkt uit internationaal onderzoek [15], [16], [17]. In het huidige onderzoek (2022-2023) werd een significant verband gevonden tussen verduurzaming en radonconcentratie in de woningen, met hogere radonconcentraties in verduurzaamde woningen. Er zijn hierbij alleen

gegevens beschikbaar uit de survey van 2022-2023, in 2013-2014 is niet uitgevraagd of er verduurzaamd was. Er is geen informatie beschikbaar over de aard van de uitgevoerde verduurzamingsmaatregelen. Opvallend is hierbij dat in de woningen met vloerisolatie de radonconcentratie juist lager was dan in woningen zonder. De relatie tussen verduurzamingsmaatregelen, ventilatie en kwaliteit van het binnenmilieu is onderwerp van een lopend RIVM-onderzoeksproject, SPR ENABLE.

#### 5.1.5 *Effect van gestegen brandstofprijzen op ventilatiegedrag*

Tijdens de meetcampagne van 2022-2023 stegen brandstofprijzen sterk [41]. Bij (een deel van) de Nederlandse bevolking leidde dit tot veranderingen in stook- en/of ventilatiegedrag. Om stookkosten te verminderen, werd bijvoorbeeld de thermostaat lager gezet, of werden ramen, deuren of ventilatierooster vaker gesloten gehouden [42-44]. Te weinig ventileren en een lage binnentemperatuur heeft een negatief effect op het binnenklimaat in de woning, waarbij voor de radonconcentratie vooral de mate van ventilatie van belang is. In de vragenlijst die deelnemers aan deze survey invulden, is niet expliciet gevraagd naar verschillen in ventilatiegedrag met voorgaande jaren. Wel gaf een deel van de deelnemers aan dat stookkosten een reden waren om ventilatie te beperken. Het is aannemelijk dat veranderd ventilatiegedrag naar aanleiding van de energiecrisis in 2022-2023 een oorzaak is voor de hogere radonconcentraties in 2022-2023 ten opzichte van 2013-2014. Omdat er echter geen informatie beschikbaar is over de verandering in stookgedrag en ventilatiegedrag door de deelnemers voor en na de energiecrisis, is niet vast te stellen hoe groot dit effect was.

#### 5.1.6 *Gezondheidseffecten en hogere radonconcentraties*

Voor stralingsbeschermingsdoeleinden wordt aangenomen dat het verband tussen levenslange blootstelling aan straling en de kans op het krijgen van kanker als gevolg daarvan, lineair is. Een blijvende stijging van de radonconcentratie in Nederlandse woningen met 30 procent tot 50 procent zou naar verwachting dan ook leiden tot een stijging van 30 procent tot 50 procent van longkanker waarvan radon een oorzaak is. Op basis van de onderzoeksresultaten in woningen in 2013-2014 werd dit aantal geschat op circa 400 [2]. De onderzoeksresultaten geven niet aan of de gemeten verhoging van de radonconcentraties tijdelijk is, of blijvend. Zoals hierboven genoemd, is het aannemelijk dat gedragsverandering naar aanleiding van de energiecrisis een rol gespeeld heeft. Als inwoners van Nederland hun stook- en ventilatiegedrag blijvend hebben aangepast, heeft dit niet alleen invloed op de radonconcentraties, maar leidt dit tot een algemene verslechtering van het binnenmilieu [45].

## 5.2 **Regionale verschillen**

De geometrisch gemiddelde radonconcentratie in Zuid-Limburg was met 47,3 Bq/m<sup>3</sup>, ruim 2,5 keer zo hoog als in de rest van Nederland (17,3 Bq/m<sup>3</sup>); in het Gelders Rivierengebied bedroeg de geometrisch gemiddelde radonconcentratie 27,1 Bq/m<sup>3</sup>, ongeveer anderhalve keer zo hoog als in de rest van Nederland. Dit is in lijn met de resultaten in de survey uit 2013-2014. Omdat het aantal metingen in Zuid-Limburg en het Gelders Rivierengebied veel hoger was dan in de vorige survey,

kunnen we nu met meer zekerheid uitspraken doen over regionale verschillen in radonconcentraties. De afbakening van de gebieden Zuid-Limburg en Gelders Rivierengebied op basis van tweecijferige postcodes zou in toekomstig onderzoek nog kunnen worden verfijnd.

### 5.2.1 *Invloed van grondsoort op radonconcentraties*

De resultaten van dit onderzoek laten zien dat in woningen die gebouwd zijn op leem, en in mindere mate voor op zavel gebouwde woningen, de gemiddelde radonconcentratie hoger is dan in woningen gebouwd op andere grondsoorten. Tabel 7 laat verder zien dat van de woningen waarin het referentieniveau werd overschreden, er 61 op leem of zavel gebouwd waren, en 16 op andere grondsoorten. Ook waren er 4 meetpunten boven het referentieniveau in woningen gebouwd op een onbekende grondsoort. Voor de grondsoort klei merken we op dat we een verschil zien tussen radonconcentraties in woningen die gebouwd zijn op rivierklei versus woningen die op zeeklei zijn gebouwd (vergelijk de resultaten in het Gelders Rivierengebied (rivierklei) met de resultaten aan de kust (zeeklei) in Figuur 4.9). Vermoedelijk is dit terug te voeren op de geologische oorsprong van de klei: rivierklei bestaat uit bodemmateriaal dat zijn oorsprong heeft in hoger mineraalhoudend gesteente in bijvoorbeeld de Alpen. Hierdoor is de concentratie van radon producerende modernnucliden waarschijnlijk hoger in rivierklei dan in de zeeklei.

Bij het in kaart brengen van woningen in Nederland waar de kans op overschrijding van het referentieniveau reëel is, is het zinvol rekening te houden met de grondsoort waarop woningen gebouwd zijn.

## 5.3 **Radonconcentraties in nieuwbouwwoningen**

In Tabel 7 is te zien dat voor woningen gebouwd sinds de vorige survey (bouwjaar na 2013) de gemiddelde radonconcentratie lager is dan in woningen die gebouwd zijn in 2013 of eerder. Bij nieuwbouwwoningen worden steeds meer eisen gesteld over verduurzaming in het besluit bouwwerken Leefomgeving (voorheen bouwbesluit). In nieuwbouwwoningen is in de afgelopen jaren steeds meer aandacht geweest voor het bouwen van bijna energie-neutrale woningen en nul-op-de-meter-woningen [46]. Bij het bouwen van deze duurzame woningen is extra aandacht voor isolatie om energieverlies tot een minimum te beperken. Daarnaast wordt bij het bouwen van deze geïsoleerde (luchtdichte) woningen nagedacht over ventilatie. Zo wordt in energiezuinige woningen steeds meer gebruikgemaakt van centrale ventilatiesystemen. Zoals beschreven in Paragraaf 4.6.6 is de gemiddelde radonconcentratie lager bij het gebruik van mechanische ventilatie. Deze verlaging van de radonconcentratie is nog sterker in woningen met balansventilatie dan bij woningen met oudere mechanische ventilatiesystemen.

Ook kan het zijn dat in de loop der tijd andere bouwmaterialen worden toegepast bij het bouwen van woningen. Afhankelijk van de herkomst van de bouwmaterialen en tot hoeverre de bouwmaterialen uit bodemstoffen bestaan, kan dit invloed hebben de radonconcentratie in woningen. In dit onderzoek is geen informatie beschikbaar over hoe de ontwikkeling van gebruikte bouwmaterialen in woningen door de jaren heen is veranderd.

Daarnaast is de radonconcentratie in woningen met vloerisolatie lager dan bij woningen zonder vloerisolatie. Tot hoever vloerisolatie wordt toegepast bij nieuwbouwwoningen kan niet worden vastgesteld met de beschikbare gegevens in dit onderzoek.

#### **5.4 Factoren die van invloed zijn op de radonconcentratie**

Om vast te stellen of er in Nederland naast grondsoort andere factoren zijn die gecorreleerd zijn met de radonconcentratie in de woning, hebben we aanvullende analyses uitgevoerd. Deze analyses wijzen op een verband tussen radonconcentratie en bouwjaar van de woning, rookgedrag van bewoners, verdieping waar de meetruimte zich bevond, ventilatiemethode, verduurzamingsmaatregelen, aanwezigheid van een kruipruimte, kelder en vloerisolatie en frequentie van ventileren door openen van deuren en ramen, naast het al besproken verband tussen grondsoort en radonconcentratie.

Bij deze analyses is geen statistische correctie voor niet-representativiteit toegepast. De waarden voor de gemiddelden die zijn gerapporteerd in paragraaf 4.6 zijn daarmee niet representatief voor heel Nederland. Deze waarden zijn opgenomen om een indicatie te geven van de grootte van de verschillen tussen groepen meetlocaties.

De analyses geven vooral kwalitatieve informatie over factoren die gecorreleerd zijn met de radonconcentratie in woningen. Deze gegevens kunnen ondersteuning bieden bij het identificeren van woningen waar de radonconcentraties hoger kunnen zijn dan gemiddeld in Nederland, en bij het bieden van handelingsperspectief bij het verlagen van radonconcentraties in woningen.

##### *5.4.1 Ventilatie*

Het verband tussen het gebruikte ventilatiesysteem en de radonconcentratie is in lijn met de vorige survey. Ook toen werd al vastgesteld dat in woningen met alleen natuurlijke ventilatie radonconcentraties het hoogst zijn. Nieuw is dat in de huidige survey een onderscheid gemaakt kan worden tussen balansventilatie en oudere mechanische ventilatiesystemen: in woningen met balansventilatie zijn lagere radonconcentraties gevonden dan in woningen met mechanische ventilatie. We merken hierbij op dat het hier alleen gaat om de aanwezigheid van een type ventilatiesysteem in de woning: hoe het systeem gebruikt wordt, kan de radonconcentratie ook beïnvloeden. In hoeverre dat het geval is, kan op grond van dit onderzoek niet gezegd worden. Wel zien we dat in woningen waar altijd ramen of deuren open staan, de gemiddelde radonconcentratie lager is dan in woningen waar dat niet het geval is.

##### *5.4.2 Rookgedrag*

Zowel in deze studie als in de vorige survey bleek de radonconcentratie in woningen waar binnenshuis gerookt wordt, lager dan in woningen waar dat niet het geval was. Een mogelijke verklaring die naar aanleiding van de resultaten van de survey van 2013-2014 was opgesteld, was dat rokers meer ventileren dan niet-rokers. Op dat moment waren echter geen data beschikbaar om deze hypothese aan te toetsen. In de vragenlijst bij de survey 2022-2023 is hierover een extra vraag opgenomen. In 2022-2023 gaven 81 deelnemers aan dat er

binnenshuis gerookt werd. De meerderheid hiervan (64 deelnemers) gaf aan extra te ventileren tijdens het roken. Dat ventilatiegedrag een rol speelt bij de geobserveerde lagere radonconcentraties in woningen waar gerookt wordt, is daarmee aannemelijker geworden.

#### 5.4.3

##### *Aanwezigheid van een kelder of kruipruimte en vloerisolatie*

Het is aannemelijk dat aanwezigheid van een kelder, kruipruimte of vloerisolatie van invloed is op de hoeveelheid radon die vanuit de bodem de woning bereikt.

In woningen met een kelder (zie Figuur 4.16) is de radonconcentratie gemiddeld hoger dan in woningen zonder kelder. Dit resultaat is niet onverwacht: in kelders is de ventilatie veelal beperkt, en een groot deel van het vloer- en muuroppervlak staat in contact met de bodem. Radon die vrijkomt uit de bodem kan zich ophopen in de kelder en zich vandaaruit verder verspreiden naar de rest van het huis [47].

Dat in woningen met een kruipruimte de radonconcentratie gemiddeld lager is dan in woningen zonder kruipruimte (zie Figuur 4.17), is in het licht van bovenstaande verklaring wellicht onverwacht. In Nederland was in het verleden ventilatie van de kruipruimte verplicht. Door ventilatie van de kruipruimte hoopt radon zich minder op, waardoor ook minder radon in de woning komt [15, 48, 49].

Ten slotte speelt ook vloerisolatie een rol. In woningen met vloerisolatie is de gemiddelde radonconcentratie lager dan in woningen zonder vloerisolatie. Dit onderzoek geeft aan dat vloerisolatie een effectieve manier zou kunnen zijn om radonconcentraties te verlagen in Nederland. Het is niet bekend welk type vloerisolatie is aangebracht bij de deelnemers, en kosteneffectiviteit van de maatregel is niet onderzocht. Ook is het effect van vloerisolatie niet vergeleken met dat van bijvoorbeeld ventilatie van kruipruimte of kelder, indien aanwezig.

#### 5.4.4

##### *Bouwmaterialen*

Zoals genoemd in paragraaf 5.1.2 vormen bouwmaterialen in veel Nederlandse woningen de belangrijkste bron van radon [40]. In dit onderzoek is geen correlatie aangetoond tussen verschillen in bouwmaterialen en de radonconcentratie in woningen (zie 'materiaal van de vloer- en muurconstructie', paragraaf 4.6). Hierbij moet opgemerkt worden dat de beschikbare data hiervoor ontoereikend was. Er is in de dataset weinig variatie in de toegepaste vloermaterialen: vloeren zijn veelal van beton gemaakt (1.200 van 1.540 woningen). In iets minder dan de helft (701) van de ingevulde vragenlijsten werd het materiaal van de muurconstructie niet ingevuld. Ook is aanvullende informatie over de bouwmaterialen, zoals de herkomst, niet bekend. Een vragenlijst aan deelnemers aan een survey is mogelijk niet geschikt om de correlatie tussen constructiematerialen en radonconcentratie in de woning te kunnen onderzoeken. Een correlatie van bouwmaterialen met de radonconcentratie in woningen blijft daarmee waarschijnlijk.

#### 5.4.5

##### *Effect van combineren van datasets op geobserveerde correlaties*

Een beperking van de analyses van aanvullende factoren is dat hier gegevens van de surveys uit 2013-2014 en 2022-2023 gecombineerd moesten worden. De afzonderlijke studies bevatten onvoldoende data om voor de onderzochte factoren de correlatie met radonniveaus in kaart te brengen. De verschillen tussen radonconcentraties in de twee onderzoeken kunnen voor sommige factoren de resultaten hebben



beïnvloed. Dit geldt bijvoorbeeld voor het verband tussen bouwjaar en radonconcentratie. Figuur 4.10 laat zien dat de radonconcentraties in woningen gebouwd vóór 1930 hoger waren dan in nieuwere woningen. In de survey in 2013-2014 waren deze woningen niet opgenomen. De resultaten voor deze bouwperiode zijn dus allemaal verkregen in de recentste studies, waarin radonconcentraties hoger waren dan eerder. De gerapporteerde hoge concentraties in woningen van voor 1930 zijn mogelijk eerder een effect van meetjaar dan van bouwjaar. Ook het resultaat voor woningen die gebouwd zijn in de periode 2011-2022 kan beïnvloed zijn door een relatief groot aantal nieuwe woningen. Tijdens de vorige survey waren de nieuwste woningen nog niet gebouwd. Tabel 6 suggereert dat er een correlatie is tussen beschikbaarheid van informatie over de aanwezigheid van een kelder, kruipruimte of vloerisolatie en radonconcentratie in de woning. Ook dit is zeer waarschijnlijk een gevolg van het combineren van data voor verschillende surveys. De metingen in woningen waarvoor geen informatie beschikbaar is over deze woningeigenschappen vonden vooral plaats in 2013-2014, toen de gemeten radonconcentraties over de gehele linie lager waren dan in de meest recente survey.

Uit bovenstaande volgt dat de grootte van de effecten van de beschouwde factoren op dit moment nog onzeker is. Om hiervan een beter beeld te krijgen, is aanvullend onderzoek nodig. Wel geeft de analyse kwalitatieve informatie over factoren die een verband hebben met de radonconcentratie. Dit kan van nut zijn bij de identificatie van woningen die *at risk* zijn voor een voor Nederland bovengemiddelde radonconcentratie, en voor het vaststellen van mogelijke handelingsperspectieven.

## **5.5 Perceptie van blootstelling, zorgen over radon in de woning, en ervaren kwetsbaarheid om ziek te worden**

De meeste deelnemers aan het onderzoek denken dat er een beetje radon aanwezig is in de woning, maken zich geen zorgen over de aanwezigheid van radon in de woning, en denken niet ziek te kunnen worden van radon in de woning.

Resultaten suggereren dat er geen samenhang is tussen gemeten concentraties ('daadwerkelijke blootstelling') en gepercipieerde blootstelling. Gepercipieerde blootstelling hangt sterker samen met zorgen over de aanwezigheid van radon in de woning, en de ervaren kwetsbaarheid om ziek te worden dan de gemeten concentraties. Dit suggereert dat (verkeerde) ideeën over blootstelling aan radon invloed kunnen hebben op bijvoorbeeld de zorgen die mensen ervaren.

Hoewel in Zuid-Limburg en het Gelders Rivierengebied wel hogere radonconcentraties zijn gemeten, laten de resultaten zien dat deelnemers uit deze twee regio's geen hogere blootstelling percipiëren dan deelnemers uit de rest van Nederland.

Er werden tussen de regio's wel verschillen gevonden in ervaren zorgen en kwetsbaarheid. Op basis van het huidige onderzoek kunnen deze verschillen niet direct verklaard worden. Mogelijk is een groter bewustzijn van het van nature aanwezige radon in Zuid-Limburg een reden dat deelnemers uit deze regio vaker aangeven zich zorgen te

maken. Mogelijk hebben deelnemers uit dit gebied door dit bewustzijn een gevoel van een gebrek aan controle over de blootstelling en ervaren zij deze blootstelling bijvoorbeeld als onvrijwillig. Van dergelijke factoren is bekend dat deze aan zorgen kunnen bijdragen. Er is vervolgonderzoek nodig om te bepalen welke factoren in de huidige context specifiek relevant zijn.

Door de oververtegenwoordiging van hoog opgeleiden in dit onderzoek geeft de perceptiedata geen representatief beeld van de inwoners van Nederland. Ook hebben deelnemers in de periode van deelname aan het onderzoek op verschillende momenten informatie ontvangen over radon (zie paragraaf 3.1.2). Zowel bij het wervingsfilmpje (start onderzoek) als in de animatie (drie maanden voor de vragenlijst) is de deelnemers verteld dat radonconcentraties in Nederland gemiddeld laag zijn vergeleken met het buitenland, maar dat er binnen Nederland wel regionale verschillen zijn. Er is niet getoetst in hoeverre deelnemers deze animatie hebben bekeken en de informatie hieruit hebben meegenomen bij het invullen van de vragenlijst. Het is niet duidelijk of en in hoeverre deze informatie de antwoorden van deelnemers heeft beïnvloed.

Naast de gepercipieerde blootstelling, ervaren zorgen over radon in de woning en ervaren kwetsbaarheid, zijn er ook gegevens verzameld over bijvoorbeeld de verwachte effectiviteit van ventilatie om de hoeveelheid radon binnenshuis te verminderen (ook wel response effectiviteit genoemd, zie Bijlage II). In de toekomst kan verder onderzoek gedaan worden naar deze factoren.

## Deel C - Werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen



## 6 Methode werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen

In dit hoofdstuk beschrijven we de opzet van het radononderzoek op werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen. Het eerste deel gaat over de opzet van de steekproef, werving van de deelnemers en tijdsplan van het onderzoek. De tweede helft van het hoofdstuk beschrijft de in het onderzoek gebruikte datasets en de toegepaste analysetechnieken.

### 6.1 Opzet van het onderzoek

#### 6.1.1 *Beoogde steekproefgrootte*

Uitgangspunt bij het bepalen van de beoogde steekproefgrootte voor de radonsurvey op werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen zijn de resultaten van de radonmeetcampagne in 2016-2017 [9]. In deze radonmeetcampagne in 2016-2017 hebben in totaal op 572 werkplekken en in voor het publiek toegankelijke gebouwen radonmetingen plaatsgevonden. Hiervan waren 90 metingen in Zuid-Limburg en 67 metingen in het Gelders Riviereengebied.

Om de onderzoeksvragen van dit onderzoek te beantwoorden, zijn de volgende (sub)groepen van te meten werkplekken en voor publiek toegankelijke gebouwen geïdentificeerd:

1. Werkplekken en/of voor publiek toegankelijke gebouwen verspreid over Nederland (niet in het Gelders Riviereengebied en Zuid-Limburg).
2. Werkplekken en/of voor publiek toegankelijke gebouwen in het Gelders Riviereengebied.
3. Werkplekken en/of voor publiek toegankelijke gebouwen in Zuid-Limburg.

De subgroepen 2 en 3 zijn gedefinieerd op basis postcodegebieden die overeenkomen met postcodegebieden uit de eerdere survey [12]. Hiervoor worden de eerste twee cijfers van de postcode gebruikt. Voor Zuid-Limburg waren dit de postcodegebieden 61, 62, 63, 64 en voor het Gelders Riviereengebied 40, 41, 53, 65 en 66.

In Bijlage I is een uitgebreidere onderbouwing van de grootte van de steekproef beschreven. Met behulp van een statistische toets (zie Bijlage I) is gekeken hoeveel werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen we moesten includeren om antwoord te kunnen geven op de onderzoeksvraag: wat is de radonconcentraties op werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen in het Gelders Riviereengebied en in Zuid-Limburg (subgroep 2 en 3)? De beoogde steekproefgrootte per subgroep staan samengevat in 9.

Tabel 9 Overzicht van beoogde steekproefgrootte voor de diverse (sub)groepen.

	<b>(Sub)groep</b>	<b>Beoogd aantal meetlocaties</b>	<b>Gerealiseerd aantal meetlocaties</b>	<b>Relevante deelvraag</b>
1	Werkplekken en/of voor het publiek toegankelijke gebouwen verspreid over Nederland (niet in het Gelders Rivierengebied en Zuid-Limburg).	150	186	Deelvraag 3: Vergelijking op landelijk niveau, met de andere subgroepen en met het referentieniveau
2	Werkplekken en/of voor het publiek toegankelijke gebouwen in het Gelders Rivierengebied	200	88	Deelvraag 3: regionale verschillen
3	Werkplekken en/of voor het publiek toegankelijke gebouwen in Zuid-Limburg	200	69	Deelvraag 3: regionale verschillen
	<b>Totaal</b>	<b>550</b>	<b>343</b>	

### 6.1.2 *Werven deelnemers*

In 2022 zijn we gestart met het werven van deelnemers. In het in paragraaf 3.1.2 beschreven wervingsfilmpje werd ook een oproep gedaan om de hoeveelheid radon te meten op je werkplek. Deze oproep leverde voor de werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen niet het beoogde aantal deelnemers op. Daarom is gekozen om ook een uitnodigingsbrief te sturen naar bedrijven, kinderdagverblijven en scholen om deel te nemen aan het onderzoek. Voor het selecteren van de adressen van bedrijven, kinderdagverblijven en scholen is een steekproef gedaan uit de volgende registers:

- Nationaal handelsregister (NHR) en Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG).
- DUO open onderwijsdata.
- Landelijk Register Kinderopvang - BSO en kinderdagverblijven (peuterspeelzaal en gastouder niet meegenomen).

Bij de selectie van de adressen is gekeken naar reguliere werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen. Het gaat hier om reguliere bovengrondse werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen binnen zowel de commerciële als niet-commerciële dienstverlening en de industrie, zoals kantoren, winkels en scholen. De verschillende type werkplekken en gebouwen die behoren tot de steekproef zijn weergegeven in Bijlage VI. Het aantal adressen dat per type werkplek uit de registers is geselecteerd, is bepaald op basis van de beoogde steekproefgrootte en een geschat aanmeldpercentage van 10 procent. Om een goede spreiding van meetlocaties over Nederland te krijgen, is binnen een categorie een gelijk aantal adressen per postcodegebied geselecteerd. Specifieke werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen waar hogere radonconcentraties kunnen worden aangetroffen, behoren niet tot de selectie. Voorbeelden van specifieke werkplekken zijn werkplekken onder de grond (grotten) en werkplekken waar stoffen uit de bodem in een gesloten ruimte worden bewerkt (grondwater-zuiveringsstation) [9].

Bij de selectie van de adressen zijn de volgende werkplekken niet meegenomen:

- Bedrijven met één eigenaar op een woonadres (ZZP'ers).
- Dubbelingen:
  - Meerdere bedrijven (bedrijfsverzamelgebouwen), zorginstellingen (fysio en ziekenhuis), kinderdagopvang of scholen (kidsclub, kinderdagverblijf en BSO) op één adres.
- Bedrijven, kinderdagverblijven en scholen die al eerder aan de radonmeetcampagne in 2016-2017 hebben meegedaan.

Net als bij de woningen werden deelnemers verwezen naar de RIVM-webpagina met informatie over het radononderzoek en een link naar het aanmeldformulier. Het aanmeldformulier bestond uit ook enkele vragen over onder andere de locatie van de werkplek, het soort bedrijf en de contactgegevens. Met deze gegevens konden de werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen ingedeeld worden in een van de subgroepen in Tabel 8.

### 6.1.3 *Meetmethode en tijdschema*

De geselecteerde deelnemers ontvingen eind juli 2022 een envelop met hierin de radonmeter en een instructie voor het plaatsen van de meter. De volledige instructie staat in Bijlage IV. De deelnemers hebben de meter geplaatst in een ruimte die medewerkers veel gebruiken en het beste past bij de werkzaamheden van het bedrijf. De meter heeft een jaar lang in deze ruimte gehangen of gelegen. Tussendoor ontvingen de deelnemers een nieuwsbrief met informatie over het onderzoek en een vragenlijst die ze moesten invullen, zie paragraaf 6.1.4.

Aan het einde van de metingen, eind augustus 2023, kregen de deelnemers een brief met retourinstructie en retourenvelop. Onderaan de brief zat een strook waarop de deelnemers de datum waarop ze de radonmeter hebben verwijderd, het nummer van de radonmeter en het adres van de werkplek konden invullen.

De meters zijn na ontvangst op het RIVM verpakt in een plastic zakje dat werd geseald om ervoor te zorgen dat de detectoren niet verder aan radon werden blootgesteld. De detectoren zijn vervolgens naar het laboratorium gestuurd voor analyse.

Start- en einddatum van de meetperiode zijn voor elke detector individueel vastgesteld op basis van de door de deelnemers verstrekte gegevens. Indien de startdatum niet bekend was, hebben we als startdatum de datum gekozen waarop de meeste radonmeters zijn geplaatst. Als de einddatum niet bekend was, kozen we voor de verwijderdatum van de radonmeters die op dezelfde dag op het RIVM zijn ontvangen. Als er geen andere meters met een bekende verwijderdatum waren, gebruikten we de ontvangstdatum op het RIVM minus 5 dagen als einddatum.

Na de analyse van de radonmeters kregen alle deelnemers een brief met hun eigen meetresultaat en bijbehorende toelichting.

### 6.1.4 *Vragenlijst*

Deelnemers hebben bij de start van de radonmeting een vragenlijst ontvangen. In deze vragenlijst werd de deelnemers gevraagd naar de postcode en het huisnummer van de meetlocatie, het nummer van de radonmeter, de datum waarop de radonmeter geplaatst is op de

werkplek of in het gebouw, de functie van de ruimte waar gemeten wordt en op welke verdieping deze ruimte zich bevindt.

Halverwege de radonmeting ontvingen deelnemers een nieuwsbrief met een link naar een uitgebreidere vragenlijst. Deze vragenlijst bestond uit meerdere delen. Het eerste deel van deze vragenlijst bestond uit een aantal algemene vragen. Deze vragen hadden als doel om de gegevens uit de vragenlijst aan de radonmeting te koppelen.

Het tweede deel van de vragenlijst ging over de (risico)perceptie van radon op de werkplek van de deelnemer. Die vragen zijn gesteld om inzicht te krijgen in de gepercipieerde blootstelling, ervaren zorgen over de aanwezigheid van radon op de werkplek en de ervaren kwetsbaarheid om ziek te worden.

Het derde en vierde deel van de vragenlijst dienden ter ondersteuning van het onderzoek naar factoren die in Nederland van invloed kunnen zijn op de hoogte van het radonniveau. Deze factoren staan beschreven in paragraaf 2.4. In het derde deel werden vragen gesteld over eigenschappen van het gebouw van de werkplek en in het vierde deel over de ruimte waarin de radonmeter is geplaatst. Tenslotte konden de deelnemers opmerkingen plaatsen die ze eerder in de vragenlijst niet kwijt konden. De volledige vragenlijst met antwoordmogelijkheden staat in Bijlage IV.

#### 6.1.5 *Terugblik op meetcampagne 2016-2017*

In 2016-2017 deed het RIVM onderzoek naar radon, thoron<sup>3</sup> en gammastraling op werkplekken en in voor publiek toegankelijke gebouwen in Nederland. Bij dit onderzoek is gekeken naar gemiddelde radonconcentratie voor werkplekken en voor publiek toegankelijke gebouwen in heel Nederland. Ook is gekeken naar de gemiddelde radonconcentratie in verschillende type werkplekken en regio's. Tijdens dit onderzoek zijn extra kinderdagverblijven en scholen in Zuid-Limburg en het Gelders Riviereengebied meegenomen, omdat in deze regio's van nature meer radon in de bodem gevormd wordt.

Voor het onderzoek zijn bijna 5.000 bedrijven en instellingen aangeschreven met het verzoek om deel te nemen aan de meetcampagne. Deze bedrijven waren geselecteerd uit het NHR en het BAG-register. Ongeveer 425 bedrijven en instellingen hebben aangegeven hieraan te willen meewerken. Uiteindelijk hebben de metingen bij 372 reguliere werkplekken en 51 specifieke werkplekken een geldig meetresultaten opgeleverd.

Tijdens de meetcampagne in 2016-2017 zijn ook meerdere specifieke werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen geïdentificeerd. Dit zijn werkplekken en gebouwen waar door omstandigheden hogere radonconcentraties kunnen worden verwacht. Deze hogere radonconcentraties zijn gevonden bij drinkwaterbedrijven, grotten en een bedrijf waar radioactief afval wordt opgeslagen. Deze

<sup>3</sup> Thoron is de internationaal gebruikelijke naam voor radon-220. Als we het in dit rapport over radon hebben bedoelen we uitsluitend radon-222.



bedrijven zijn niet meegenomen in de radonmeetcampagne 2022-2023 (het huidige onderzoek).

## 6.2 Datasets

Bij het analyseren van factoren die de radonconcentratie op werkplekken en bedrijven beïnvloeden, zijn de data van de survey uit 2016-2017 en 2022-2023 gecombineerd. Hiermee is een grotere dataset verkregen dan bij alleen het gebruik van data uit 2022-2023. In de onderzoeksopzet zijn enkele gegevens die 2016-2017 verzameld zijn, ook in 2022-2023 verzameld.

### 6.2.1 *Meetcampagne 2016-2017*

Naast de gemeten radonconcentraties zijn er aanvullende gegevens bekend van de deelnemende bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen. Daarbij gaat het om de branche en de locatie (postcode en huisnummer).

Ook zijn aanvullende gegevens uitgevraagd via een vragenlijst. Hierbij ging het om de bouwperiode van het bedrijfsgebouw, of er gerenoveerd is (en zo ja, in welke periode), de ventilatiemethode in het gebouw, de verdieping waarop gemeten is, of er een kelder aanwezig is direct onder de ruimte waar gemeten is en wat de hoofdfunctie is van de ruimte waar gemeten is.

### 6.2.2 *Meetcampagne 2022-2023*

Behalve de gemeten radonconcentraties zijn ook aanvullende gegevens bekend over de deelnemende bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen. Hierbij gaat het om de branche en de locatie (postcode en huisnummer).

Ook zijn aanvullende gegevens uitgevraagd via een enquête. Deze vragenlijst was uitgebreider dan die van de vorige survey (zie sectie 6.3.1). Hierbij ging het om eigenschappen van het gebouw, namelijk de bouwperiode, of er gerenoveerd en/of verduurzaamd is (en zo ja, in welke periode), of vloer, muren en dak geïsoleerd zijn en hoe het gebouw wordt verwarmd. Er zijn ook vragen gesteld over de ruimte waarin de radonmeter geplaatst was. Hierbij ging het om de verdieping waarop gemeten is, of er een kelder of kruipruimte direct onder de ruimte aanwezig is en welk type glas er in de ruimte is toegepast. Daarnaast waren er vragen over de ventilatie, namelijk de ventilatiemethode in het gebouw, op welke momenten er natuurlijke ventilatie (via ramen/deuren en/of roosters) plaatsvindt en welke redenen er zijn om niet continu te ventileren via natuurlijke ventilatie. Tenslotte zijn er ook vragen gesteld over de perceptie van de deelnemers over radon, het ging hierbij over de gepercipieerde blootstelling aan radon, de ervaren zorgen en kwetsbaarheid, de motivatie voor het eventueel nemen van maatregelen en/of extra (natuurlijke) ventilatie van de ruimte mogelijk is.

### 6.2.3 *Representativiteit*

Een van de doelen van de huidige survey is meer inzicht te krijgen in de radonconcentraties op werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen in de twee potentiële risicogebieden, het Gelders Rivierengebied en Zuid-Limburg. Daarnaast heeft het onderzoek als doel de gemiddelde radonconcentratie in heel Nederland te onderzoeken. in

2016-2017 en 2022-2023 is bij het werven van de deelnemers extra aandacht geweest voor kinderdagverblijven en scholen. Kinderen zijn namelijk gevoeliger voor de schadelijke effecten van straling op lange termijn dan volwassenen.

In de totale steekproef zijn meer werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen uit de potentiële risicogebieden opgenomen dan het geval geweest zou zijn als we hadden gestreefd naar een representatieve verdeling van werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen over heel Nederland (zie Tabel 8). Daarnaast bevat de totale steekproef een grote variatie in bedrijfstypen. Dit maakt het mogelijk om verschillen in radonconcentraties tussen verschillende regio's en bouwtype in kaart te brengen.

Door de oververtegenwoordiging van werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen uit de potentiële risicogebieden zal de gemiddelde radonconcentratie in dit onderzoek geen goed beeld geven van de geografische verdeling van werkplekken en gebouwen over heel Nederland. Bij de woningen konden we om een zo goed mogelijk beeld te krijgen van de gemiddelde radonconcentratie voor heel Nederland de gemeten radonconcentratie in een gebied wegen naar het woningaantal en woningtype dat in het gebied staat, zie ook paragraaf 3.2.3. Dit is voor werkplekken en gebouwen niet mogelijk vanwege het relatief kleine aantal meetpunten en de grote variatie in bedrijfstype.

### 6.3 Grondsoorten

Vanwege het bekende verband tussen grondsoort en radonconcentratie in gebouwen [2], is voor de meetpunten van beide surveys de grondsoort bepaald. Dit is in drie stappen gedaan, op basis van de Grondsoortenkaart van Nederland 2006 [24] en de Geologiekaart 2021 (TNO) [25], gevolgd door een handmatige beoordeling die gemaakt is voor meetpunten met een radonconcentratie boven het referentieniveau ( $100 \text{ Bq/m}^3$ ) en meetpunten in Zuid-Limburg en het Gelders Rivierengebied waarvoor nog geen (hoofd)grondsoort gevonden was. Het bepalen van de grondsoort per meetpunt is in meer detail beschreven in Paragraaf 3.3.

### 6.4 Analyse

Deze paragraaf beschrijft de verschillende analysetechnieken die gebruikt zijn om de onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden. In paragraaf 3.4 staat in een tekstbox extra toelichting over boxplots en verschillende analysetechnieken. Niet alle analysetechnieken die bij de woningen zijn toegepast, konden ook gebruikt worden bij de werkplekken en voor het publiektoegankelijke gebouwen. Dit komt door het relatief klein aantal meetpunten en de grote variatie in bedrijfstype. Daarnaast hebben niet alle deelnemers de vragenlijst ingevuld.

#### 6.4.1 *Algemeen beeld radon op werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen in Nederland*

Voor een algemeen beeld van radon in bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen in Nederland werd de gemiddelde radonconcentratie berekend. De mogelijkheid bestaat dat bij het berekenen van het gemiddelde de werkplekken en voor het publiek

toegankelijke gebouwen uit de potentiële risicogebieden zijn oververtegenwoordigd.

De radonconcentratie op werkplekken en in gebouwen is over het algemeen lognormaal verdeeld [27]. Ook in de radonsurvey uit 2016-2017 en 2022-2023 volgde de verdeling van de gemeten radonconcentraties bij benadering een lognormale verdeling. Bij een lognormale verdeling is het informatiever om gebruik te maken van het geometrisch gemiddelde in plaats van het meer bekende, rekenkundig gemiddelde [27]. Zie voor meer informatie ook sectie 4.2. Daarom zal, net zoals bij de woningen (zie sectie 3.4.1), behalve het rekenkundig gemiddelde ook het geometrisch gemiddelde gerapporteerd worden. Als maat voor de betrouwbaarheid van het geometrisch gemiddelde zal (tussen haken) het 95 procent-betrouwbaarheidsinterval van het gemiddelde gegeven worden: dit zijn de waardes waar met 95 procent zekerheid het gemiddelde tussen zal liggen. Het betrouwbaarheidsinterval is berekend aan de hand van het geometrisch gemiddelde en de geometrische standaardafwijking van het gemiddelde (de zogenoemde *standard error of the mean*).

In het rapport van de meetcampagne in 2016-2017 [9] werd het rekenkundig gemiddelde gerapporteerd. Bij vergelijkingen met het vorige rapport zal in dit rapport ook het rekenkundige gemiddelde worden gerapporteerd.

De gemeten radonconcentraties worden geplot in een histogram. Om ook regionale verschillen inzichtelijk te maken, zijn per regio histogrammen gemaakt van de gemeten radonconcentratie (Gelders Rivierengebied, Zuid-Limburg en de rest van Nederland).

De radonconcentraties van de radonsurvey van 2022-2023 worden vergeleken met de waardes die gemeten zijn bij de vorige radonsurvey in 2016-2017 en met het Nederlandse referentieniveau (100 Bq/m<sup>3</sup>).

#### 6.4.2 *Overzicht van alle berekende variabelen*

Voor het presenteren van de meetresultaten zijn verschillende variabelen berekend en (in tabellen) weergegeven. Dit zijn de volgende variabelen:

- Het aantal meetpunten per geanalyseerde groep.
- Het percentage meetpunten per groep ten opzichte van het totaal aantal meetpunten.
- Het geometrisch gemiddelde.
- Het 95 procent-betrouwbaarheidsinterval van het geometrisch gemiddelde (tussen haken).
- Het rekenkundig gemiddelde.
- De mediaan; dit is de waarde die zich in het midden van een (op hoogte van de datapunten gesorteerde) dataset bevindt. Er zijn dus evenveel datapunten hoger dan de mediaan, als dat er lager dan de mediaan zijn. Als de mediaan en het gemiddelde ver uiteen liggen is dit een indicatie van een asymmetrisch verdeelde dataset.
- De laagst en hoogst gemeten radonconcentratie. Vanwege de relatief kleine dataset is er gekozen om niet het 95 procent-betrouwbaarheidsinterval van de gemeten radonconcentraties te berekenen.

- Het aantal meetpunten per groep dat het Nederlands referentieniveau overschrijdt, en het percentage van dit aantal ten opzichte van het aantal meetpunten in deze groep.

#### 6.4.3 *Analyse per gebouweigenschap*

Er is een relatief klein aantal meetpunten en grote onderlinge variatie, en niet alle deelnemers hebben de enquête ingevuld. Daardoor waren er onvoldoende gegevens beschikbaar om een multivariabele-analyse gevolgd door een univariabele-analyse te kunnen uitvoeren, zoals bij de woningen (zie paragraaf 3.4.3, 3.4.4 en 4.4). Wel is voor de variabelen type werkplek, grondsoort, en ventilatiemethode de verdeling van de radonconcentraties weergegeven in een boxplots. Ook zijn van deze factoren tabellen gemaakt, waarin de berekende variabelen in paragraaf 6.4.2 kunnen worden vergeleken. Hierbij zijn de datasets van 2016-2017 en 2022-2023 gecombineerd. In paragraaf 3.4.1 staat een uitleg over boxplots.

## 7 Resultaten werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen

### 7.1 Deelnemers en representativiteit

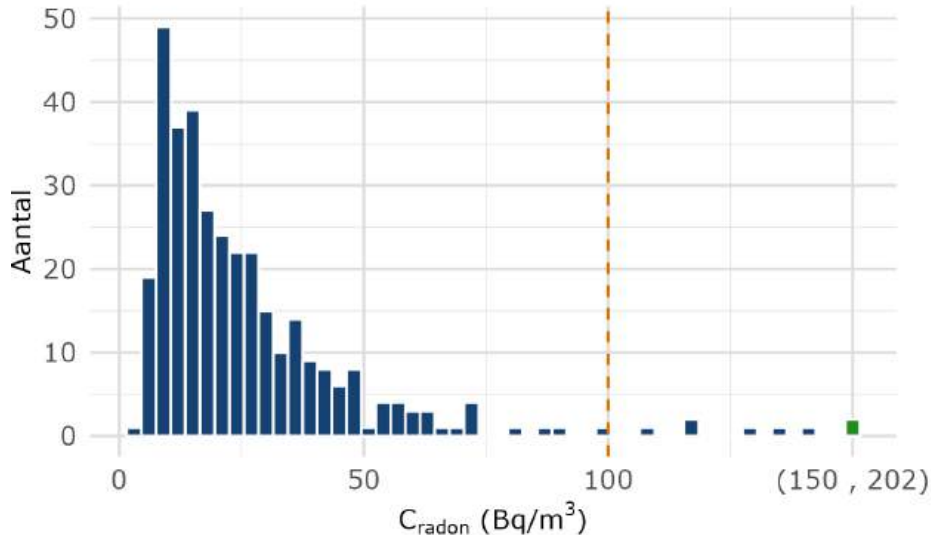
In totaal zijn iets meer dan 10.000 commerciële en niet-commerciële dienstverlenende partijen aangeschreven om deel te nemen aan het onderzoek. Daarnaast is naar iets meer dan de helft van deze partijen een herinneringsbrief verstuurd. Uiteindelijk hebben 638 uitgenodigde partijen gereageerd en zijn 581 radonmeters naar de deelnemende partijen verzonden. Hiervan zijn 353 meters aan het einde van de meetperiode teruggestuurd. Dit leverde aan het einde van de meetperiode 343 geldige meetresultaten op. De overige 11 metingen waren niet geldig. Eén meting was niet geldig omdat de radonmeter niet kon worden uitgelezen. Bij 6 metingen bleek sprake te zijn van een specifieke werkplek en niet een reguliere werkplek en bij 4 metingen bleek het te gaan om een woning in plaats van een werkplek. De vragenlijst is ingevuld door 147 deelnemers. Alle deelnemers hebben een brief ontvangen met hun eigen meetresultaat en een uitleg wat dit meetresultaat betekent. Bij de bedrijven is geen telefonisch contact opgenomen met deelnemers bij wie een hogere radonconcentratie is gemeten.

### 7.2 Algemeen beeld radonwaarden in Nederland

De geometrisch gemiddelde radonconcentratie op werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen in Nederland was 20,2 Bq/m<sup>3</sup>. De gemeten radonwaardes zijn weergegeven in een histogram (Figuur 7.1). Hierin is een piek te zien bij radonconcentraties tussen 10-15 Bq/m<sup>3</sup>. De hoogst gemeten waarde was 202 Bq/m<sup>3</sup>.

## Radonconcentraties in werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen in heel Nederland

Campagne(s): 2022-2023



Figuur 7.1 Histogram van de gemeten radonconcentraties van de survey van 2022-2023. Alle metingen boven 150 Bq/m<sup>3</sup>, zijn gecombineerd weergegeven (groen). Het gaat hierbij om twee metingen. De laagste gemeten radonconcentratie was 4 Bq/m<sup>3</sup>. De hoogst gemeten radonconcentratie was 202 Bq/m<sup>3</sup>. De oranje stippellijn geeft het Nederlandse referentieniveau weer.

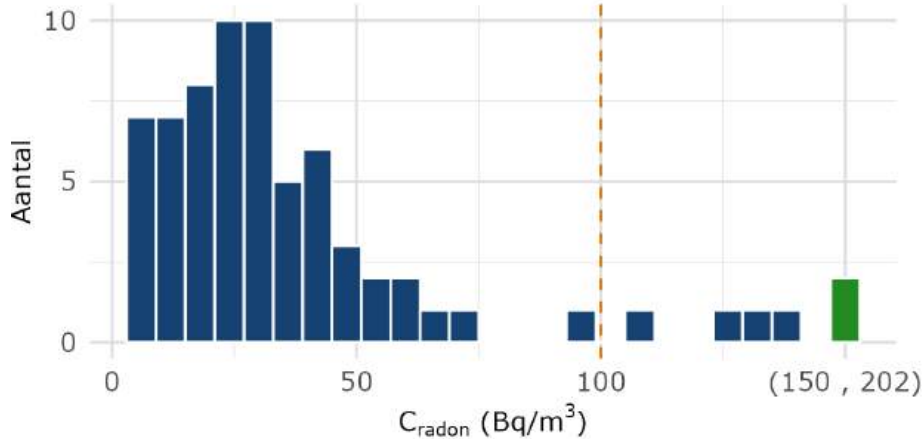
### 7.2.1

#### Regionale verschillen

Er zijn regionale verschillen gevonden in de gemeten radonconcentraties. In Zuid-Limburg werden de hoogste radonconcentraties gevonden. Op 69 werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen in Zuid-Limburg vonden geldige metingen plaats (Dit is 20% van het totaal aantal geldige metingen in de survey). De geometrisch gemiddelde radonconcentratie was hier 28,7 Bq/m<sup>3</sup>. In de 88 bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen in het Gelders Rivierengebied (26% van het totaal in deze survey) was de geometrisch gemiddelde radonconcentratie 22,9 Bq/m<sup>3</sup>. In de 186 bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen in de rest van Nederland (54% van het totaal) was de geometrisch gemiddelde radonconcentratie 16,7 Bq/m<sup>3</sup>. Voor alle regio's zijn de (gemiddelde) radonconcentraties in bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen lager dan de radonconcentraties in woningen. De gemeten radonconcentraties zijn weergegeven in histogrammen in Figuur 7.2, en Figuur 7.3 en Figuur 7.4 in Tabel 11.

### Radonconcentraties in werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen, in Zuid-Limburg

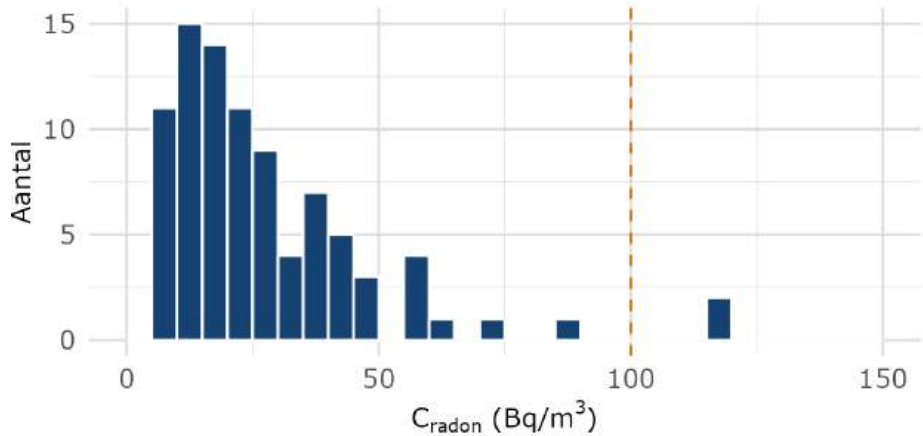
Campagne(s): 2022-2023



Figuur 7.2 Histogram van de gemeten radonconcentraties in Zuid-Limburg voor de survey van 2022-2023. De groene staaf representeert alle metingen boven 150 Bq/m<sup>3</sup>, dit waren er twee. De laagst gemeten radonconcentratie was 4 Bq/m<sup>3</sup>. De hoogst gemeten radonconcentratie was 202 Bq/m<sup>3</sup>. De oranje stippellijn geeft het Nederlandse referentieniveau weer.

### Radonconcentraties in werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen in het Gelders Rivierengebied

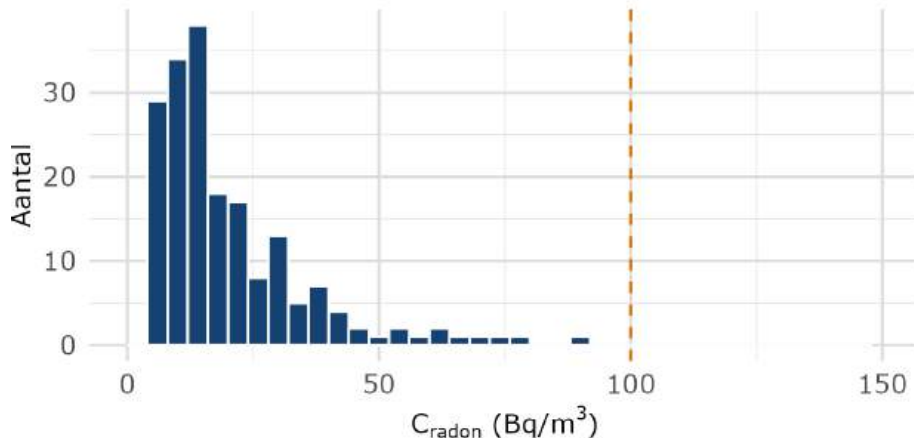
Campagne(s): 2022-2023



Figuur 7.3 Histogram van de gemeten radonconcentraties in het Gelders Rivierengebied voor de survey van 2022-2023. De laagst gemeten radonconcentratie was 6 Bq/m<sup>3</sup>. De hoogst gemeten radonconcentratie was 117 Bq/m<sup>3</sup>. De oranje stippellijn geeft het Nederlandse referentieniveau weer.

## Radonconcentraties in werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen in de rest van Nederland

Campagne(s): 2022-2023



Figuur 7.4 Histogram van de gemeten radonconcentraties in de rest van Nederland voor de survey van 2022-2023. De laagst gemeten radonconcentratie was 5 Bq/m<sup>3</sup>. De hoogst gemeten radonconcentratie was 89 Bq/m<sup>3</sup>. De oranje stippellijn geeft het Nederlandse referentieniveau weer.

### 7.2.2

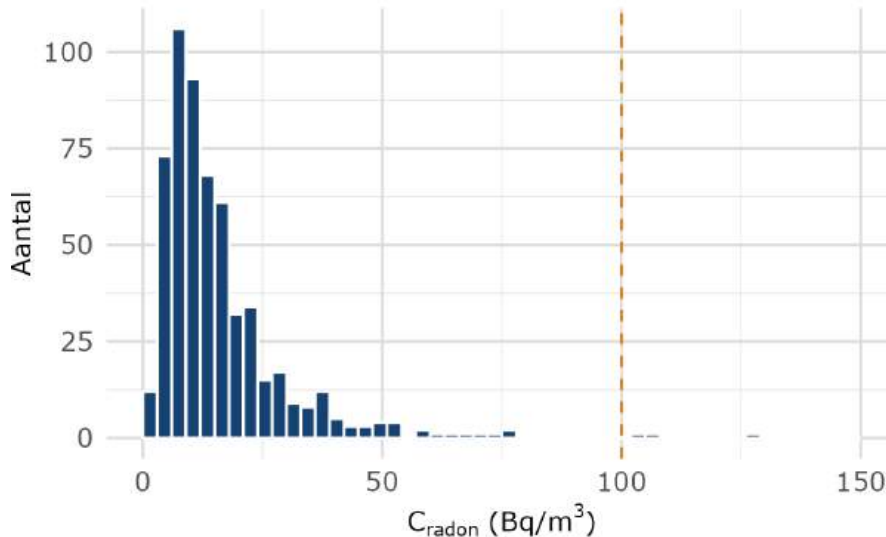
#### Resultaten uit 2016-2017 vergeleken met resultaten uit 2022-2023

De radonconcentraties die gemeten zijn in de huidige survey (van 2022-2023) zijn hoger dan de radonconcentraties die gemeten zijn in de vorige survey van 2016-2017. Figuur 7.5 geeft de in 2016-2017 gemeten radonconcentraties weer in een histogram. De gemiddelden en betrouwbaarheidsintervallen staan in Tabel 10. Vergeleken met de metingen uit 2022-2023 (zie Figuur 7.1) was in 2016-2017 niet alleen de gemiddelde radonconcentratie lager, maar waren er ook minder waarden boven het referentieniveau en was de hoogst gemeten waarde lager dan in 2022-2023. In 2016-2017 werd in 3 van de 571 deelnemende bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen het referentieniveau overschreden. Dit is 0,5 procent van de deelnemende werkplekken en voor het publiektoegankelijke gebouwen. In 2022-2023 waren dit er 8 van de 343, ofwel 2,3 procent van de deelnemende werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen. Wel lag in 2022-2023 een groter aandeel van de deelnemende bedrijven in Zuid-Limburg of het Gelders Rivierengebied dan in 2016-2017: in 2022-2023 was dit respectievelijk 20 procent en 26 procent. In 2016-2017 was dit respectievelijk 13 procent en 11 procent. Het geometrisch gemiddelde van de radonconcentraties was 12,2 Bq/m<sup>3</sup> in 2016-2017 en 20,2 Bq/m<sup>3</sup> in 2022-2023. In het rapport over de meetcampagne 2016-2017 [9] werd het rekenkundig gemiddelde gerapporteerd in plaats van het geometrisch gemiddelde. Het rekenkundig gemiddelde was 15,9 Bq/m<sup>3</sup> in 2016-2017 en 26,5 Bq/m<sup>3</sup> in 2022-2023, zie ook Tabel 10.



## Radonconcentraties in bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen in heel Nederland

Campagne(s): 2016-2017



Figuur 7.5 Histogram van de gemeten radonconcentraties in heel Nederland voor de survey van 2016-2017. De laagst gemeten radonconcentratie was 1 Bq/m<sup>3</sup>. De hoogst gemeten radonconcentratie was 129 Bq/m<sup>3</sup>. De oranje stippellijn geeft het Nederlandse referentieniveau.

### 7.2.3 Referentieniveau en streefwaarde

Het Nederlands referentieniveau voor de radonconcentratie is vastgesteld op 100 Bq/m<sup>3</sup> [6]. Een referentieniveau is geen strikte limiet die niet mag worden overschreden. Overschrijding van de referentiewaarde dient wel zoveel als redelijkerwijs mogelijk te worden voorkomen. In de meeste bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen is de gemeten radonconcentratie lager dan het referentieniveau, zie ook Tabel 10. In 2,3 procent van de 343 deelnemende bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen werd het referentieniveau overschreden. De bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen waar het referentieniveau werd overschreden, bevonden zich allemaal in Zuid-Limburg en het Gelders Rivierengebied.

Het radonactieplan kent naast een referentieniveau ook een streefwaarde voor het rekenkundig gemiddelde van de radonconcentratie in Nederlandse woningen. Deze streefwaarde is 20 Bq/m<sup>3</sup>. Het rekenkundig gemiddelde van de radonconcentraties in Nederlandse bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen ligt in de survey van 2022-2023 met 26,5 Bq/m<sup>3</sup> (23,9 - 29,0) boven het streefwaarde. Hierbij geldt wel dat bij deze survey op meer werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen uit de twee potentiële risicogebieden, het Gelders rivierengebied en Zuid-Limburg, is gemeten.

Tabel 10 Voor de meetjaren 2022-2023 en 2016-2017 voor heel Nederland en per regio (Z-L: Zuid-Limburg; GR: Gelders Rivierengebied; NL: rest van Nederland) het geometrisch gemiddelde (geo. gemiddelde), het 95 procent-betrouwbaarheidsinterval (95%-CI) van het gemiddelde, het rekenkundig gemiddelde (rek. gemiddelde), de mediaan, de laagste (min) en hoogste (max) gemeten radonconcentratie, het aantal metingen per regio (n), het percentage van het totaal aantal metingen van het betreffende meetjaar, en het aantal en de fractie metingen die boven het referentieniveau uitkomen (n/fractie >100 Bq/m<sup>3</sup>). Zie paragraaf 6.4.1 en 6.4.2 voor meer informatie over de analysemethode en berekende variabelen.

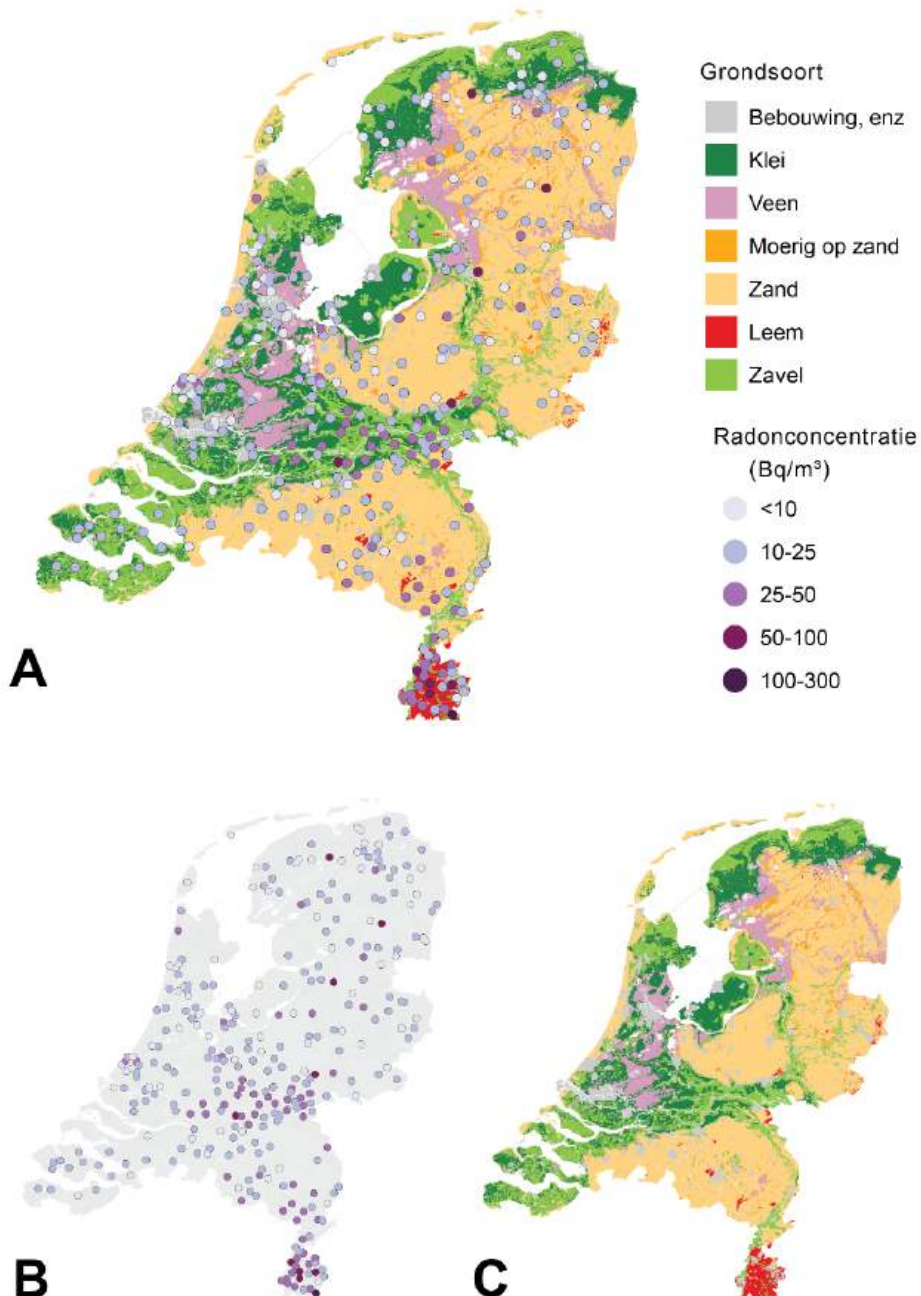
Meetjaar	Regio	n	% t.o.v. totaal	Geo. gemiddelde (95%-CI) [Bq/m <sup>3</sup> ]	Rek. gemiddelde (95%-CI) [Bq/m <sup>3</sup> ]	Mediaan [Bq/m <sup>3</sup> ]	Min [Bq/m <sup>3</sup> ]	Max [Bq/m <sup>3</sup> ]	n/fractie >100 Bq/m <sup>3</sup>
2022-2023	Heel Nederland	343	100%	20,2 (18,7 – 21,8)	26,5 (23,9 – 29,0)	19,0	4	202	8/2,3%
	Z-L	69	20,1%	28,7 (23,8 – 34,6)	39,6 (30,7 – 48,5)	28,0	4	202	6/8,7%
	GR	88	25,7%	22,9 (20,0 – 26,2)	28,3 (23,9 – 32,7)	22,0	6	117	2/2,3%
	NL	186	54,2%	16,7 (15,3 – 18,3)	20,7 (18,5 – 22,9)	16,0	5	89	0/0%
2016-2017	Heel Nederland	571	100%	12,2 (11,5 – 12,9)	15,9 (14,8 – 17,1)	12,1	1	129	3/0,5%
	Z-L	75	13,1%	24,3 (20,7 – 28,6)	31,0 (25,7 – 36,4)	24,8	3	129	3/4%
	GR	61	10,7%	17,1 (14,4 – 20,2)	21,0 (17,5 – 24,5)	18,0	3	72	0/0%
	NL	435	76,2%	10,3 (9,7 – 10,9)	12,6 (11,8 – 13,4)	10,6	1	68	0/0%

### **7.3 Radonconcentraties op (grondsoorten)kaart van Nederland**

In Figuur 7.6 zijn de rekenkundig gemiddelde radonconcentraties per 3-cijferige postcode weergegeven op de Grondsoortenkaart van Nederland 2006 [24]. De kleuren representeren de grondsoorten in Nederland. De gekleurde bolletjes geven de rekenkundig gemiddelde radonconcentratie per 3-cijferig postcodegebied weer. In deze kaart is bijvoorbeeld te zien dat in Zuid-Limburg veel leem te vinden is, en dat hier ook relatief hoge radonconcentraties zijn gemeten. In gebieden met de grondsoort zand zijn de gemeten radonconcentraties juist lager.

## Radonconcentraties en grondsoorten in Nederlandse bedrijven en publiek toegankelijke gebouwen

Radonconcentraties gemiddeld per 3-cijferig postcodegebied  
 Campagne(s): 2022-2023



Figuur 7.6 De grondsoortenkaart van Nederland (2006) samen met de rekenkundig gemiddelde radonconcentraties per 3-cijferige postcode, voor bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen in Nederland (A), de rekenkundig gemiddelde radonconcentraties in Nederland per 3-cijferig postcodegebied, voor bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen in Nederland (B) en de Grondsoortenkaart van Nederland (2006) (C).

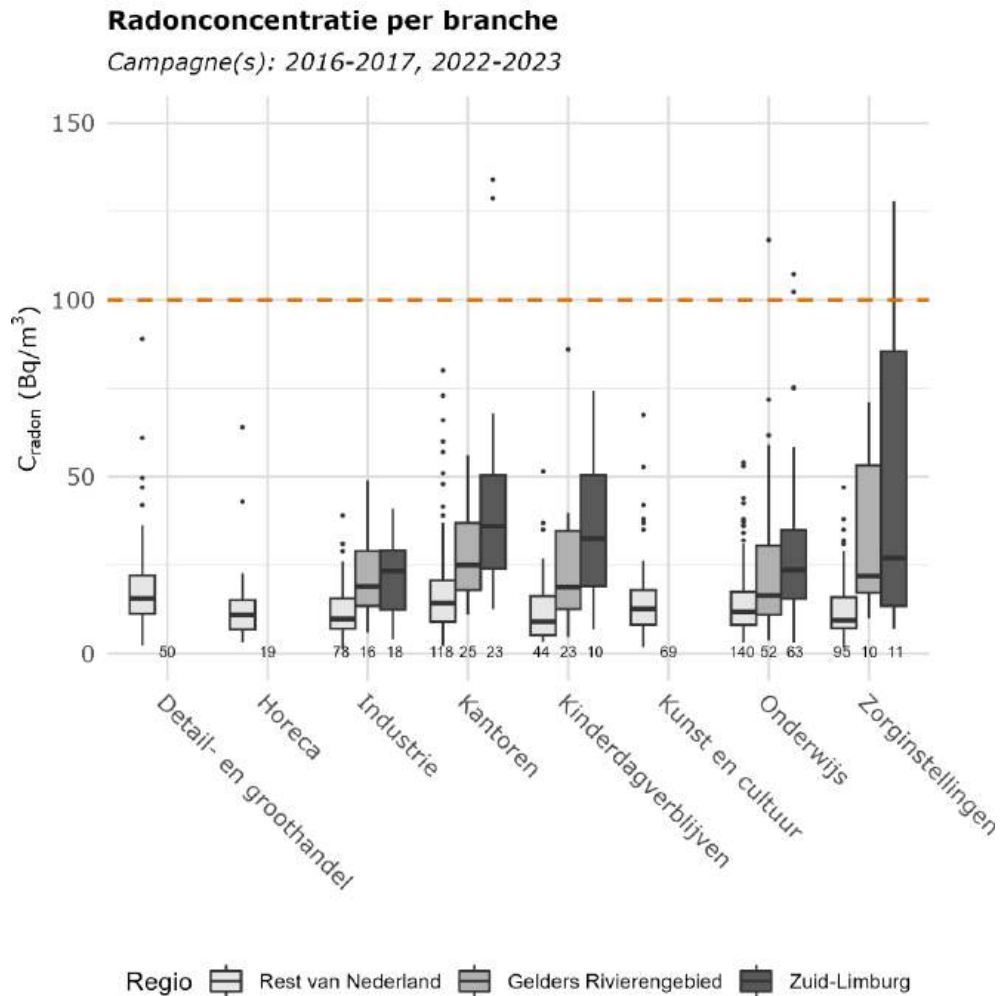
## 7.4 Vergelijking met het buitenland

Zoals besproken in sectie 5.2, zijn er grote verschillen in de radonconcentratie per regio. Vanwege verschillen in grondsoort worden er in verschillende regio's in Europa hoge of juist lage radonconcentraties gevonden. De hogere radonconcentraties worden bijvoorbeeld gevonden in gebieden waar de bodem voornamelijk bestaat uit graniet. In Nederland zijn radonconcentraties laag, vanwege de sedimentaire grondsoorten in ons land.

De rekenkundig gemiddelde radonconcentratie in het binnenmilieu in het Verenigd Koninkrijk is 20 Bq/m<sup>3</sup>. Daarnaast heeft het Verenigd Koninkrijk gekeken naar 3.500 radonmetingen die gedaan zijn op werkplekken in kelders waar werknemers vaker dan één uur per week komen in gebieden die geen risicogebied zijn voor radon. De geometrisch gemiddelde radonconcentratie was hier 62 Bq/m<sup>3</sup> [50]. In werkplekken in ziekenhuizen in Zuid-Italië lag 76 procent van de metingen onder 100 Bq/m<sup>3</sup>. In 0,9 procent van de werkplekken was de radonconcentratie hoger dan 300 Bq/m<sup>3</sup> [51]. In Spanje zijn radonconcentraties op werkplekken in verschillende branches onderzocht, in gebieden met een hoog, middelmatig en laag risico voor radon [52]. De mediane radonconcentraties van de verschillende branches varieerde tussen 47 – 176 Bq/m<sup>3</sup>, voor alle gebieden samen. In de toeristensector werden de laagste radonconcentraties gevonden, gevolgd door de publieke administratie. De hoogste waarden werden gevonden in de gezondheidsbranche. In het Spaanse laag-risicogebied was de mediane radonconcentratie 80 Bq/m<sup>3</sup>, voor alle branches samen. Deze resultaten liggen allemaal (ruim) boven de in Nederland gemeten waarden (zie Tabel 10).

## 7.5 Branches

In Figuur 7.7 en Tabel 11 zijn de radonconcentraties per branche en per regio weergegeven. Hiervoor zijn de datasets van de radonmeetcampagne in 2016-2017 en 2022-2023 samengenomen. De individuele datasets hebben namelijk maar een beperkte hoeveelheid meetpunten per branche. Als Nederland als geheel wordt bekeken, zijn er over het algemeen geen grote verschillen in radonconcentraties tussen verschillende branches. Wel zijn de gemeten radonconcentratie in de industrie iets lager dan in andere branches. Net als bij de woningen zijn bij de bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen regionale verschillen te zien. In Zuid-Limburg en het Gelders Rivierengebied zijn de radonconcentraties hoger dan in de rest van Nederland. Ook zijn in kantoren in Zuid-Limburg relatief hoge radonconcentraties gemeten ten opzichte van andere branches in Zuid-Limburg.



Figuur 7.7 Boxplots van de gemeten radonconcentraties per branche en per regio. Onder iedere boxplot staat het aantal meetpunten per branche en regio. Voor de branches 'detail- en groothandel', 'horeca' en 'kunst en cultuur' waren er in de regio's Gelders Rivierengebied en Zuid-Limburg te weinig meetpunten voor weergave in een boxplot (minder dan 10 meetpunten). De y-as is afgekapt op 150 Bq/m<sup>3</sup>, in deze figuur zijn geen meetpunten met een grotere radonconcentratie. De oranje stippellijn geeft het Nederlandse referentieniveau weer.

Tabel 11 Per branche en per regio (Z-L: Zuid-Limburg; GR: Gelders Rivierengebied; NL: rest van Nederland), voor de meetjaren 2016-2017 en 2022-2023 samen, het aantal meetpunten (n), het geometrisch gemiddelde (geo. gemiddelde) en het 95 procent-betrouwbaarheidsinterval (95%-CI) van het geometrisch gemiddelde, het rekenkundig gemiddelde (rek. gemiddelde), de mediaan, de laagste (min) en hoogste (max) gemeten radonconcentratie, het aantal metingen per branche en per regio (n) en het aantal en de fractie metingen die boven het referentieniveau uitkomen (n/fractie > 100 Bq/m<sup>3</sup>). In het Gelders Rivierengebied was slecht 1 meting in de horeca (17,0 Bq/m<sup>3</sup>). Zie paragraaf 6.4.1 en 6.4.2 voor meer informatie over de analysemethode en berekende variabelen.

Branche	Regio	n	Geo. gemiddelde (95%-CI) [Bq/m <sup>3</sup> ]	Rek. gemiddelde [Bq/m <sup>3</sup> ]	Mediaan [Bq/m <sup>3</sup> ]	Min [Bq/m <sup>3</sup> ]	Max [Bq/m <sup>3</sup> ]	n/fractie > 100 Bq/m <sup>3</sup>
Detail- en groothandel	Z-L	5	52,4 (20,2 – 135,5)	77,5	53,0	12	153	2/40%
	GR	7	24,6 (16,7 – 35,8)	27,4	25,0	13	49	0/0%
	NL	50	15,7 (13,0 – 19,1)	20,0	15,5	2	89	0/0%
Horeca	Z-L	6	52,3 (30,1 – 90,7)	67,4	42,4	28	202	1/17%
	GR	1	-	-	17,0	-	-	-
	NL	19	11,1 (8,0 – 15,4)	14,9	11,0	3	64	0/0%
Industrie	Z-L	18	18,8 (14,0 – 25,0)	22,9	23,4	4	41	0/0%
	GR	16	18,3 (13,0 – 25,8)	22,6	19,0	6	49	0/0%
	NL	78	9,9 (8,7 – 11,3)	11,6	9,8	1	39	0/0%
Kantoren	Z-L	23	35,6 (27,6 – 45,8)	43,3	36,0	13	134	0/0%
	GR	25	24,5 (20,6 – 29,2)	27,0	25,0	11	56	0/0%
	NL	118	13,7 (12,0 – 15,6)	17,5	14,2	2	80	0/0%
Kinderdagverblijven	Z-L	10	27,9 (17,2 – 45,2)	35,1	32,5	7	74	0/0%
	GR	23	20,1 (15,4 – 26,1)	24,5	18,8	5	86	0/0%
	NL	44	9,7 (7,9 – 12,0)	12,6	9,0	3	52	0/0%
Kunst en cultuur	Z-L	6	21,3 (15,3 – 29,9)	22,9	22,7	12	34	0/0%
	GR	7	22,5 (15,1 – 33,5)	25,6	23,3	10	57	0/0%
	NL	69	12,1 (10,3 – 14,3)	15,3	12,7	2	68	0/0%
Onderwijs	Z-L	63	22,9 (19,4 – 27,0)	28,4	23,7	3	107	2/3%
	GR	52	18,1 (14,7 – 22,4)	24,9	16,5	4	117	2/4%
	NL	140	12,1 (11,0 – 13,4)	15,3	11,8	3	54	0/0%
Zorginstellingen	Z-L	11	32,3 (17,0 – 61,4)	51,3	27,0	7	128	2/18%
	GR	10	26,7 (17,4 – 41,1)	33,2	22,0	10	71	0/0%
	NL	95	10,2 (8,9 – 11,6)	12,4	9,5	2	47	0/0%

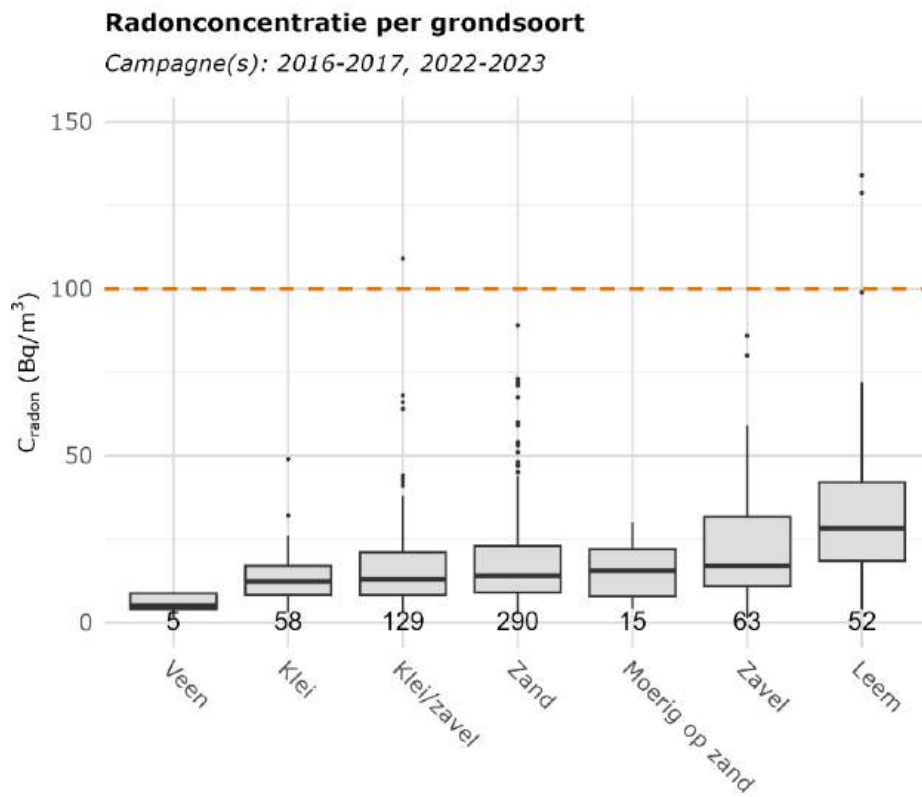
## 7.6 Grondsoorten

De radonconcentraties per grondsoort zijn bekeken voor de meetjaren 2016-2017 en 2022-2023 samen, vanwege het beperkte aantal meetpunten van de individuele datasets. Voor 99,34 procent van de meetpunten met een radonconcentratie boven 100 Bq/m<sup>3</sup> is de (hoofd)grondsoort bekend. In de regio's Zuid-Limburg en het Gelders Rivierengebied is voor 98,0 procent van deze meetpunten de (hoofd)grondsoort bekend. Voor 129 meetpunten is alleen bekend dat de onderliggende grondsoort valt in de categorie 'Klei- en zavelachtige grond', maar kon het onderscheid tussen klei en zavel niet gemaakt worden. Deze meetpunten zijn daarom ingedeeld in een aparte groep, 'Klei/zavel'. Van 302 meetpunten is de grondsoort onbekend.

Op werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen die zijn gebouwd op leem worden hogere radonconcentraties gevonden dan op andere grondsoorten. 52 bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen (6% van alle deelnemende bedrijven) zijn gebouwd op leem. Het grootste deel hiervan (51 bedrijven) staat in Zuid-Limburg. De geometrisch gemiddelde radonconcentratie in bedrijven en voor het publiek toegankelijke op leem gebouwde gebouwen is 29,4 Bq/m<sup>3</sup>. In 6 van deze bedrijven (9%) lag de radonconcentratie boven het Nederlands referentieniveau.

Ook in bedrijven en voor het publiek toegankelijke op zavel gebouwde gebouwen worden, in mindere mate, verhoogde radonconcentraties gevonden, met een geometrisch gemiddelde radonconcentratie van 17,7 Bq/m<sup>3</sup> in Zuid-Limburg en 21,0 in het Gelders Rivierengebied. In geen van deze bedrijven werd het referentieniveau overschreden. In de bedrijven en de voor het publiek toegankelijke gebouwen die gebouwd zijn op de andere grondsoorten, bestaan ook (kleine) onderlinge verschillen in radonconcentraties. In ongeveer 1 procent van deze bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen werd het referentieniveau overschreden. Voor 129 meetpunten is alleen bekend dat de grondsoort valt in de categorie 'Klei en zavel'. Voor deze meetpunten kan geen onderscheid gemaakt worden tussen klei en zavel. Voor 302 meetpunten is de grondsoort onbekend. De resultaten staan verder in Figuur 7.8 en Tabel 12.





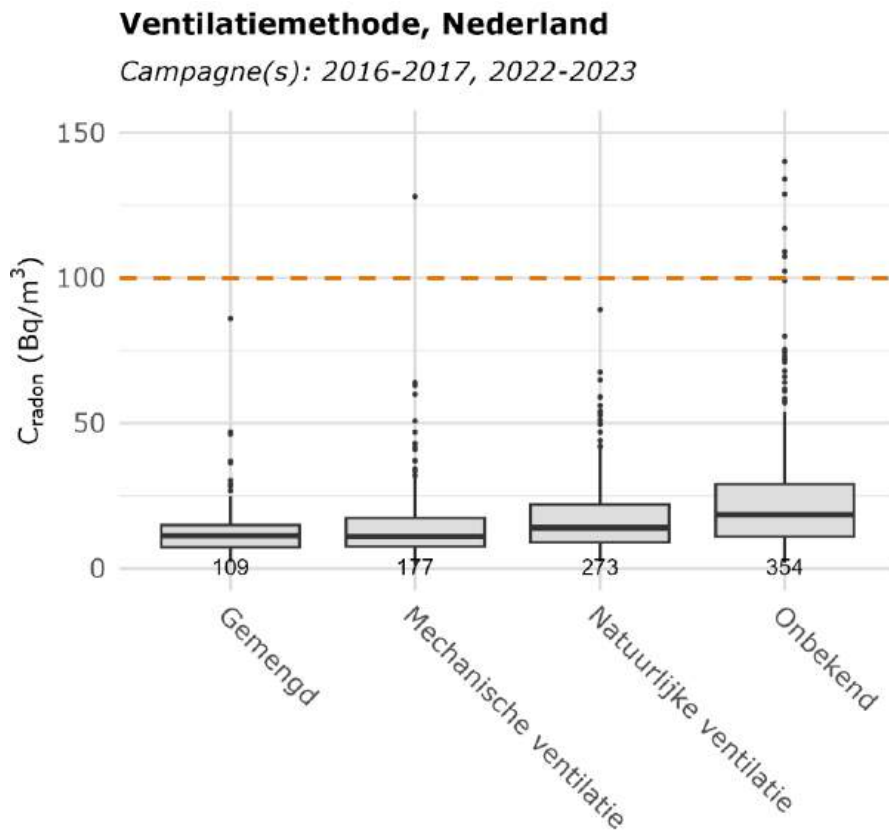
Figuur 7.8 Boxplots van de gemeten radonconcentraties per grondsoort voor heel Nederland. Onder iedere boxplot staat het aantal meetpunten per grondsoort. De hoogste radonconcentraties zijn gevonden op leem, gevolgd door zavel. De y-as is afgekapt op 150 Bq/m<sup>3</sup>. Twee meetpunten zijn niet weergegeven.

Tabel 12 Voor de meetjaren 2016-2017 en 2022-2023 samen, voor iedere grondsoort en regio (Z-L: Zuid-Limburg; GR: Gelders Rivierengebied; NL: rest van Nederland) het aantal meetpunten (n) en het percentage t.o.v. het totaal aantal meetpunten per regio, het geometrisch gemiddelde (geo. gemiddelde) en het 95 procent-betrouwbaarheidsinterval van het geometrisch gemiddelde (95%-CI), het rekenkundig gemiddelde, de mediaan, de laagste (min) en hoogste (max) gemeten radonconcentratie, het aantal metingen per grondsoort en regio (n) en het percentage bedrijven met deze grondsoort ten opzichte van het totaal aantal bedrijven in deze regio (% t.o.v. totaal per regio) en het aantal en de fractie metingen die boven het referentieniveau uitkomen (n/fractie > 100 Bq/m<sup>3</sup>). Zie paragraaf 6.4.1 en 6.4.2 voor meer informatie over de analysemethode en berekende variabelen.

Grondsoort	Regio	n	% t.o.v. totaal per regio	Geo. gemiddelde (95%-CI) [Bq/m <sup>3</sup> ]	Rekenkundig gemiddelde [Bq/m <sup>3</sup> ]	Mediaan [Bq/m <sup>3</sup> ]	Min [Bq/m <sup>3</sup> ]	Max [Bq/m <sup>3</sup> ]	n/fractie >100 Bq/m <sup>3</sup>
Leem	Z-L	51	35,4%	29,4 (23,9 – 36,1)	38,9	29,0	4	202	6/9,1%
	GR	-	-	-	-	-	-	-	-
	NL	1	0,2%	-	-	22,0	-	-	-
Zavel	Z-L	5	3,5%	17,7 (8,2 – 38,1)	23,6	17,0	7	49	0/0%
	GR	28	18,8%	21,0 (16,8 – 26,3)	25,6	19,5	9	86	0/0%
	NL	30	4,8%	15,2 (10,9 – 21,2)	21,9	14,7	1	80	0/0%
Moerig op zand	Z-L	-	-	-	-	-	-	-	-
	GR	-	-	-	-	-	-	-	-
	NL	15	2,4%	13,3 (9,5 – 18,6)	16,0	15,5	4	30	0/0%
Zand	Z-L	8	5,6%	23,4 (12,9 – 42,4)	36,0	22,0	11	153	1/12,5%
	GR	45	30,2%	22,3 (18,6 – 26,6)	26,0	23,3	3	71	0/0%
	NL	237	38,2%	13,3 (12,3 – 14,5)	16,7	13,0	2	89	0/0%
Klei/zavel	Z-L	10	6,9%	25,0 (15,0 – 41,6)	34,4	22,6	8	109	1/10%
	GR	20	13,4%	19,5 (15,0 – 25,2)	23,0	18,0	6	64	0/0%
	NL	99	15,9%	12,0 (10,6 – 13,6)	14,9	12,0	3	66	0/0%
Klei	Z-L	1	0,7%	-	-	8,0	-	-	0/0%
	GR	4	2,7%	20,5 (8,6 – 48,6)	26,0	24,5	6	49	0/0%
	NL	53	8,5%	11,9 (10,5 – 13,5)	13,2	12,2	3	32	0/0%
Veen	Z-L	-	-	-	-	-	-	-	-
	GR	-	-	-	-	-	-	-	-
	NL	5	0,8%	4,8 (2,7 – 8,9)	5,7	5,0	2	9	0/0%

## 7.7 Ventilatiemethode

De radonconcentraties voor de verschillende ventilatiemethode zijn bekeken voor de meetjaren 2016-2017 en 2022-2023 samen, dit vanwege de beperkte grootte van de individuele datasets. In het grootste deel van de bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen waarvan de ventilatiemethode bekend is, wordt gebruikgemaakt van natuurlijke ventilatie ( $n = 273$ ), gevolgd door mechanische ventilatie ( $n = 177$ ) en gemengde ventilatie – dit is een combinatie van mechanische en natuurlijke ventilatie ( $n = 109$ ). Voor 354 bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen is de ventilatiemethode niet bekend. Bij natuurlijke ventilatie zijn de radonconcentraties het hoogst, gevolgd door mechanische ventilatie en dan gemengde ventilatie. De resultaten staan in boxplots in Figuur 7.9 en Tabel 13.



*Figuur 7.9 Boxplots van de gemeten radonconcentraties per ventilatiemethode voor heel Nederland. Onder iedere boxplot staat het aantal meetpunten per ventilatiemethode. Bij gemengde ventilatie (zowel natuurlijk als mechanisch) zijn de radonconcentraties het laagst. De y-as is afgekapt op 150 Bq/m<sup>3</sup>. Twee meetpunten zijn niet weergegeven.*

*Tabel 13 Voor de meetjaren 2016-2017 en 2022-2023 samen, per ventilatiemethode het aantal meetpunten (n) en het percentage t.o.v. het totaal aantal meetpunten, het geometrisch gemiddelde (geo. gemiddelde) en het 95 procent-betrouwbaarheidsinterval (95%-CI) van het geometrisch gemiddelde, het rekenkundig gemiddelde (rek. gemiddelde), de mediaan, de laagste (min) en hoogste (max) gemeten radonconcentratie, het aantal metingen per grondsoort en regio (n) en het percentage bedrijven met deze grondsoort t.o.v. het totaal aantal bedrijven in deze regio (% t.o.v. totaal per regio) en het aantal en de fractie metingen die boven het referentieniveau uitkomen (n/fractie > 100 Bq/m<sup>3</sup>).*

<b>Ventilatiemethode</b>	<b>n</b>	<b>% t.o.v. totaal</b>	<b>Geo. gemiddelde (95%-CI) [Bq/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Rek. gemiddelde [Bq/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Mediaan [Bq/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Min [Bq/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Max [Bq/m<sup>3</sup>]</b>	<b>n/fractie &gt;100Bq/m<sup>3</sup></b>
Natuurlijke ventilatie	273	29,9%	14,5 (13,4 – 15,8)	18,7	14,0	2	153	1/0,4%
Mechanische ventilatie	177	19,4%	11,4 (10,2 – 12,7)	15,2	10,9	1	128	1/0,6%
Gemengde ventilatie	109	11,9%	10,8 (9,6 – 12,2)	13,3	11,2	2	86	0/0%

## 8 Discussie werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen

### 8.1 Beperkingen door het aantal deelnemers

In het totaal leverden de metingen bij 343 werkplekken een geldig meetresultaat op. Bij de woningen was het aantal geldige meetresultaten een stuk hoger, namelijk 2681. Ook het aantal deelnemers dat de vragenlijst heeft ingevuld, was bij de woningen hoger dan bij de bedrijven. Bij woningen hebben 1.540 deelnemers de vragenlijst volledig ingevuld en bij bedrijven 147 deelnemers. Door het relatief kleine aantal meetpunten en de variatie in type werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen is het aantal mogelijke analyses gelimiteerd. Ook bij het interpreteren van de meetresultaten moet gelet worden op de groeps grootte. Bij een kleine groeps grootte is het meetresultaat niet representatief voor alle bedrijven binnen dezelfde groep. Bijvoorbeeld bij de kinderdagverblijven hebben van de 83 kinderdagverblijven waar een radonmeter naartoe is gestuurd 33 metingen een geldig meetresultaat opgeleverd. Van deze geldige meetresultaten waren 13 in het Gelders rivierengebied en 6 in Zuid-Limburg. De beoogde steekproefgrootte van de kinderdagverblijven was 45 voor Zuid-Limburg, 45 voor het Gelders Rivierengebied en 34 voor de rest van Nederland. Daarnaast is de gemiddelde radonconcentratie van alle meetpunten niet representatief voor heel Nederland. Het is namelijk niet mogelijk om een correctie te doen voor alle bedrijfsgebouwen die aanwezig zijn in Nederland. Dit komt door de grote variatie in bedrijfsgebouwen en omdat het aantal deelnemers met een geldig meetresultaat laag is.

### 8.2 Radonconcentratie op Nederlandse werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen in 2022-2023

Eén van de onderzoeksdoelen was zicht te krijgen op de radonconcentratie Nederlandse reguliere werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen en hoe deze zich verhouden tot het referentieniveau, buitenland en de resultaten van de radonmeetcampagne in 2016-2017. De in paragraaf 7.2 gerapporteerde resultaten zijn circa 20 procent tot 70 procent hoger dan bij de vorige survey. Ook het aantal overschrijdingen van het referentieniveau nam iets toe, zie Tabel 10. Het rekenkundig gemiddelde radonconcentratie voor heel Nederland lag boven de streefwaarde van 20 Bq/m<sup>3</sup> in het radonactieprogramma [6]. Ook in België zijn in 2023 hogere radonconcentraties gemeten dan in eerdere jaren [38]. Naar Europese en wereldwijde maatstaven blijven de Nederlandse radonconcentraties nog altijd laag (zie ook paragraaf 7.4). Hier bespreken we een aantal mogelijke verklaringen voor de gestegen radonconcentraties.

#### 8.2.1 *Representativiteit*

Zoals vermeld in paragraaf 6.2.3 was de steekproef niet representatief voor de geografische verdeling van de Nederlandse werkplekken over Nederland. Werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen uit gebieden waar hogere radonconcentraties werden verwacht, waren

oververtegenwoordigd in de steekproef. Door het relatief kleine aantal meetpunten en de grote variatie in bedrijfstypen is het niet mogelijk om net als bij de woningen statisch te corrigeren voor de oververtegenwoordiging. Maar Tabel 10 laat ook een stijging zien van de gemiddelde radonconcentratie voor de potentiële risicogebieden, het Gelders rivierengebied en Zuid-Limburg, en de rest van Nederland. De toename van de gemiddelde radonconcentratie voor heel Nederland kan naar verwachting gedeeltelijk toegeschreven worden aan de oververtegenwoordiging van de meetpunten in de potentiële risicogebieden.

#### 8.2.2 *Meteorologische omstandigheden*

In paragraaf 5.1.2 is de mogelijke invloed van meteorologische omstandigheden op de radonconcentratie beschreven. Net als bij de woningen is de relatieve stijging van het radonniveau in Zuid-Limburg en het Gelders Rivierengebied lager dan die bij de rest van Nederland. Als temperatuurverschillen en een daaruit volgend schoorsteeneffect tussen de twee meetperioden een belangrijke rol gespeeld hadden, zou dit naar verwachting geleid hebben tot een grotere relatieve stijging in deze gebieden ten opzichte van de rest van Nederland. Mogelijke beperkte verschillen tussen de meteorologische omstandigheden in de twee meetjaren lijken daarmee hoogstens een beperkt effect gehad te hebben.

#### 8.2.3 *Verschillen tussen radondetectoren*

In paragraaf 5.1.3 is de mogelijke invloed van de het verschil tussen de gebruikte radondetector in de radonmeetcampagne bij woningen in 2013-2014 en de huidige meetcampagne in 2022-2023 beschreven. Omdat in de meetcampagne van 2013-2014 en 2016-2017 dezelfde detector is gebruikt, is het ook bij bedrijven en voor publiek toegankelijke gebouwen onwaarschijnlijk dat het verschil in gebruikte detectoren een belangrijke bijdrage levert aan de hogere radonconcentraties.

#### 8.2.4 *Verduurzaming op werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen*

In paragraaf 5.1.4 is de mogelijke invloed van het toepassen van isolatiemaatregelen voor reductie van het energieverbruik op de radonconcentratie beschreven. Uit internationaal onderzoek blijkt dat als hierbij geen aandacht is voor het op peil houden van de ventilatie, dit kan leiden tot verhoging van de radonconcentratie in het binnenmilieu [15], [16], [17]. In dit onderzoek is voor woningen een significant verband tussen verduurzaming en verhoging van de radonconcentratie. Bij bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen is het aantal beschikbare gegevens te laag om de invloed van verduurzaming op de radonconcentratie te analyseren.

#### 8.2.5 *Effect van gestegen brandstofprijzen op ventilatiegedrag*

Tijdens de meetcampagne van 2022-2023 stegen brandstofprijzen sterk [41]. Bij (een deel van) de Nederlandse bevolking leidde dit tot veranderingen in stook- en/of ventilatiegedrag. Om stookkosten te verminderen, werd bijvoorbeeld de thermostaat lager gezet, of werden ramen, deuren of ventilatierooster vaker gesloten gehouden [42-44]. Te weinig ventileren en een lage binnentemperatuur heeft een negatief

effect op het binnenklimaat, waarbij voor de radonconcentratie vooral de mate van ventilatie van belang is. In dit onderzoek is geen informatie beschikbaar over de vraag of de stijging van de stookkosten ook zorgde voor veranderingen van stook- en/of ventilatiegedrag op de werkplek en voor het publiek toegankelijke gebouwen. Maar ook hier kan veranderd ventilatiegedrag naar aanleiding van de energiecrisis in 2022-2023 een oorzaak zijn voor de hogere radonconcentraties in 2022-2023 ten opzichte van 2016-2017. Er is echter ook geen informatie beschikbaar over het ventilatiegedrag bij bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen over de verandering in stookgedrag en ventilatiegedrag door de deelnemers voor en na de energiecrisis.

### 8.3 Regionale verschillen

De geometrisch gemiddelde radonconcentratie in Zuid-Limburg was met  $28,7 \text{ Bq/m}^3$ , circa 1,75 keer zo hoog als in de rest van Nederland ( $16,7 \text{ Bq/m}^3$ ); in het Gelders Rivierengebied bedroeg de geometrisch gemiddelde radonconcentratie  $22,9 \text{ Bq/m}^3$ , circa 1,4 keer zo hoog als in de rest van Nederland. Bij de metingen van 2016-2017 was het verschil tussen Zuid-Limburg en de rest van Nederland groter, namelijk 2,4 keer. Het relatief kleine aantal meetpunten in de verschillende regio's maakt dat we niet kunnen vaststellen of dit een structureel verschil is.

### 8.4 Vergelijking met woningen

De gemiddelde radonconcentratie op werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen waren voor alle regio's in 2022-2023 lager dan in woningen. In Zuid-Limburg was de geometrisch gemiddelde radonconcentratie 39 procent lager. In het Gelders rivierengebied 15 procent en in de rest van Nederland 3 procent. Mogelijk komt dit omdat bedrijfsgebouwen vaak ruimer zijn dan woningen. In grotere ruimtes kan het radongas zich over een groter volume verspreiden. Een andere mogelijke verklaring hiervoor kan zijn dat in bedrijfsgebouwen vaker dan in woningen goede ventilatie aanwezig is. Met de informatie uit dit onderzoek kan niet worden onderzocht tot hoever de extra aandacht voor ventileren en de grootte van de ruimte heeft geleid tot hogere radonconcentratie bij woningen dan op werkplekken en voor het publiektoegankelijke gebouwen.

### 8.5 Verschillen tussen branches

De resultaten (zie Figuur 7.7 en Tabel 11) laten voor de meeste branches zien dat de gemeten radonconcentratie in het Gelders Rivierengebied en Zuid-Limburg hoger is dan in de rest van Nederland. Ook zien we dat in de meeste branches geen grote verschillen zijn in gemeten radonconcentraties ten opzichte van andere branches. Alleen in kantoren in Zuid-Limburg zijn hogere radonconcentraties gemeten ten opzichte van andere branches in Zuid-Limburg. Hierbij moet wel rekening worden gehouden dat voor enkele branches het aantal deelnemers heel laag is. Zo zijn er in Zuid-Limburg voor de branches Kinderdagverblijven maar 10 deelnemers en voor de branches Horeca, Kunst en cultuur en Detail- en groothandelaren respectievelijk 6, 6 en 5 deelnemers. Hetzelfde geldt voor het Gelders Rivierengebied. Hier bedroeg het aantal deelnemers respectievelijk 1, 6 en 7. Door deze lage aantallen zijn de resultaten mogelijk niet representatief voor de gehele branches. Het kan dus zijn dat in onze dataset alleen de werkplekken

van een branche zitten met lage radonconcentraties. Daarnaast kan het komen doordat er in bedrijfsgebouwen vaker dan in woningen goede ventilatie aanwezig is.

## **8.6 Invloed van grondsoort op de radonconcentraties**

De onderzoeksresultaten laten zien dat op werkplekken en bij voor het publiek toegankelijke op leem gebouwde gebouwen, en in mindere mate gebouwen die gebouwd zijn op zavel, de gemiddelde radonconcentratie hoger is dan op werkplekken en bij voor het publiek toegankelijke gebouwen op andere grondsoorten. Figuur 7.8 en Tabel 12 laten verder zien dat van de werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen waarvan het referentieniveau wordt overschreden, er 6 op leem gebouwd zijn, 1 op klei/zavel en 1 op zand. De verschillen in radonconcentraties voor verschillende grondsoorten zijn echter kleiner bij bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen dan bij woningen. De in paragraaf 8.2 beschreven factoren kunnen bijdragen aan de relatief lagere invloed van de grondsoort op de radonconcentratie vergeleken met de woningen. Indirect draagt dit dan ook bij aan de kleine verschillen tussen de regio's.

## **8.7 Invloed van de ventilatiemethode**

Het verband tussen het gebruikte ventilatiesysteem en de radonconcentratie bij voor het publiek toegankelijke gebouwen is in lijn met de vorige survey. Toen werd ook al vastgesteld dat in op werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen met alleen natuurlijke ventilatie radonconcentraties hoger zijn dan bij werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen met mechanische ventilatie. De radonconcentratie is het laagst bij het gebruik van gemengde ventilatie, een combinatie van mechanische en natuurlijke ventilatie. Tijdens de COVID-19-pandemie is er extra aandacht geweest voor ventilatie op werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen, kinderdagverblijven en scholen [53], [54]. In hoeverre extra ventilatie wordt toegepast bij bedrijven en wat voor effect dit heeft op de radonconcentratie kan niet worden vastgesteld met de beschikbare gegevens in dit onderzoek.

## **8.8 Percepties over radon binnen werkplekken**

Er is in dit onderzoek ook gevraagd naar de perceptie over concentraties, ervaren zorgen en kwetsbaarheid om ziek te worden van radon. Helaas heeft dit niet tot voldoende bruikbare data geleid om hierop zinvolle analyses te verrichten. Zo was er onvoldoende achtergrondinformatie beschikbaar over bijvoorbeeld de persoon die de vragenlijst heeft ingevuld (functie en verantwoordelijkheid). Ook was de data niet vergelijkbaar met bij woningen verzamelde data, omdat in de vragenlijst voor werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen een 'weet niet'-optie was opgenomen in de antwoordcategorieën. Daardoor konden deze gegevens ook niet gecombineerd worden met de perceptiegegevens die verzameld zijn bij de woningen. Onder andere hierom is besloten om geen verdere analyse hiermee uit te voeren.



## 9 Conclusie

Het doel van dit onderzoek is om vast te stellen wat de jaargemiddelde radonconcentratie is in Nederlandse woningen, op werkplekken en in voor het publiek toegankelijke gebouwen met extra aandacht voor het Gelders rivierengebied en Zuid-Limburg. Daarnaast is een onderzoeksdoel kijken wat de radonconcentratie is bij woningen die gebouwd zijn sinds de laatste meetcampagne.

### 9.1 Woningen

*Onderzoeksvraag: Wat is de verdeling van de jaargemiddelde radonconcentratie in woningen over Nederland, en hoe verhoudt deze zich tot de resultaten uit de laatste surveys?*

De rekenkundig gemiddelde radonconcentratie in Nederlandse woningen in 2022-2023 was 21,7 (21,6 – 21,8) Bq/m<sup>3</sup>. Dit is hoger dan de rekenkundig gemiddelde gemeten radonconcentratie in de laatste radonmeetcampagne in 2013-2014; die was namelijk 15,5 (15,4-15,6) Bq/m<sup>3</sup>. Aannemelijk is dat veranderd ventilatiegedrag door de energiecrisis en isolatie van woningen oorzaken zijn voor de hogere gemiddelde radonconcentratie. Omdat er echter geen informatie beschikbaar is over de verandering in stookgedrag door de deelnemers voor en na de energiecrisis, kan niet met zekerheid vastgesteld worden hoe groot de eventuele invloed van de energiecrisis is op de radonconcentratie binnenshuis.

Bij de analyse van de meetgegevens zien we dat de radioconcentraties in woningen waar verduurzamingsmaatregelen zijn toegepast gemiddeld hoger zijn dan in woningen waar dat niet het geval is. Verduurzaming lijkt echter niet altijd een negatief effect te hebben: in woningen met vloerisolatie is de gemiddelde radonconcentratie juist lager. Tussentijdse verduurzaming van woningen kan ook hebben bijgedragen aan de gestegen radonconcentraties, maar de grootte van het effect van verduurzamingsmaatregelen kan op grond van de beschikbare data niet worden vastgesteld. Ook kan niet worden vastgesteld of de verhoging van de radonconcentraties in Nederland tijdelijk of structureel zijn.

*Onderzoeksvraag: Wat zijn de gemiddelde jaargemiddelde radonconcentraties in woningen in het Gelders Rivierengebied en in Zuid-Limburg, en hoe verhouden deze zich tot het referentieniveau, tot het Nederlandse gemiddelde, en tot waarden in het buitenland?*

Net als in eerdere radonmeetcampagnes werden bij dit onderzoek regionale verschillen waargenomen: in 2022-2023 was de rekenkundig gemiddelde radonconcentratie in Zuid-Limburg 58,6 (54,3 – 62,8) Bq/m<sup>3</sup>, in het Gelders Rivierengebied 36,4 (32,3 – 40,5) Bq/m<sup>3</sup> en in de rest van Nederland 20,0 (19,5 – 20,6) Bq/m<sup>3</sup>. De rekenkundig gemiddelde radonconcentraties in de gemeten regio's zijn in 2022-2023 1,3 tot 1,5 keer hoger dan in 2013-2014. De regionale verschillen correleren met verschil in de bodemsamenstelling. Zo vinden we hogere radonconcentraties in op leem gebouwde woningen dan in woningen die gebouwd zijn op andere grondsoorten. Het grootste gedeelte van de op

leem gebouwde woningen staat in Zuid-Limburg. Ook in de op zavel gebouwde woningen worden, in mindere mate, hogere radonconcentraties gevonden. De woningen met hogere radonconcentratie die gebouwd zijn op klei/zavel staan vooral in het Gelders Rivierengebied. In vergelijking met het wereldwijde rekenkundig gemiddelde (39 Bq/m<sup>3</sup>) liggen de rekenkundig gemiddelde radonconcentraties in het Gelders Rivierengebied en de rest van Nederland hier nog steeds onder en in Zuid-Limburg zijn die hoger. Ook binnen andere landen worden regionale verschillen waargenomen. Zo worden in gemeenten in de Belgische Ardennen rekenkundig gemiddelde radonconcentraties van rond de 300 Bq/m<sup>3</sup> gemeten.

*Onderzoeksvraag: Hoe verhoudt de verdeling van alle in Nederlandse woningen gemeten jaargemiddelde radonwaarden en de in Gelders Rivierengebied en in Zuid-Limburg gemeten radonwaarden zich tot het referentieniveau?*

In 2022-2023 overschreden radonconcentraties in 71 van de 2.681 (2,7%) deelnemende woningen het referentieniveau van 100 Bq/m<sup>3</sup>. Van deze woningen lagen er 48 in Zuid-Limburg, 17 in het Gelders Rivierengebied en 6 in overig Nederland. In Zuid-Limburg en in het Gelders Rivierengebied is het percentage woningen waar het referentieniveau overschreven wordt met 12,3, respectievelijk 5,5 procent, duidelijk hoger dan in de rest van Nederland (0,3%). Alle woningen met radonconcentraties boven de 150 Bq/m<sup>3</sup> lagen in het Gelders Rivierengebied of Zuid-Limburg.

*Onderzoeksvraag: Wat is de gemiddelde jaargemiddelde radonconcentratie in het binnenmilieu in Nederlandse woningen die zijn gebouwd na 2013? Hoe verhoudt deze gemiddelde jaargemiddelde radonconcentratie zich tot de over alle Nederlandse woningen gemiddelde jaargemiddelde radonconcentratie? Is er sprake van een relevant verschil ten opzichte van de woningen gebouwd in de periode 2005-2013? Hierbij wordt een relevant verschil gedefinieerd als een verschil groter dan 3 Bq/m<sup>3</sup>.*

Woningen die gebouwd zijn tussen 2013 en 2022 hebben lagere radonconcentraties dan woningen die gebouwd zijn voor 2013. De rekenkundig gemiddelde radonconcentratie is in woningen die gebouwd zijn tussen 2013 en 2022 18 (16,74 – 19,16) Bq/m<sup>3</sup>, en in woningen die gebouwd zijn voor 2013 37,9 (35,6 – 40,2) Bq/m<sup>3</sup>. Tabel 6 laat voor alle regio's zien dat de gemiddelde radonconcentratie lager is in woningen die gebouwd zijn na 2013 dan in woningen die in 2013 en eerder zijn gebouwd. Omdat de groep woningen die gebouwd zijn in Zuid-Limburg en het Gelders Rivierengebied na 2013 klein is, kan voor deze regio's niet geconcludeerd worden hoeveel lager de radonconcentratie is. Voor de rest van Nederland is deze verlaging 5 Bq/m<sup>3</sup>. Dit is een verlaging van meer dan 3 Bq/m<sup>3</sup> en dus betekenisvol.

*Onderzoeksvraag: In hoeverre kunnen eventuele regionale verschillen, en eventuele verschillen met de vorige survey worden gerelateerd aan het bodemtype, het type woning, het bouwjaar, en het type ventilatie?* De in dit onderzoek uitgevoerde analyses geven aan dat grondsoort en radonconcentratie gecorreleerd zijn. Regionale verschillen in

radonconcentraties gaan samen met verschillen in grondsoort. Voor de overige genoemde variabelen (*het type woning, het bouwjaar, en het type ventilatie*) geldt dat ze gecorreleerd zijn met de radonconcentratie in de woning. Dat geldt ook voor rookgedrag van bewoners, verdieping waar een leefruimte zich bevindt, aanwezigheid van een kelder of kruipruimte, aanwezigheid van vloerisolatie en verduurzamingsmaatregelen in de woning. Of deze factoren bijdragen aan regionale verschillen of aan verschillen met de vorige survey is op grond van de resultaten in dit onderzoek niet vast te stellen.

## 9.2 Bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen

*Onderzoeksvraag: Wat is de verdeling van de jaargemiddelde radonconcentratie op werkplekken en in voor het publiek toegankelijke gebouwen over Nederland, en hoe verhoudt deze zich tot de resultaten uit de laatste survey?*

De rekenkundig gemiddelde radonconcentratie in Nederland op reguliere werkplekken en in voor het publiek toegankelijke gebouwen in 2022-2023 was 26,5 (23,9 – 29,0) Bq/m<sup>3</sup>. In vergelijking met het wereldwijde gemiddelde en met andere Europese landen is de radonconcentratie op Nederlandse werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen nog steeds laag. Ook bij gebouwen zien we dat de gemiddelde radonconcentratie hoger is dan de gemiddelde radonconcentratie gemeten in de vorige meetcampagne in 2016-2017. Toen was het rekenkundig gemiddelde namelijk 15,9 (14,8 – 17,1) Bq/m<sup>3</sup>. De gemiddelde radonconcentraties zijn niet gecorrigeerd door het aantal en type bedrijven voor een postcodegebied.

*Onderzoeksvraag: Wat zijn de gemiddelde jaargemiddelde radonconcentraties op werkplekken en in openbare gebouwen in het Rivierengebied en in Zuid-Limburg, en hoe verhouden deze zich tot het referentieniveau, tot het Nederlandse gemiddelde, en tot waarden in het buitenland?*

Net als bij de woningen en in eerdere radonmeetcampagnes werden bij dit onderzoek regionale verschillen waargenomen: In 2022-2023 was het rekenkundig gemiddelde van de radonconcentratie in Zuid-Limburg 39,6 (30,7 – 48,5) Bq/m<sup>3</sup>. In het Gelders Rivierengebied was dit 28,3 (23,9 – 32,7) Bq/m<sup>3</sup> en in de rest van Nederland 20,7 (18,5 – 22,9) Bq/m<sup>3</sup>. De rekenkundig gemiddelde radonconcentraties die gemeten zijn in 2022-2023 zijn 1,3 tot 1,7 keer hoger dan in 2016-2017. De regionale verschillen komen vooral door het verschil in de bodemsamenstelling. In op leem gebouwde gebouwen zijn de radonconcentraties hoger dan in gebouwen die gebouwd zijn op andere grondsoorten. Het grootste gedeelte van de werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen op leem staat in Zuid-Limburg. Ook in gebouwen op zavel worden, in mindere mate, hogere radonconcentraties gevonden. De werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen met hoge radonconcentraties die gebouwd zijn op klei/zavel staan vooral in het Gelders Rivierengebied.

Onderzoeksvraag: *Hoe verhouden de verdelingen van alle op Nederlandse (reguliere) werkplekken en in openbare gebouwen gemeten jaargemiddelde radonwaarden zich tot het Nederlandse referentieniveau?*

In de survey van 2022-2023 werd in 8 van de 343 (2,3%) deelnemende bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen het referentieniveau overschreden. De bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen waar het referentieniveau werd overschreden, bevonden zich allemaal in Zuid-Limburg en het Gelders Rivierengebied.

Onderzoeksvraag: *In hoeverre kunnen eventuele regionale verschillen, en eventuele verschillen met de vorige survey worden gerelateerd aan het bodemtype, het type gebouw, het bouwjaar, en het type ventilatie?*

Het aantal beschikbare meetpunten voor werkplekken en voor het publiek toegankelijke gebouwen was relatief klein. Ook was niet door alle deelnemers de vragenlijst ingevuld. Daarnaast was er een grote variatie in gebouwtype. Daardoor waren er onvoldoende gegevens beschikbaar om te kijken welke variabelen gecorreleerd zijn aan een hogere of lagere radonconcentratie. Wel kan met redelijke zekerheid vastgesteld worden dat regionale verschillen in radonconcentraties verband houden met de grondsoort. Ook is het aannemelijk dat de ventilatiemethode samenhangt met de gemeten radonconcentratie.

### 9.3 Handlingsperspectief

Ventileren van de woning of gebouw, ventileren van een eventuele kelder of kruipruimte onder de woning of het gebouw en het toepassen van vloerisolatie zijn maatregelen waarvan internationaal bekend is dat ze kunnen leiden tot een verlaging van de radonconcentratie [55]. De analyses in hoofdstuk 4 suggereren dat dit ook in Nederland het geval kan zijn. Het aanbrengen van mechanische of balansventilatie in woningen met uitsluitend natuurlijke ventilatie zou ook een verlagend effect kunnen hebben.

Om vast te stellen of toepassing van deze maatregelen in Nederland kosteneffectief is, is aanvullend onderzoek nodig.

Bevindingen uit internationaal onderzoek zijn daarbij niet zonder meer toe te passen op de situatie in Nederland. Het ligt namelijk voor de hand dat er verschillen zijn tussen Nederland en andere Europese landen met betrekking tot de bouwtechnische eigenschappen en gedragsparameters van bewoners. Bij de lage radonconcentraties in Nederland zal het effect van maatregelen op de radonconcentratie mogelijk ook kleiner zijn dan in landen met hogere concentraties, waarmee dergelijke maatregelen mogelijk in Nederland niet-kosteneffectief zijn, waar ze dat in andere landen wel zijn.

## 10 Referenties

1. M. Velsma en C. Rosenbaum, *Radonmeters voor particulier gebruik*, 2020.
2. Ronald Smetsers, et al., *Radon en thoron in Nederlandse woningen vanaf 1930*, 2015.
3. R.C.G.M. Smetsers, R.O. (Roelf) Blaauboer, en S.A.J.F. Dekkers, *Ingredients for a Dutch radon action plan, based on a national survey in more than 2500 dwellings*. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2016.
4. R.C.G.M. Smetsers en P.D.B.M. Bekhuis, *Blootstelling aan natuurlijke bronnen van ioniserende straling in Nederland, 2021-0032*, 2021.
5. L.H. Vaas, P. de Jong, en W. Slooff, *Basisdocument radon*, 710401014, 1991.
6. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, *Nationaal Actieprogramma Radon*. 21401471. 2021.
7. S. van Veldhoven-van der Meer, M.v.I.e. Waterstaat. *Kamerbrief Nationaal Actieprogramma radon*. 25422-274. 2021.
8. ICRP, *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, 2007.
9. P. Goemans, et al., *Radon, thoron en gammastraling op werkplekken en in publiek toegankelijke gebouwen in Nederland*, 2018.
10. J.W. Marsh, et al., *Effective Dose Coefficients for Radon and Progeny: A Review of Icrp and Unscear Values*. *Radiat Prot Dosimetry*, 2021. **195**(1): p. 1-20.
11. S. Darby, et al., *Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies*. *BMJ*, 2005. **330**(7485): p. 223.
12. R.C.G.M. Smetsers, *Woningen in Nederland met mogelijk hogere radonconcentraties*, 2017.
13. S.G. J.F. Rey, J.G. Pernot *Long-term impacts of weather conditions on indoor radon concentration measurements in Switzerland*. *Atmosphere*, 2022. **19**.
14. IAEA, *Design and conduct of indoor radon surveys*, 2019.
15. B. Collignan, E. Le Ponner, en C. Mandin, *Relationships between indoor radon concentrations, thermal retrofit and dwelling characteristics*. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2016. **165**: p. 124-130.
16. S. Yang, et al., *Radon Investigation in 650 Energy Efficient Dwellings in Western Switzerland: Impact of Energy Renovation and Building Characteristics*. *Atmosphere*, 2019. **10**(12).
17. P. Symonds, et al., *Home energy efficiency and radon: An observational study*. *Indoor Air*, 2019. **29**(5): p. 854-864.
18. ICRP, *Radiological protection against radon exposure*. *ICRP Publication 126*, ICRP 43(3), 2014.
19. Radonova, *The radtrak3 radon detector of radonova - a document describing the detector and the handling and processing of it*. 2020, Radonova.
20. Radonova, *Product Sheet Radtrak2*.
21. Radonova, *Product sheet Radtrak3*.

22. RIVM. *Radononderzoek 2022 en 2023*. Beschikbaar via <https://www.rivm.nl/straling-en-radioactiviteit/radon-en-thoron/radon-meetcampagne-2022-2023>, geraadpleegd 1 april.
23. Kadaster. *Basisregistratie Adressen en Gebouwen*. Beschikbaar via <https://bagviewer.kadaster.nl/lvbag/bag-viewer/?zoomlevel=1>, geraadpleegd 1 april.
24. *Grondsoortenkaart van Nederland*. 2006, WUR-Alterra: Wageningen.
25. M. Van der Meulen, *De nieuwe Geologische Kaart van het Koninkrijk der Nederlanden*. 2021, Grondboor & Hamer.
26. *Basiskaart Natuurlijk Systeem Nederland (BKNSN)*. 2021, Geo-Inspiratie & GrondRR.
27. P. Bossew, *Radon: exploring the log-normal mystery*. Journal of Environmental Radioactivity, 2010. **101**: p. 826-834.
28. CBS. *Steeds meer hoogopgeleiden in Nederland: wat voor beroep hebben ze?* Beschikbaar via <https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/statistische-trends/2022/steeds-meer-hoogopgeleiden-in-nederland-wat-voor-beroep-hebben-ze-?onepage=true>, geraadpleegd 1 July 2024.
29. Joint Research Centre, *European indoor radon map*, in *Radioactivity Environmental Monitoring*. 2021, European commission.
30. WHO, *WHO handbook on indoor radon*, 2009.
31. FANC. *Radon in België*. Beschikbaar via <https://fanc.fgov.be/nl/dossiers/radon-en-radioactiviteit-uw-huis/radon/radon-belgie>, geraadpleegd 24 juni.
32. BfS. *Radon in dwellings in Germany*. Beschikbaar via <https://www.bfs.de/EN/topics/ion/environment/radon/maps/indoor.html>, geraadpleegd 24 juni.
33. G. Cinelli, De Cort, en T.E. M. & Tollefsen, *European atlas of natural radiation*, 2019.
34. FANC. *Wat is het gemiddelde radonniveau in uw gemeente?* Beschikbaar via <https://fanc.fgov.be/nl/dossiers/radon-en-radioactiviteit-uw-huis/radon/wat-het-gemiddelde-radonniveau-uw-gemeente>, geraadpleegd 24 juni.
35. CBS. *Eengezinswoning* | CBS. Beschikbaar via <https://www.cbs.nl/nl-nl/onze-diensten/methoden/begrippen/eengezinswoning>, geraadpleegd 1 July 2024.
36. CBS. *Meergezinswoning* | CBS. Beschikbaar via <https://www.cbs.nl/nl-nl/onze-diensten/methoden/begrippen/meergezinswoning>, geraadpleegd 1 July 2024.
37. L.J.R. Nunes, A. Curado, en S.I. Lopes, *The Relationship between Radon and Geology: Sources, Transport and Indoor Accumulation*. Applied Sciences-Basel, 2023. **13**(13).
38. FANC, *Persoonlijke communicatie met Boris de Handschutter*. 2024.
39. KNMI. *Maand- en jaarwaarden*. Beschikbaar via <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/maandgegevens>, geraadpleegd 2 Juli.

40. S. Bader, S.A.J. Dekkers, en R.O. Blaauboer, *Ventilatie en de samenhang met radon in nieuwbouwwoningen in Nederland. Resultaten en analyses van tracermetingen in het project VERA*, 610790006, 2009.
41. CBS. *Prijs van de energie 86 procent hoger*. Beschikbaar via <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2022/07/prijs-van-energie-86-procent-hoger#:~:text=Heteffectvaneenverwacht,tenopzichtevanvorigjaar,geraadpleegd%201%20July%202024>, geraadpleegd 1 July 2024.
42. IEA. *Record prices, fuel shortages, rising poverty, slowing economies: the first energy crisis that's truly global*. Beschikbaar via geraadpleegd 1 July 2024.
43. V.S. Kaufmann M., Haarbosch S., Jansen E., *How policy instruments reproduce energy vulnerability - A qualitative study of Dutch household energy efficiency measures*. Energy Research & Social Science, 2023. **103**(103206).
44. W.R. Gajdzik B., Nagaj R., Źuromskait'e-Nagaj B. and Grebski W.W., *The Influence of the Global Energy Crisis on Energy Efficiency: A Comprehensive Analysis*. Energies, 2024. **17**(947).
45. M.P. van Veen, et al., *Binnenmilieu-kwaliteit: ventilatie en vochtigheid*, 2001.
46. Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, *Besluit bouwwerken leefomgeving*. 2024.
47. R.J.P. Bradley H. Turk, William J. Fisk, David T. Grimsrud and Richard G. Sextro, *Effectiveness of Radon Control Techniques in Fifteen Homes*. Journal of the Air & Waste Management Association, 1991. **41**: p. 723-734.
48. U.H.S. Agency. *Natural under-floor ventilation*. Beschikbaar via [https://www.ukradon.org/information/reducelevels\\_naturalfloorvent](https://www.ukradon.org/information/reducelevels_naturalfloorvent), geraadpleegd 2 July 2024.
49. A.P.C. Tiziana Tunno, Manuel Fernandez, Federica Leonardi, Sabrina Tonnarini, Miriam Veschetti, Giovanni Zannoni and Rosabianca Trevisi, *Critical aspects of radon remediation in karst limestone areas: some experiences in schools of South Italy*. Journal of Radiological Protection, 2017. **37**: p. 160-175.
50. T.D. Gooding, *An analysis of radon levels in the basements of UK workplaces and review of when employers should test*. Journal of Radiological Protection, 2018. **38**.
51. F.F. L. Vimercati, D. Cavone, L. de Maria, F. Birtolo, en L.S. G.M. Ferri, P. Lovreglio, *Radon levels in indoor environments of the university hospital in Bari-Apulia region Southern Italy*. Environmental Research and Public Health, 2018. **15**.
52. C.N. A. Ruano-Ravina, M.J. López-Jacob, A. García Oliver, M. de la Cruz Calle Tierno, J. Peón-González, J.M. Barros-Dios, *Indoor radon in Spanish workplaces. A pilot study before the introduction of the European Directive 2013/59/Euratom*. Gac Sanit, 2018. **33**(6): p. 563-567.
53. A.A. Bartels, et al., *Effect van verschillende ventilatiehoeveelheden op aerogene transmissie van SARS-CoV-2. Risicoschatting op basis van het AirCoV2-model*, 2021.
54. A.D. Wiersma, T. Kamer. *Vervolg aanpak ventilatie op scholen*. 31293-634. 2022.  
[https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/brieven\\_regering/de\\_tail?id=2022Z13705&did=2022D28237](https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/brieven_regering/de_tail?id=2022Z13705&did=2022D28237).

55. A.S.a.D.T. Andreea Cristina Tataru, *Determination of the radon concentration in homes depending on the insulation used for the floor*, in *International Symposium on Occupational Health and Safety (SESAM 2021)*. 2022.



## Bijlage I Onderbouwing steekproefgrootte

Dit document geeft een onderbouwing voor de beoogde steekproefgrootte van de radonsurvey in woningen, en op werkplekken en in voor het publiek toegankelijke gebouwen, zoals die gepland stond voor 2022-2023.

### Eerdere surveys

Als voorkennis gelden de resultaten van deze eerdere surveys, Zie Tabel I-I

- 2013-2014 metingen in woningen;
- 2016-2017 metingen op werkplekken en in voor het publiek toegankelijke gebouwen.

*Tabel I-I De resultaten van deze twee surveys weergegeven. RC = rekenkundig gemiddelde van de jaargemiddelde radonconcentraties # = Gebaseerd op de postcodegebieden zoals die ook als aandachtsgebied aangewezen in de werkplekken-survey van 2016-2017. \$ = rekenkundig gemiddelde jaargemiddelde radonconcentratie op basis van de jaarmetingen.*

	<b>Totaal aantal metingen</b>	<b>Metingen in Zuid-Limburg</b>	<b>Metingen in Gelders Rivierenland</b>	<b>Woningen bouwjaar 2000-2010</b>	<b>Woningen bouwjaar 2010-2012</b>
Woningsurvey 2013-2014	2567	79 <sup>#</sup>	106 <sup>#</sup>	294	44
RC (Bq/m <sup>3</sup> )	15,6	40	25	12,5	9,7
Werkplekken-survey 2016-2017	572	90	67	-	-
RC (Bq/m <sup>3</sup> )	14,1 <sup>\$</sup>	31	21	-	-

In de woningsurvey van 2013-2014 heeft circa 10 procent van de uitgestuurde detectoren (299 van de 2866 adressen) geen geldige meting gegeven (e.g. niet teruggestuurd). In de werkplekken-survey van 2016-2017 heeft ongeveer 9 procent van de bedrijven/instellingen (35 van de 405) de detectoren uiteindelijk niet opgehangen of teruggestuurd.

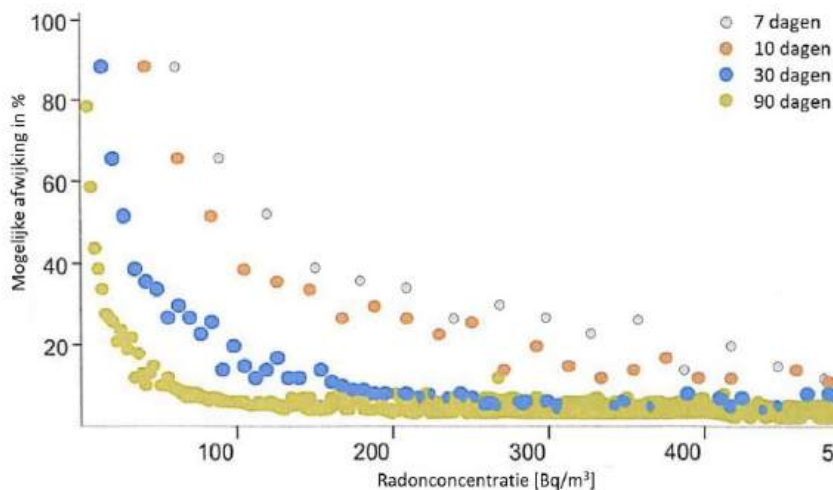
### Duur van de metingen

In ieder geval wordt per deelnemende woning of gebouw één detector opgehangen die gedurende een jaar de radonconcentratie meet. De vraag is of daarnaast ook nog een detector voor een 6-maandsmeting wordt geplaatst. Van de 6-maandsmeting is echter in het huidige onderzoek weinig opbrengst te verwachten ten opzichte van de te leveren inspanning hiervoor. Er ligt momenteel geen specifieke vraag over seizoensinvloeden. Daarbij moet ook opgemerkt worden dat voor het meten van seizoensinvloeden de periode van meting nauwkeurig gekozen en gehaald moet worden. Het voordeel van een 6-maandsmeting kan nog zijn dat deelnemers een meter na een jaar makkelijker kwijt zijn dan na zes maanden. Gezien de ervaringen uit eerdere surveys valt het aantal kwijtgeraakte en/of niet teruggezonden

detectoren na een jaar mee. Een contactmoment met de deelnemers na zes maanden (dus halverwege de jaarmeting) kan vermoedelijk dit effect van kwijtgeraakte detectoren ook beperken.

De radonconcentraties in Nederland liggen in het algemeen laag ten opzichte van de detectielimiet van de detectoren. Bij lage meetwaarden en kortere meetduur is daarnaast de meetfout relatief groot, zoals zichtbaar in Figuur I-I. De curve voor metingen van een jaar zal weinig afwijken van de curve behorende bij 90 dagen, omdat deze curve de meetlimieten van de detector al sterk is genaderd.

Gezien bovenstaande overwegingen wordt ervoor gekozen om alleen jaarmetingen te verrichten.



Figuur I-I Weergave van de meetonzekerheid van radonconcentratie, afhankelijk van de gemeten waarde en de meetduur, voor een alfa-track detector van Track Analysis Systems Ltd (figuur ontleend aan (Rasmussen, T. (2018). 'SBI-anvisning 270: Måling af radon i bygninger.' Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet København)).

### Representativiteit van de steekproef

De steekproef moet representatief zijn voor het Nederlandse woningbestand. In het algemeen geldt als basisregel dat een goede steekproef 10 procent van de studiebevolking bevat. Hier zit echter wel een bovengrens aan van circa 1.000. Dat betekent dat bij een woningbestand van circa 8 miljoen woningen, het niet nodig is om daarvan 800.000 woningen in de steekproef op te nemen. Dan is een totaal van 1.000 nog steeds voldoende.

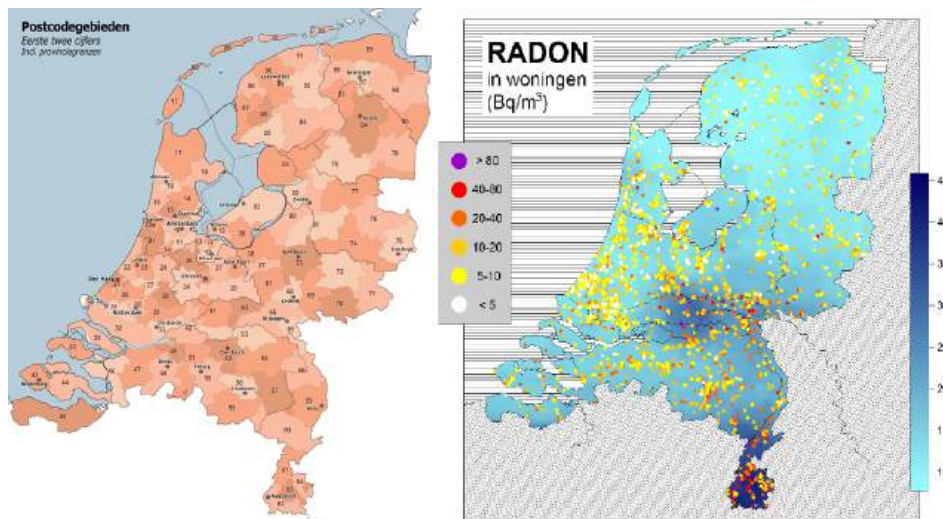
### Bepaling steekproefgrootte

De volgende (sub)groepen van te meten woningen en werkplekken/voor het publiek toegankelijke gebouwen zijn in overleg met de opdrachtgever geïdentificeerd.

1. Woningen verspreid over Nederland en gebouwd voor 2005.
2. Werkplekken/voor het publiek toegankelijke gebouwen verspreid over Nederland.
3. Woningen in Nederland gebouwd vanaf 2013 (ook in Gelders Rivierenland en Zuid-Limburg).

4. Woningen in Nederland die gebouwd zijn tussen 2005 en 2013.
5. Woningen in het Gelders Rivierenland.
6. Woningen in Zuid-Limburg,
7. Werkplekken/voor het publiek toegankelijke gebouwen in het Gelders Rivierenland.
8. Werkplekken/voor het publiek toegankelijke gebouwen in Zuid-Limburg.

De subgroepen 5 en 7 worden gedefinieerd op basis van postcode-3. De subgroepen 6 en 8 worden gedefinieerd op basis van postcode-2. De betreffende postcodegebieden worden overgenomen uit de eerdere surveys (zie de figuren hieronder).



Figuur I-II Links: postcodegebieden in Nederland, Wikipedia Door Janwillemvanaalst - Eigen werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=11151366>; Rechts: de gemeten radonconcentraties in woningen in 2014-2015, Smetsers et al. RIVM-rapport 2015-0087.

De te beantwoorden onderzoeksvraag voor de *nieuwgebouwde woningen* ten opzichte van de laatste woningsurvey (subgroep 3) is of de radonconcentratie *niet is toegenomen*. Hiervoor is een test for equivalence nodig, waarbij de steekproefgrootte gegeven wordt door  $N=2\Delta^2 (Z_\alpha + Z_\beta)^2/d^2$ . De veronderstelde waarde voor de standaardfout  $\Delta$  is  $12 \text{ Bq/m}^3$ . Voorts geldt  $Z_\alpha$  bij  $\alpha=0,05$  is  $1,64$  en  $Z_\beta$  bij  $\beta=0,10$  is  $1,28^4$ . Bij een  $d$  van  $3 \text{ Bq/m}^3$  waarbinnen *niet* gesproken wordt van een relevant verschil, geeft dit een minimale steekproefgrootte van 314 nieuwbouwwoningen (formule voor  $N$  ingevuld +15% om rekenschap te geven van de niet-parametrische verdeling van de data). Het gaat hierbij dan om 314 woningen per te vergelijken subgroep, dus 314 met bouwjaar 2013 en later, en 314 met bouwjaar 2005-2013. Voorstel is de steekproefgrootte iets ruimer te kiezen op 350 per subgroep om bijvoorbeeld ook enig verlies van detectoren te kunnen opvangen.

Voor de subgroepen 5 tot en met 8 is statistisch gezien een groeps-grootte van 114 voldoende voor onderscheid met de gemiddelde

<sup>4</sup> De keuze van 0,05 voor  $\alpha$  is zeer gebruikelijk in de statistiek. Voor veel statistische tests wordt daarbij in het algemeen een  $\beta$  van 0,20 aangenomen, maar voor een test for equivalence wordt een  $\beta$  van 0,10 aangeraden.

woning of werkplek in Nederland. Bij deze berekening is een  $\alpha$ -waarde van 0,05 en een  $\beta$ -waarde van 0,20 gebruikt, en is gezien de grootte van de te verwachten standaardfout (circa 12 Bq/m<sup>3</sup>) ten opzichte van de meetwaarde een medium effect size gekozen. Omdat de vraag voor de huidige survey expliciet een meer gedetailleerd beeld is van met name Zuid-Limburg en het Gelders Rivierengebied, is het voorstel om deze groepen nog iets ruimer te kiezen, namelijk 200 metingen per subgroep met werkplekken, en 300 metingen per subgroep met woningen. Daarmee ontstaat behalve informatie over het gemiddelde naar verwachting ook meer inzicht in de totale verdeling (dus ook de staart).

Verspreid over Nederland zijn relatief minder woningen en werkplekken nodig om een betrouwbare schatting van de gemiddelde jaargemiddelde radonconcentratie te verkrijgen. Voorstel is 300 woningen en 150 werkplekken. Nederland heeft een landoppervlakte van circa 34.000 km<sup>2</sup>. Het grid van metingen over Nederland heeft daarmee dan een gemiddelde resolutie van 1 meting per 10x10 km<sup>2</sup>. Dit is nog exclusief de woningen die gebouwd zijn tussen 2005 en 2013, en na 2013. De resolutie van metingen in de aandachtsgebieden Zuid-Limburg en het Gelders Rivierenland ligt aanzienlijk hoger dan het landelijke grid.

In Tabel I-II staat een overzicht van de gedefinieerde (sub)groepen en de beoogde steekproefgroottes. Het totaal aantal meetlocaties voor jaargemiddelde meting van de radonconcentratie komt hiermee op 2150.

*Tabel I-II Overzicht van voorgestelde steekproefgroottes voor de diverse (sub)groepen.*

	<b>(Sub)groep</b>	<b>Aantal meetlocaties</b>	<b>Impact op analyse</b>
1	Woningen verspreid over Nederland gebouwd voor 2005.	300	Vergelijking op landelijk niveau met de andere subgroepen mogelijk en met het referentieniveau.
2	Werkplekken/voor het publiek toegankelijke gebouwen verspreid over Nederland.	150	Vergelijking op landelijk niveau met de andere subgroepen mogelijk en met het referentieniveau.
3	Nieuwbouwwoningen in Nederland gebouwd vanaf 2013 (ook in Gelders Rivierenland en Zuid-Limburg).	350	Vergelijking mogelijk met woningen 2005-2013 en daarbij 'geen relevant verschil' gedefinieerd als 3 Bq/m <sup>3</sup> .
4	Woningen in Nederland gebouwd tussen 2005-2013.	350	Vergelijking mogelijk met woningen gebouwd na 2013 en check op consistentie met vorige survey.
5	Woningen in het Gelders Rivierenland.	300	Vergelijking met de andere subgroepen mogelijk en met het referentieniveau.
6	Woningen in Zuid-Limburg.	300	Vergelijking met de andere subgroepen mogelijk en met het referentieniveau.

	<b>(Sub)groep</b>	<b>Aantal meetlocaties</b>	<b>Impact op analyse</b>
7	Werkplekken/voor het publiek toegankelijke gebouwen in het Gelders Rivierenland.	200	Vergelijking met de andere subgroepen mogelijk en met het referentieniveau.
8	Werkplekken/voor het publiek toegankelijke gebouwen in Zuid-Limburg.	200	Vergelijking met de andere subgroepen mogelijk en met het referentieniveau.
	<b>Totaal</b>	<b>2.150</b>	

### **Overwegingen voor meten in hoogbouw-woningen**

Worden in de radonsurvey van 2022-2023 ook metingen gedaan in woningen die niet (ten minste deels) op de begane grond (woonlaag 0) gelegen zijn? Het gaat hierbij bijvoorbeeld om bovenwoningen en woningen in flatgebouwen. Hieronder staan enkele overwegingen voor en tegen het doen van metingen in woningen zonder woonruimte op de begane grond.

#### **Wel metingen doen in woningen zonder woonruimte op de begane grond:**

- Het woningbestand in Nederland bevat nou eenmaal ook hoogbouw, dus representatiever voor Nederland en inwoners van Nederland om deze woningen wel mee te nemen.
- In de vorige woningsurvey zijn ook dit type woningen meegenomen, dus voor de vergelijkbaarheid is het beter om deze woningen ook nu mee te nemen.
- De gemiddelde waarde in alleen woningen met woonruimte op de begane grond is vermoedelijk hoger dan wanneer ook hoogbouw wordt meegenomen.

#### **Geen metingen in woningen zonder woonruimte op de begane grond**

- De verwachting is dat op hoger gelegen etages geen hoge radonconcentraties gevonden worden, dus om de hogere waarden te vinden is het efficiënter om deze woningen niet mee te nemen.
- De meetfout bij lage meetwaarden is groot ten opzichte van de meetwaarde.

Bovenstaande afwegend, is het gerechtvaardigd om in de survey van 2022-2023 wel weer metingen te verrichten in woningen zonder woonruimte op de begane grond (woonlaag 0). Met name representativiteit en vergelijkbaarheid zijn hierbij belangrijke factoren. Per meetlocatie zal (naast andere informatie) in een vragenlijst worden uitgevraagd op welke woonlaag de detector heeft gehangen.

### **Methode van deelnemers werven**

Op het eerste gezicht zijn er twee manieren voor het werven van deelnemers:

1. Gericht uitnodigen tot deelname.

2. Open aanmelding met daarna selectie voor deelname op basis van de (sub)groepen.

Aan beide methoden zitten voor- en nadelen. Bij de eerste methode moet een steekproef van adressen worden genomen op basis van de grootte van de verschillende (sub)groepen. Resultaten uit het verleden leren dan circa 10 procent van de uitgenodigden uiteindelijk zal deelnemen. Dit betekent dat circa 21.500 uitnodigen moeten worden verstuurd.

Bij de tweede methode gaat relatief veel werk zitten in het opzetten van een aanmeldsysteem en bijbehorende wervingscampagne. Vervolgens kan na aanmelding een selectie worden gemaakt om de (sub)groepen te vullen. Overtollige aanmeldingen moeten worden afgemeld. De mate van aanmelding bij een wervingscampagne is hier de grote onbekende factor.

De ervaringen en kennis van onze collega's van de afdeling Communicatie spelen mede een rol in de keuze voor methode 1) of 2).

### **Conclusie**

De totale omvang van de radonsurvey wordt beoogd 2.150 woningen en werkplekken/openbare gebouwen te bevatten. De meest metingen worden gedaan in nieuwbouwwoningen, en in woningen en werkplekken in de aandachtsgebieden Zuid-Limburg en het Gelders Rivierenland. Er worden alleen jaarmetingen verricht, geen 6-maandsmetingen.

## Bijlage II plaatsingsinstructie radonmeter woningen

Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu  
Ministerie van Volksgezondheid,  
Welzijn en Sport

# Instructie plaatsen radonmeter

Fijn dat u meedoet aan het RIVM-onderzoek naar radon. U heeft nu de radonmeter ontvangen.

Lees de voor- en de achterkant van deze instructie eerst goed door, vóór u de meter uit de verpakking haalt.

De meter werkt helemaal vanzelf. U hoeft het apparaat alleen maar te plaatsen.

**Stap 1**

Kies de ruimte in huis waar u de radonmeter gaat plaatsen. Dit moet de ruimte zijn die overdag het meest wordt gebruikt. Meestal is dat de woonkamer of een (thuis)werkplek.

**Stap 2**

Haal de radonmeter uit de verpakking. De radonmeter meet vanaf nu vanzelf de hoeveelheid radon in uw woning.

### Stap 3

Hang de radonmeter op, of leg deze neer. Verplaats de radonmeter daarna niet meer. Het is belangrijk dat het apparaat een jaar lang op dezelfde plek blijft.

- Een geschikte plek voor het plaatsen van een radonmeter is een (boeken)plank of boven op een kast.
- Ook kan de radonmeter aan een touwtje opgehangen worden in de ruimte.
- Houd bij het plaatsen rekening met het volgende:

#### Plaats of hang de radonmeter wel:

- Minimaal 25 cm van een binnenmuur en het plafond af
- Minimaal 50 cm van een buitenmuur af
- Minimaal 50 cm van buitendeuren, ramen, en ventilatievoorzieningen (bijvoorbeeld een luchtrooster)
- Minimaal 25 cm van een warmtebron (radiator, kachel, schoorsteen, elektronische apparaten, etc.)
- Buiten bereik van kinderen of huisdieren.

#### Plaats of hang de radonmeter niet:

- Op de vloer
- In de verpakking
- In direct zonlicht
- In een afgesloten (lade)kast of ander voorwerp dat afgesloten wordt
- Waar de meter nat kan worden

### Stap 4

Ga naar [https://fd23.formdesk.com/rivm/Radonmeter\\_woningen\\_2022](https://fd23.formdesk.com/rivm/Radonmeter_woningen_2022) en vul in:

- De datum waarop u de meter heeft geplaatst.
- Het nummer van de radonmeter. Dit bestaat uit 9 cijfers en staat op de meter (zie afbeelding).
- De plaats waar de meter hangt.
- Uw volgnummer. Dit staat in de brief die u met deze instructie ontving.



Over een jaar laten we u weten hoe u de meter terugstuurt. Als het onderzoek is afgerond, krijgt u ook de resultaten van uw meter thuisgestuurd. Ook vult u een half jaar na de start van het onderzoek een vragenlijst in. Hierin staan vragen over bijvoorbeeld de wijze van ventilatie van de ruimte waar de meter is geplaatst. U krijgt hierover vanzelf bericht via e-mail.

#### Meer informatie of vragen?

Kijk voor meer informatie over radon, het onderzoek en deze radonmeter op [www.rivm.nl/radon](http://www.rivm.nl/radon). Nog vragen? Neem contact met ons op via [radon@rivm.nl](mailto:radon@rivm.nl).



Dit is een uitgave van:

Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu  
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven  
[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

*De zorg voor morgen begint vandaag*





## Bijlage III vragenlijst woningen

Fijn dat u deelneemt aan dit onderzoek en deze vragenlijst wilt invullen. Deze informatie hebben wij nodig om de radonmeetwaarden van uw woning beter te kunnen duiden.

Het eerste deel van de vragen is persoonlijk. Het tweede deel van de vragen gaat over uw woning. Het derde deel van de vragen gaat over de ruimte waarin u de radonmeter heeft opgehangen. Aan het eind van de vragenlijst kunt u opmerkingen kwijt, die u niet bij een van de vragen kon plaatsen.

Het invullen van de vragenlijst duurt ongeveer 10 minuten. Het beste is om de vragenlijst in 1 keer helemaal in te vullen. Mocht dat niet lukken, dan kunt u de ingevulde gegevens tussentijds opslaan en op een later moment verder gaan.

Voor meer informatie over radon, ga naar [www.rivm.nl/radon](http://www.rivm.nl/radon).

Heeft u vragen of opmerkingen over het onderzoek? Neem dan contact op met het projectteam van het RIVM via [radon@rivm.nl](mailto:radon@rivm.nl).

### **Algemeen**

De volgende vragen zijn persoonlijk van aard. De eerste vragen zijn noodzakelijk om uw gegevens goed aan uw radonmeting te koppelen. Daarna volgen enkele algemene vragen.

#### **Wat is uw e-mailadres?**

Het e-mailadres wordt gebruikt om u achteraf de vragenlijst met de door u ingevulde antwoorden op te sturen.  
[Veld voor e-mailadres].

#### **Wat is het nummer van uw radonmeter? Dit is het 9-cijferig getal op een uw radonmeter staat.**

U mag hiervoor de radonmeter optillen en op dezelfde plek weer terugleggen.  
Antwoordoptie  
[Veld voor getal invoer]

#### **Wat zijn de postcode en huisnummer van de woning waar de radonmeter is geplaatst?**

Antwoordoptie  
[invulveld postcode en huisnummer]

#### **Wat is u hoogst afgeronde opleiding?**

Antwoordopties

- Geen diploma
- Basisonderwijs
- Voortgezet onderwijs (vmbo/havo/vwo)

- Middelbaar beroepsonderwijs (mbo)
- Hoger onderwijs (hbo/wo)

### Waarom doet u mee aan het radononderzoek?

Antwoordoptie

[invulveld vrije invoer max 200 tekens?]

### Beleving

De volgende vragen gaan over uw beleving van radon.

Construct	Item	Schaal
<b>Gepercipieerde blootstelling</b>	Hoeveel Radon denkt u dat er aanwezig is in uw woning?	[helemaal niet - niet - een beetje - veel - heel veel]
<b>Ervaren zorgen</b>	Maakt u zich geen of wel zorgen over de aanwezigheid van radon in uw woning?	[helemaal niet - niet - een beetje - veel - heel veel]
<b>Ervaren kwetsbaarheid</b>	Denkt u dat u door de hoeveelheid radon in uw woning ziek kunt worden?	[helemaal niet - niet - een beetje - wel - zeker wel]
<b>Motivatie om maatregelen te nemen</b>	Zou u zelf wat willen doen om de hoeveelheid radon in uw woning willen verminderen?	[helemaal niet - niet - een beetje - wel - zeker wel]
<b>(Self) efficacy (algemeen)</b>	Denkt u dat u de hoeveelheid radon in uw woning kunt verminderen?	[helemaal niet - niet - een beetje - wel - zeker wel]
<b>Reponse efficacy</b>	Denkt u dat [ <b>extra</b> ventileren] (bijv. <b>vaker</b> ramen openzetten) helpt om de hoeveelheid radon in uw woning te verminderen?	[helemaal niet - niet - een beetje - wel - zeker wel]
<b>Self efficacy (specifiek)</b>	Kunt u uw huis [ <b>extra</b> ventileren] (bijv. door <b>vaker</b> ramen open te zetten)?	[helemaal niet - niet - een beetje - wel - zeker wel]

### Over de bouw van uw woning

De volgende vragen gaan over uw woning. Deze informatie is belangrijk om de meetresultaten goed te kunnen beoordelen.

### In wat voor soort woning woont u?

Antwoordopties

- woonhuis
- benedenwoning
- bovenwoning
- flat of appartementengebouw
- anders, namelijk ...

[Indien woning flat of appartementengebouw is]

**Op welke verdieping woont u?**

Antwoordopties

- Begane grond
- Eerste verdieping
- Tweede verdieping
- Derde verdieping
- Hoger, namelijk:

**Wat is het bouwjaar van uw woning?**

*Als uw het bouwjaar niet weet vul dan "0" in.*

- Vrije invoer van jaartal

**Is uw woning sinds de bouw gerenoveerd?**

- ja
- nee

**Is uw woning sinds de bouw verduurzaamd?**

- ja
- nee

**In welke jaar heeft de laatste grote renovatie/verduurzaming van uw woning plaatsgevonden?**

- vrije invoer van jaartal

*[Indien meter NIET in een flat op een hogere verdieping hangt]*

**Is de vloer van de begane grond geïsoleerd?**

Antwoordopties

- Nee
- Ja, al voordat het radononderzoek begon
- Ja, tijdens het radononderzoek
- Weet ik niet

**Zijn de muren van de woning (gedeeltelijk) geïsoleerd?**

Antwoordopties

- Nee
- Ja, alle muren
- ja, maar niet alle muren
- Weet ik niet

**Is het dak van de woning geïsoleerd?**

Antwoordopties

- Nee
- Ja
- Weet ik niet
- Niet van toepassing (bijvoorbeeld bij een benedenwoning)

**Hoe wordt de woning vooral verwarmd?**

Antwoordopties

- Centrale verwarming
- Lucht-warmtepomp
- Stadsverwarming
- Warmteterugwinsysteem (WTW)
- Airconditioning
- Gaskachel

- Pelletkachel
- Anders, namelijk:

**Woont u in een koopwoning of huurwoning?**

Antwoordopties

- Huurwoning
- Koopwoning

*[Indien meter NIET in een flat hangt]*

**Is er een kruipruimte aanwezig?**

Antwoordopties

- Nee
- Ja
- Ik weet het niet

**Is er een kelder aanwezig?**

Antwoordopties

- Nee
- Ja
- Ik weet het niet

**Wordt er in huis gerookt?**

Antwoordopties

- nooit
- af en toe
- 1x per maand
- 1x per week
- Vaker dan 1x per week

*[indien in huis gerookt wordt.]*

**Ventileert u extra op de momenten dat iemand in huis rookt (bijvoorbeeld door middel van ramen of afzuiging)?**

Antwoordopties

- Ja
- Nee

**Over de ruimte waarin de radonmeter is geplaatst**

De volgende vragen gaan over de *ruimte waarin u de radonmeter hebt geplaatst*.

**Op welke verdieping ligt de ruimte waar de radonmeter is geplaatst?**

Antwoordopties

- Kelder
- Souterrain
- Begane grond
- Eerste verdieping
- Tweede verdieping
- Hogere verdieping, namelijk ...

**Waar wordt de ruimte voor gebruikt?**

Antwoordopties

- Woonkamer

- Studeerkamer/kantoor
- Slaapkamer
- Keuken
- Anders, namelijk ...

**Van welk materiaal is de vloer gemaakt in de ruimte waarin de radonmeter ligt of hangt? Het gaat hierbij om het materiaal van de vloer zelf, dus niet van de vloerafwerking of vloerbedekking.**

Antwoordopties

- Hout
- Beton
- Weet ik niet
- Anders, namelijk

**Van welk materiaal is de muur gemaakt in de ruimte waarin de radonmeter ligt of hangt? Het gaat hierbij om het materiaal van de muur zelf, dus niet van de wandafwerking.**

Meerdere antwoorden mogelijk:

- Hout
- baksteen
- Beton
- Gips(blokken)
- Weet ik niet
- Anders, namelijk ...

**Hoe wordt de ruimte vooral geventileerd?**

Antwoordopties (meerdere antwoorden mogelijk)

- Niet
- Door een ventilatierooster
- Door openen van een of meerdere ramen
- Door mechanische ventilatie
- Anders, namelijk...

*[indien mechanische ventilatie]*

**Met welk systeem wordt de ruimte mechanisch geventileerd?**

Antwoordopties

- Continue ventilatie
- Vraaggestuurde ventilatie
- Balansventilatie
- Weet ik niet
- Anders, namelijk:

*[indien natuurlijke ventilatie]*

**Wanneer ventileert u de ruimte door het openen van ventilatieroosters?**

Antwoordopties

- Op het moment dat het te warm is in de ruimte
- Alleen 's nachts
- Alleen overdag
- Alleen als het niet te koud is buiten
- Altijd
- Anders, namelijk

**Wanneer ventileert u de ruimte door het openen van één of meerdere deuren?**

Antwoordopties

- Op het moment dat het te warm is in de ruimte
- Alleen overdag
- Alleen 's nachts
- Altijd
- Anders, namelijk

**Als u niet altijd ventileert, wat is hiervan de reden?**

(Meerdere antwoorden mogelijk)

- Energiekosten
- Geluid
- Anders, namelijk:

**Wat voor soort glas zit in de ramen van de ruimte waarin de radonmeter is geplaatst?**

Antwoordopties

- Enkel glas
- Dubbel glas of HR(++)-glas
- Weet ik niet
- Niet van toepassing, deze ruimte heeft geen ramen

Dit is het eind van de vragenlijst. Hieronder kunt u eventueel nog opmerkingen plaatsen die u eerder niet kwijt kon. U kunt hier ook extra toelichting geven bij eerder gestelde vragen.

**Opmerkingen**

Antwoordoptie

[vrij veld voor tekst circa 500 woorden]

Hartelijk dank voor uw deelname!

De radonmeter kunt u laten liggen of hangen, totdat u bericht van ons krijgt om deze terug te sturen naar het RIVM. Dit is halverwege 2023.

## Bijlage IV plaatsingsinstructie radonmeter werkplekken

Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu  
Ministerie van Volksgezondheid,  
Welzijn en Sport

# Instructie plaatsen radonmeter

Fijn dat u meedoet aan het RIVM-onderzoek naar radon. U heeft nu de radonmeter ontvangen.

Lees de voor- en de achterkant van deze instructie eerst goed door, vóór u de meter uit de verpakking haalt.

De meter werkt helemaal vanzelf. U hoeft het apparaat alleen maar te plaatsen.

**Stap 1**

Kies de ruimte op de werkplek waar u de radonmeter gaat plaatsen. Dit moet een ruimte zijn die veel gebruikt wordt door medewerkers en het beste past bij de werkzaamheden van uw bedrijf. Bijvoorbeeld als u werkzaamheden passen binnen de categorie industrie hangt u de radonmeter op in een productiehal.

**Stap 2**

Haal de radonmeter uit de verpakking. De radonmeter meet vanaf nu vanzelf de hoeveelheid radon op uw werkplek.

### Stap 3

Hang de radonmeter op, of leg deze neer. Verplaats de radonmeter daarna niet meer. Het is belangrijk dat het apparaat een jaar lang op dezelfde plek blijft.

- Een geschikte plek voor het plaatsen van een radonmeter is een (boeken)plank of boven op een kast.
- Ook kan de radonmeter aan een touwtje opgehangen worden in de ruimte.
- Houd bij het plaatsen rekening met het volgende:

#### Plaats of hang de radonmeter wel:

- Minimaal 25 cm van een binnenmuur en het plafond af
- Minimaal 50 cm van een buitenmuur af
- Minimaal 50 cm van buitendeuren, ramen, en ventilatievoorzieningen (bijvoorbeeld een luchtrooster)
- Minimaal 25 cm van een warmtebron (radiator, kachel, schoorsteen, elektronische apparaten, etc.)

#### Plaats of hang de radonmeter niet:

- Op de vloer
- In de verpakking
- In direct zonlicht
- In een afgesloten (lade)kast of ander voorwerp dat afgesloten wordt
- Waar de meter nat kan worden

### Stap 4

Ga naar [https://www.formdesk.com/rivm/Radonmeter\\_bedrijven\\_2022](https://www.formdesk.com/rivm/Radonmeter_bedrijven_2022) en vul in:

- De datum waarop u de meter heeft geplaatst.
- Het nummer van de radonmeter. Dit bestaat uit 9 cijfers en staat op de meter (zie afbeelding).
- De plaats waar de meter hangt.
- Uw volgnummer. Dit staat in de brief die u met deze instructie ontving.



Over een jaar laten we u weten hoe u de meter terugstuurt. Als het onderzoek is afgerond, krijgt u ook de resultaten van uw meter toegestuurd. Ook vult u een half jaar na de start van het onderzoek een vragenlijst in. Hierin staan vragen over bijvoorbeeld de wijze van ventilatie van de ruimte waar de meter is geplaatst. U krijgt hierover vanzelf bericht via e-mail.

#### Meer informatie of vragen?

Kijk voor meer informatie over radon, het onderzoek en deze radonmeter op [www.rivm.nl/radon](http://www.rivm.nl/radon). Nog vragen? Neem contact met ons op via [radon@rivm.nl](mailto:radon@rivm.nl).



Dit is een uitgave van:

Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu  
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven  
[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

*De zorg voor morgen begint vandaag*





## Bijlage V vragenlijst bedrijven en voor het publiek toegankelijke gebouwen

Fijn dat u deelneemt aan dit onderzoek en deze vragenlijst wilt invullen. Deze informatie hebben wij nodig om de radonmeetwaarden op uw werkplek beter te kunnen duiden.

Het eerste deel van de vragen gaat over uw beleving van radon op de werkplek. Het tweede deel van de vragen gaat over het gebouw waar uw werkplek is gevestigd. Het derde deel van de vragen gaat over de ruimte waarin u de radonmeter heeft opgehangen. Aan het eind van de vragenlijst kunt u opmerkingen kwijt, die u niet bij één van de vragen kon plaatsen.

Het invullen van de vragenlijst duurt ongeveer 10 minuten. Het beste is om de vragenlijst in 1 keer helemaal in te vullen. Mocht dat niet lukken, dan kunt u de ingevulde gegevens tussentijds opslaan en op een later moment verder gaan.

Voor meer informatie over radon, ga naar [www.rivm.nl/radon](http://www.rivm.nl/radon).

Heeft u vragen of opmerkingen over het onderzoek? Neem dan contact op met het projectteam van het RIVM via [radon@rivm.nl](mailto:radon@rivm.nl).

### **Algemeen**

In het eerste gedeelte vragen we naar een aantal gegevens van uw bedrijf. Deze gegevens zijn noodzakelijk om uw gegevens goed aan uw radonmeting te koppelen.

**Wat is uw e-mailadres? U ontvangt op dit e-mailadres de antwoorden die u in deze vragenlijst heeft ingevuld.**

[Veld voor e-mailadres].

**Wat is het nummer van uw radonmeter? Dit is het 9-cijferig getal op een uw radonmeter staat.**

U mag hiervoor de radonmeter optillen en op dezelfde plek weer terugleggen.

Antwoordoptie

[Veld voor getal invoer]

**Wat zijn de postcode en huisnummer van de werkplek waar de radonmeter is geplaatst?**

Antwoordoptie

[invulveld postcode en huisnummer]

**Waarom doet u mee aan het radononderzoek?**

Antwoordoptie

[invulveld vrije invoer max 200 tekens?]

## Beleving

De volgende vragen gaan over uw beleving van radon op de werkplek.

Construct	Item	Schaal
<b>Gepercipieerde blootstelling</b>	Hoeveel radon denkt u dat er aanwezig is op uw werkplek?	[helemaal niet - niet - een beetje - veel - heel veel - weet ik niet]
<b>Ervaren zorgen</b>	Maakt u zich geen of wel zorgen over de aanwezigheid van radon op uw werkplek?	[helemaal niet - niet - een beetje - veel - heel veel - weet ik niet]
<b>Ervaren kwetsbaarheid</b>	Denkt u dat werknemers door de hoeveelheid radon op uw werkplek ziek kunnen worden?	[helemaal niet - niet - een beetje - wel - zeker wel - weet ik niet]
<b>Motivatie om maatregelen te nemen</b>	Zou u zelf wat willen doen om de hoeveelheid radon op uw werkplek te verminderen?	[helemaal niet - niet - een beetje - wel - zeker wel - weet ik niet]
<b>(Self) efficacy (algemeen)</b>	Denkt u dat u de hoeveelheid radon op uw werkplek kunt verminderen?	[helemaal niet - niet - een beetje - wel - zeker wel - weet ik niet]
<b>Reponse efficacy</b>	Denkt u dat [extra ventileren] (bijv. vaker ramen openzetten) helpt om de hoeveelheid radon op uw werkplek te verminderen?	[helemaal niet - niet - een beetje - wel - zeker wel - weet ik niet]
<b>Self efficacy (specifiek)</b>	Kunt u uw werkplek [extra ventileren] (bijv. door vaker ramen open te zetten)?	[helemaal niet - niet - een beetje - wel - zeker wel - weet ik niet]

## Over het gebouw

De volgende vragen gaan over het gebouw waar de werkplek is gevestigd. Deze informatie is belangrijk om de meetresultaten goed te kunnen beoordelen.

*Als uw het bouwjaar niet weet vul dan "0" in.*

- Vrije invoer van jaartal

### Is het gebouw sinds de bouw gerenoveerd?

Antwoordopties

- ja
- nee
- weet ik niet

### Is het gebouw sinds de bouw verduurzaamd?

Antwoordopties

- ja
- nee
- Weet ik niet

**In welke jaar heeft de laatste grote renovatie/verduurzaming van het gebouw plaatsgevonden?**

*Als uw niet weet in welk jaar de laatste grote renovatie/verduurzaming was vul dan "0" in.*

vrije invoer van jaartal

*[Indien meter NIET op een hogere verdieping hangt]*

**Is de vloer van de begane grond geïsoleerd?**

Antwoordopties

- Nee
- Ja, al voordat het radononderzoek begon
- Ja, tijdens het radononderzoek
- Niet van toepassingen (bijvoorbeeld omdat de werkplek zich op een hogere verdieping dan de begane grond bevindt).
- Weet ik niet

**Zijn de muren van het gebouw (gedeeltelijk) geïsoleerd?**

Antwoordopties

- Nee
- Ja, alle muren
- ja, maar niet alle muren
- Weet ik niet

**Is het dak van het gebouw geïsoleerd?**

Antwoordopties

- Nee
- Ja
- Weet ik niet
- Niet van toepassing (bijvoorbeeld bij nog bovenliggende andere werkplekken of woningen)

**Hoe wordt het gebouw vooral verwarmd?**

Antwoordopties

- Centrale verwarming
- Lucht-warmtepomp
- Stadsverwarming
- Warmte terugwinsysteem (WTW)
- Airconditioning
- Gaskachel
- Pelletkachel
- Infrarood panelen
- Weet ik niet
- Anders, namelijk:

*[Indien meter NIET in een flat hangt]*

**Is er een kruipruimte aanwezig?**

Antwoordopties

- Ja
- Nee
- Niet van toepassingen (bijvoorbeeld omdat de werkplek zich op een hogere verdieping dan de begane grond bevindt).
- Weet ik niet

**Is er een kelder aanwezig?**

Antwoordopties

- Ja
- Nee
- Niet van toepassing (bijvoorbeeld omdat de werkplek zich op een hogere verdieping dan de begane grond bevindt).
- Weet ik niet

**Over de ruimte waarin de radonmeter is geplaatst**

De volgende vragen gaan over de *ruimte waarin u de radonmeter hebt geplaatst*.

**Op welke verdieping ligt de ruimte waar de radonmeter is geplaatst?**

Antwoordopties

- Kelder
- Souterrain
- Begane grond
- Eerste verdieping
- Tweede verdieping
- Hogere verdieping, namelijk ...

**Van welk materiaal is de vloer gemaakt in de ruimte waarin de radonmeter ligt of hangt? Het gaat hierbij om het materiaal van de vloer zelf, dus niet van de vloerafwerking of vloerbedekking.**

Antwoordopties

- Hout
- Beton
- Weet ik niet
- Anders, namelijk ...

**Van welk materiaal is de muur gemaakt in de ruimte waarin de radonmeter ligt of hangt? Het gaat hierbij om het materiaal van de muur zelf, dus niet van de wandafwerking.**

Antwoordopties (Meerdere antwoorden mogelijk)

- Hout
- baksteen
- Beton
- Gips(blokken)
- Weet ik niet
- Anders, namelijk ...

**Hoe wordt de ruimte vooral geventileerd?**

Antwoordopties (meerdere antwoorden mogelijk)

- Niet
- Door een ventilatierooster
- Door openen van een of meerdere ramen
- Door mechanische ventilatie
- Anders, namelijk...

*[indien mechanische ventilatie]*

**Met welk systeem wordt de ruimte mechanisch geventileerd?**

Antwoordopties

- Continue ventilatie
- Vraaggestuurde ventilatie
- Balansventilatie
- Weet ik niet
- Anders, namelijk:

*[indien natuurlijke ventilatie door openen van een of meerdere ramen]*

**Wanneer ventileert u de ruimte door het openen van één of meerdere deuren?**

Antwoordopties

- Op het moment dat het te warm is in de ruimte
- Alleen tijdens werktijden
- Alleen buiten werktijden
- Altijd
- Anders, namelijk:

*[indien natuurlijke ventilatie met ventilatieroosters]*

**Wanneer ventileert u de ruimte door het openen van ventilatieroosters?**

Antwoordopties

- Op het moment dat het te warm is in de ruimte
- Alleen tijdens kantoortijden
- Alleen buiten werktijden
- Alleen als het niet te koud is buiten
- Altijd
- Anders, namelijk:

**Als u niet altijd ventileert, wat is hiervan de reden?**

Antwoordopties (Meerdere antwoorden mogelijk)

- Energiekosten
- Geluid
- Anders, namelijk:

**Wat voor soort glas zit in de ramen van de ruimte waarin de radonmeter is geplaatst?**

Antwoordopties

- Enkel glas
- Dubbel glas of HR(++)-glas
- Weet ik niet
- Niet van toepassing, deze ruimte heeft geen ramen
- Anders, namelijk:

Dit is het eind van de vragenlijst. Hieronder kunt u eventueel nog opmerkingen plaatsen die u eerder niet kwijt kon. U kunt hier ook extra toelichting geven bij eerder gestelde vragen.

### **Opmerkingen**

Antwoordoptie  
[vrij veld voor tekst circa 500 woorden]

Hartelijk dank voor uw deelname!  
De radonmeter kunt u laten liggen of hangen, totdat u bericht van ons krijgt om deze terug te sturen naar het RIVM. Dit zal zijn na de zomer van 2023.

## Bijlage VI Selectie adressen bedrijven

In onderstaande tabel staat het aantal te selecteren adressen voor het versturen van een uitnodiging verdeeld over de subcategorieën en de verschillende regio's weergegeven. Hierbij is uitgegaan van:

- i. 4.000 adressen evenredig verdeeld over de PC2 gebieden '61', '62', '63', '64', '65'
- ii. 4.000 adressen evenredig verdeeld over de PC2 gebieden: '40', '41', '53', '66', '60'
- iii. 3.000 adressen evenredig verdeeld over de 80 overgebleven PC2 gebieden.

Mochten in een PC2-gebied onvoldoende adressen beschikbaar zijn voor een hoofdcategorie, dan kan er gekeken worden naar adressen in dezelfde categorie in de omliggende PC2-gebieden. Is het aantal adressen dan nog te weinig, dan is dat het maximaal aantal adressen voor een categorie met de bijbehorende adressen.

Categorie		Subcategorie	Bron (SBI of andere databestanden)	Aantal adressen per PC2 gebied in Zuid-Limburg <sup>1</sup> .	Aantal adressen per PC2 gebied in het Gelderse Rivieren gebied <sup>2</sup>	Aantal adressen per PC2 gebied in de Rest van Nederland <sup>3</sup>
Kantoren	15 %	Kantoren	SBI: 8710 Gebruiksfunctie: kantoren (steekproef uit BAG en NHR)	120	120	6
Onderwijs	22,5 %	Primair onderwijs	'Primair en speciaal onderwijs' (steekproef uit DUO-open onderwijsdata)	180	180	8
		Secundair onderwijs	Voortgezet onderwijs'			
		Tertiair onderwijs	Tertiair onderwijs'			
Kinderdagverblijven	22,5 %	Kinderdagverblijf	Kinderdagverblijf (steekproef uit het LRK)	180	180	8
		Peuterspeelzaal	Peuterspeelzaal (steekproef uit het LRK)			
		Buitenschoolse opvang	Buitenschoolse opvang, (steekproef uit het LRK)			
Gezondheidszorg (residentiële zorg)	5%	Ziekenhuizen	SBI: 86.1 'Ziekenhuizen en geestelijke gezondheids- en verslavingszorg met overnachting'	40	40	2
		Verpleeg- en verzorgingshuizen	SBI: 87 'Verpleging, verzorging en begeleiding met overnachting'			

Categorie		Subcategorie	Bron (SBI of andere databestanden)	Aantal adressen per PC2 gebied in Zuid-Limburg <sup>1</sup> .	Aantal adressen per PC2 gebied in het Gelderse Rivieren gebied <sup>2</sup>	Aantal adressen per PC2 gebied in de Rest van Nederland <sup>3</sup>
Gezondheidszorg (niet-residentiële zorg)	5%	Medische en tandheelkundige praktijken	SBI 86.2 Medische en tandheelkundige praktijken	40	40	4
		Paramedische praktijken en overige gezondheidszorg zonder overnachting	SBI 86.9 Paramedische praktijken en overige gezondheidszorg zonder overnachting			
Industrie	10%	Industrie	SBI: 10 t/m 33, met uitzondering van 18.2 (Reproductie van opgenomen media), 19 (Aardolie), 20.1 (Vervaardiging van chemische basisproducten, kunstmeststoffen en stikstofverbindingen en van kunststof en synthetische rubber in primaire vorm), 21.1 (Vervaardiging van farmaceutische grondstoffen en producten), 23.6 (Vervaardiging van producten van beton, gips en cement), 23.7 (Natuursteenbewerking), 24 (Vervaardiging van metalen in primaire vorm) en 33 (Reparatie en installatie van machines en apparaten)	80	80	
Groot- en detailhandel	10%	Groothandel	SBI: 'G' 46.2-46.90.2 'Groot- en detailhandel; reparatie van auto's'	80	80	4
		Detailhandel	SBI: 47.1-47.7 'Detailhandel'			
Horeca	5%	Hotels	SBI: 55.1 'Hotels e.d.'	40	40	2
		Restaurant/café	SBI: 56.1 en 56.3 'Restaurants, cafétaria's e.d.' en 'Cafés'			
Cultuur	5%	Theater, bioscoop	SBI: 90.04.1 en 59.14 'Theaters en schouwburgen' en 'Bioscopen'	40	40	2



Categorie		Subcategorie	Bron (SBI of andere databestanden)	Aantal adressen per PC2 gebied in Zuid-Limburg <sup>1</sup> .	Aantal adressen per PC2 gebied in het Gelderse Rivieren gebied <sup>2</sup>	Aantal adressen per PC2 gebied in de Rest van Nederland <sup>3</sup>
		Openbare bibliotheek	SBI: 91.01.1 'Openbare bibliotheken'			
		Musea	SBI: 91.02.1 'Musea'			

Een groot aantal van de verstuurde uitnodigingen is bij het RIVM onbezorgd retour gekomen. Het gaat om 585 brieven. Dit zijn dus alleen de brieven die postbodes 'retour afzender' hebben gestuurd. Bij het doorspitten van deze brieven viel op dat:

- Van de aangeschreven bedrijven we 6,4 procent terugkregen.
- Bij de kinderdagverblijven en BSO ontvingen we 3,6 procent retour en van de scholen 3,7 procent. En hierbij kwamen bij het gebruik van postbusadressen relatief meer brieven retour (bij het versturen van de brieven is gebruikgemaakt van het correspondentieadres in de registerbestanden. Mogelijk dat het aanschrijven van het locatieadres een beter resultaat geeft).
- Regionaal gezien kwamen er in KvK-regio Oost iets meer brieven van bedrijven retour dan in andere regio's.
- Er zijn allerlei redenen aangegeven waarom de post retour is gestuurd, maar daarin zit niet al te veel lijn. De reden 'Geen brievenbus' kwam vaak terug van kleinere panden in winkelstraten.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

Nederland

[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

september 2024

De zorg voor morgen  
begint vandaag