



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

Radonmeters voor particulier gebruik

RIVM-briefrapport 2020-0210
M. Velsma | C. Rosenbaum



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

Radonmeters voor particulier gebruik

RIVM-briefrapport 2020-0210
M. Velsma | C. Rosenbaum

Colofon

© RIVM 2021

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-2020-0210

M. Velsma (auteur), RIVM
C. Rosenbaum (auteur), RIVM

Contact:
Charlotte Rosenbaum
Centrum Veiligheid
charlotte.rosenbaum@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) in het kader van beleidsondersteunend onderzoek ioniserende straling.

Dit is een uitgave van:
**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland
www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Radonmeters voor particulier gebruik

Radon is een radioactief gas dat van nature ontstaat in de bodem en in bouwmaterialen die daarvan zijn gemaakt. Vanuit de bodem en deze materialen kan radon in gebouwen terechtkomen. Radon verandert uit zichzelf in radioactieve stoffen, die zich aan zwevende deeltjes in huis hechten. Als mensen die deeltjes inademen, blijven ze achter in de longen en geven ze straling af. Hierdoor wordt de kans op longkanker groter.

Met een radonmeter kunnen mensen zelf meten hoeveel radon in een gebouw of woning zit. Als de concentratie boven de referentiewaarde komt, kunnen ze maatregelen nemen zoals ventileren om de concentratie te verlagen. Er zijn verschillende soorten meters te koop. Het RIVM heeft uitgezocht welke het meest geschikt is om thuis de radonconcentraties te meten. Dat is de 'gesloten alfa track detector'. Bij de aankoop ervan moeten mensen erop letten dat ze een gecertificeerde meter kopen (NEN-EN-ISO 11665-4).

De alfa track detector is onder andere gekozen omdat hij lage concentraties kan meten. Dat is belangrijk omdat de gemiddelde concentratie in Nederlandse woningen laag is. Ook kan deze meter minimaal 3 maanden achter elkaar meten. Zo'n langere periode meten is nodig omdat de concentraties radon in huis nogal kunnen verschillen – per uur, per dag, per maand. Ook heeft deze meter geen of weinig last van invloeden van temperatuur, vocht, stof en andere straling in het huis. Ten slotte is hij makkelijk te gebruiken: hij hoeft niet aangesloten te worden op elektriciteit, er zitten geen bewegende delen in, hij maakt geen geluid en zendt geen straling uit.

Mensen wordt aangeraden om de radonmeter in de winter te gebruiken. In deze tijd van het jaar is de gemiddelde radonconcentratie in huis hoger dan in de zomer. Dit komt door het weer en omdat er in de winter minder wordt geventileerd. De radonconcentratie kan het beste worden gemeten in een of twee ruimtes die het meest gebruikt worden. Meestal zijn dat de woonkamer en een slaapkamer.

Kernwoorden: radon, straling, metingen, bevolking, woningen, binnenmilieu, natuurlijke radioactiviteit

Synopsis

Radon meters for private use

Radon is a radioactive gas that is formed naturally in the soil, and in building materials made from soil. Radon can end up in buildings from exhalation of radon from the soil and partly by exhalation of radon from building materials. Radon spontaneously decays into radioactive decay products which can attach to floating particles in buildings. These particles and the radioactive decay products inhaled by people remain in the lungs and emit radiation, increasing the risk of lung cancer.

People can use a radon meter to measure how much radon there is in buildings or in their homes. If the concentration exceeds the reference value, they can take measures, such as ventilating the rooms, to remedy this. There are various types of meters available on the market and RIVM has investigated them to determine which is the most suitable for measuring radon concentrations at home. The conclusion is that the 'closed alpha-track detector' is the best for this purpose. When purchasing a detector, consumers must make sure that it is a certified model (NEN-EN-ISO 11665-4).

One of the reasons for recommending the alpha-track detector is that it can measure low concentrations. This is important because average concentrations in Dutch homes are low. This meter can also measure concentrations for at least three months continuously. A period of this length is necessary because the concentrations of radon in a house can vary quite considerably – by month, by day and even by hour. Furthermore, temperature, moisture, dust and other radiation in the house have little, if any, effect on the closed alpha-track detector. Finally, it is easy to use: it does not need an electrical source, has no moving parts, makes no noise and emits no radiation.

People are advised to use the radon meter in the winter because the average radon concentration in the house is higher in this season than in the summer. This is due to the weather and the fact that people ventilate their homes less when it is cold. It is best to measure the radon concentration in one or two rooms that are the most intensively used. These will usually be the living room and the bedroom.

Keywords: radon, measure, annual average concentration, homes, natural radioactivity, indoor environment, alpha-track detector

Inhoudsopgave

Samenvatting — 9

1 Inleiding — 11

- 1.1 Aanleiding en doel — 11
- 1.2 Achtergrond — 11
- 1.3 Afbakening — 12
- 1.4 Methode — 13
- 1.5 Leeswijzer — 13

2 Radonmeters voor particulier gebruik — 15

- 2.1 Invloed van thoron op radonmetingen — 15
- 2.2 Verschillende type detectoren — 16
 - 2.2.1 Passieve versus actieve radonmeter — 16
 - 2.2.2 Typen passieve meters — 17
 - 2.2.2.1 Alfa-track detector — 17
 - 2.2.2.2 Activated charcoal detector — 18
 - 2.2.2.3 Electret — 18
 - 2.3 Detectielimiet en meetonzekerheid — 19
 - 2.4 Meetperiode en meetduur — 21
 - 2.5 Plaatsing van radondetector in de ruimte — 21
 - 2.6 Kosten van radonmeting — 23
 - 2.7 Conclusie — 23

3 Laboratoria voor uitlezen radonmeters — 27

- 3.1 Introductie — 27
- 3.2 Accreditatie — 27
 - 3.2.1 Normen voor het meten van radon — 27
 - 3.2.2 Vergelijkingsonderzoek van passieve radonmeters — 29

4 Burgermetingen — 31

- 4.1 Burgermetingen omtrent radioactiviteit — 31
- 4.2 Radonmetingen in andere Europese landen — 32
- 4.3 Nederlandse situatie — 33

5 Conclusies — 35

6 Bronnen — 37

Bijlage I Relevante artikelen uit wet- en regelgeving — 39

Bijlage II Omschrijving meetonzekerheden track-etch detectoren — 41

Bijlage III Inhoud radonrapport volgens ISO norm — 43

Samenvatting

Radon is een radioactief edelgas dat van nature ontstaat in de bodem en in daarvan gemaakte bouwmaterialen. Vandaar uit kan radon in een woning terecht komen. Inhalatie van de radioactieve stoffen die ontstaan als radon vervalt draagt bij aan het risico op longkanker. Op verzoek van de ANVS heeft het RIVM uitgezocht welke meters en meetmethoden geschikt zijn voor het meten door burgers van de jaargemiddelde radonconcentratie.

Radonmeters kunnen ingedeeld worden in actieve en passieve meters. Bij actieve meters wordt lucht in het meetvolume gepompt. Hiervoor heeft een actieve meter een elektronische/elektrische bron nodig. Bij passieve meters komt de omgevingslucht in het meetvolume terecht door diffusie. Er zijn drie soorten passieve radonmeters: (lange termijn of korte termijn) electrets, (gesloten of open) alfa-track detectoren en activated charcoal detectoren.

Om een zinvolle meting te verkrijgen door burgers moet een radonmeter makkelijk te bedienen zijn en passief te gebruiken. Dit maakt actieve meters niet geschikt voor het meten van radon door burgers. Door variatie in de radonconcentratie binnenshuis is voor het meten van een jaargemiddelde radonconcentratie een lange tijdsgeïntegreerde meting nodig. Een activated charcoal detector en een korte-termijn electret zijn hiervoor niet geschikt.

In Nederland bedraagt de gemiddelde radonconcentratie binnenshuis 15,6 Bq/m³, waardoor een lange-termijn electret door een te hoge detectiegrens ook niet goed bruikbaar is.

Om zoveel mogelijk de storende invloed van thorondochters, temperatuur, stof en vocht op de radonmeting te vermijden, is een gesloten alfa-track detector de meest geschikte meter voor het bepalen van een jaargemiddelde radonconcentratie.

Naast de eisen aan de radonmeters zelf, zijn voor een betrouwbare radonmeting ook de instructies over hoe, waar, wanneer en hoelang te meten van belang. Omdat de radonconcentratie binnenshuis in de winter hoger is dan in de zomer kan het beste in het stookseizoen (oktober tot en met april) gemeten worden. Het is van belang om de radondetector tussen de 1 en 2 meter boven de grond, vrij in de ruimte op te hangen en gedurende de hele meting niet meer te verplaatsen. Hierbij mag de detector niet in de buurt van een warmtebron, looppaden, deuren en ramen, en ventilatie (bijvoorbeeld luchtroosters) worden geplaatst. Om de relatieve meetafwijking bij lage radonconcentraties zo klein mogelijk te houden is een meetduur van minimaal 3 maanden geschikt.

Voor het meten van radon kunnen producenten de detector laten certificeren. Ook de laboratoria waar de meters worden uitgelezen kunnen zichzelf laten certificeren. Dit doen ze door te voldoen aan gestelde normen. Voor het meten van radon en voor het uitlezen en uitwerken van radonmetingen door laboratoria zijn de normen EN-ISO/IEC 17025, NEN-EN-ISO 11665 van belang. Indien de radonmeter aantoonbaar voldoet aan de norm EN-ISO 11655 dan voldoet hij aan de

gewenste basiskwaliteit voor radonmetingen en daarmee ook het uiteindelijke meetresultaat. Als een laboratorium voldoet aan EN-ISO/IEC 17025, dan is voldaan aan de gewenste basiskwaliteit van de uitgevoerde meting, kwaliteitsborging en rapportage.

In meerdere Europese landen rondom Nederland bestaan nationale initiatieven door overheidsinstanties om burgers de mogelijkheid te bieden zelf radonmetingen te doen. Hierbij wordt ook een alfa-track detector gebruikt en sterk gelijkende adviezen over de meetduur (minimaal 2-3 maanden) en meetperiode (tijdens de winter ofwel het stookseizoen). In België, Luxemburg en het Verenigd Koninkrijk worden de radonmetingen van particulieren centraal verzameld en is een interactieve kaart beschikbaar met de meetwaarden. Ook in de wetenschappelijke literatuur zijn voorbeelden te vinden van burgermetingen omtrent radioactiviteit in de leefomgeving.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

Eén van de verplichtingen uit het Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming (Bbs) is het beschikbaar stellen van informatie over blootstelling aan radon en de gezondheidsrisico's daarvan, over het belang van radonmetingen, en over beschikbare technische middelen om bestaande radonconcentraties terug te dringen (art. 5.3¹). In artikel 6.20¹ staat beschreven dat het nationaal actieprogramma radon deze elementen moet bevatten (wat nog verder is uitgewerkt in bijlage 8 van het Bbs). Het nationaal actieprogramma radon zal in 2021 aan de Tweede Kamer worden toegezonden.

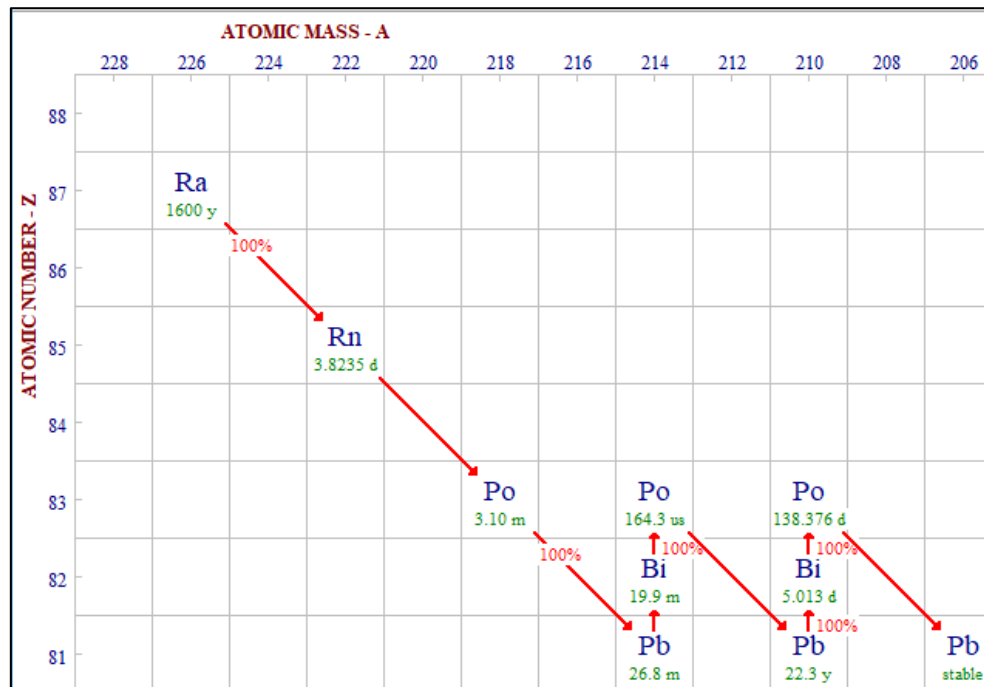
Het RIVM is gevraagd om een overzicht te maken van de beschikbare methoden en type meters waarmee particulieren zelfstandig radonmetingen kunnen (laten) uitvoeren. Daarbij hoort ook een publieksvriendelijke uitleg over dit onderwerp op de website van het RIVM. Dit project voorziet de ANVS van de benodigde informatie om particulieren radon te (laten) meten. Het doel is om een bijdrage te leveren aan de gevraagde informatievoorziening aan de burger.

1.2 Achtergrond

In de bodem en in bouwmaterialen die bodemstoffen bevatten bevindt zich uranium-238. Halverwege de vervalreeks van uranium-238 ontstaat het radioactieve gas radon.

Het element radon behoort tot de groep edelgassen van het periodieksysteem. Dit betekent dat radon nauwelijks reactief is met andere stoffen. Radon is een radioactief element dat vervalt met een halveringstijd van 3,8 dagen, onder het uitzenden van alfadeeltjes. De vervalproducten van radon worden radondochters genoemd en zijn onder andere, radioactief polonium-218 (Po-218), radioactief lood-214 (Pb-214), radioactief bismuth-214 (Bi-214) en radioactief polonium-214 (Po-214). Zie ook Figuur 1. In tegenstelling tot radon zijn deze radondochters niet gasvormig, en hechten zich aan andere deeltjes in de lucht.

¹ Zie bijlage I.



Figuur 1 Ra-226 en de kortlevende vervalproducten van Rn-222 tot en met Po-214. Pb-210 heeft een halveringstijd van 22,3 jaar en groeit vrijwel niet in gedurende het verval van Rn-222.

Radon is een gas dat zich vrij kan bewegen in de omgevingslucht en kan worden ingeademd. Ook de radioactieve dochters zijn aanwezig in de omgevingslucht en kunnen worden ingeademd. Radongas wordt snel weer uitgedemd, maar radondochters kunnen achterblijven in de longen. Door het radioactieve verval van de radondochters zullen zij een bijdrage leveren aan de stralingsdosis in de longen.

Een uitgebreide beschrijving van radon en ook thoron staat in hoofdstuk 2 van RIVM-rapport 2015-0087 over radon in Nederlandse woningen en RIVM Rapport 710401014 Basisdocument Radon (1991) (Vaas, Kal et al. 1991, Smetsers, Blaauboer et al. 2015).

Het meten van radon en thoron is in de afgelopen decennia onderwerp van RIVM-onderzoek geweest. De meest recente meetcampagne in woningen is gedaan in de periode 2013-2014, waarbij de radonconcentratie is gemeten in circa 2500 woningen gebouwd vanaf 1930. De jaargemiddelde radonconcentratie in woningen bedroeg 15,6 Bq/m³. In 0,4% van de woningen werden waarden gevonden tussen de 100 en 200 Bq/m³. Er bestaan ook regionale verschillen, waarschijnlijk door verschillen in bodemsoort, waarbij de hoogste regionale gemiddelde radonconcentratie (circa 40 Bq/m³) werd gemeten in Zuid-Limburg (Smetsers, Blaauboer et al. 2015).

1.3 Afbakening

Het rapport richt zich op een overzicht van:

1. aanbevelingen voor het (laten) meten van radon door particulieren,
2. specificaties van geschikte typen radonmeters,

3. eisen aan geaccrediteerde of gecertificeerde laboratoria voor de uitlezing van deze meters.

Het onderzoek beperkt zich tot meters die betaalbaar zijn voor particulieren, daarbij is uitgegaan van een maximaal bedrag van € 100,- (incl. uitlezing en rapportage van de meting). Er wordt in ieder geval gekeken naar de beschikbare meters binnen Europa. Het RIVM levert expliciet geen lijst met ("goedgekeurde") fabrikanten van radonmeters aan.

1.4 Methode

De benodigde informatie wordt gezocht in eerdere RIVM-rapporten, (inter)nationale literatuur en richtlijnen, en openbare online bronnen. Ook wordt bekeken hoe omliggende Europese landen burgers voorzien van informatie over het meten van radon. Daarnaast wordt ter informatie contact opgenomen met een bedrijf dat op dit moment een service aanbiedt waar particulieren radonmeters kunnen bestellen en laten uitlezen.

1.5 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 bevat een overzicht van radonmeters voor particulieren en de specificaties daarvan. In hoofdstuk 3 staat een overzicht van de normen die van belang zijn voor het meten van radon. Hoofdstuk 4 beschrijft ter illustratie de aanpak van radonmetingen door burgers in ons omringende Europese landen en enkele andere voorbeelden van metingen door burgers op het gebied van radioactiviteit.

2 Radonmeters voor particulier gebruik

Om radon te kunnen laten meten door particulieren is een aantal eisen opgesteld aan radonmeters. Deels zijn dit technische eisen, en deels praktische eisen. Voor de Nederlandse situatie zijn de volgende eisen geformuleerd:

- makkelijk te bedienen / passief te gebruiken zonder batterij te vervangen;
- bepaling van jaargemiddelde radonconcentratie (dat is meestal met langer durende metingen, bijv. 3 of meer maanden);
- Een detectiegrens rond de 10 Bq/m³ die met een zekerheid van 95% kan worden aangetoond
- duidelijkheid over het wel of niet meten van thoron;
- betaalbaar (tot circa €100).

Naast de eisen aan de radonmeters zelf, zijn voor een betrouwbare radonmeting vooral ook de instructies over hoe, waar, wanneer en hoelang te meten van belang (IAEA 2019).

2.1 Invloed van thoron op radonmetingen

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. Net als radon kan (het gasvormige) thoron vrijkomen uit de bodem en/of uit bouwmaterialen, en net zoals radon heeft thoron radioactieve vervalproducten die niet gasvormig zijn. Deze thorondochters hechten zich ook aan deeltjes in de lucht en geven na inademing straling af in de longen. Omdat is gebleken dat thoron een andere rol speelt in de stralingsbelasting, is het van belang om te weten wat de invloed van thoron is op de radonmeting (Blaauboer 2012). Vanwege de korte halfwaardetijd van 55,6 seconden kan thoron alleen vrijkomen uit het buitenste laagje van het moedermateriaal: thoron dat dieper in het materiaal ontstaat, vervalt alweer voordat het bij het oppervlak aankomt. Een ander gevolg van deze korte halfwaardetijd is dat de concentratie van thoron in de lucht in een ruimte niet homogeen is. Daarom is het niet zinvol om thoron te meten zonder de exacte afstand tot de bron te weten. Doorgans wordt daarom de concentratie van een *thorondochter* bepaald. Een thorondochterdetector meet de concentratie van thorondochter polonium-212 (Po-212).

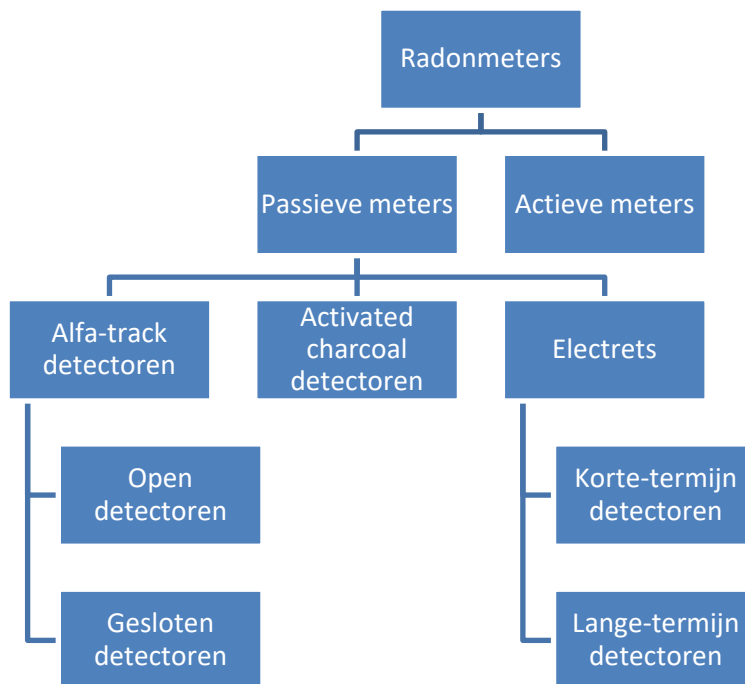
Sommige radondetectoren zijn ook gevoelig voor thoron. Te onderscheiden zijn de volgende drie situaties:

- 1) de detector is niet gevoelig voor thoron, dus de bepaalde radonconcentratie is alleen door radon veroorzaakt;
- 2) de detector is naast radon ook gevoelig voor thoron, maar maakt geen onderscheid tussen radon en thoron, dus de gemeten radonconcentratie is een overschatting en deels te verklaren door de (onbekende) thoronconcentratie;
- 3) de detector is selectief voor zowel radon als thoron. Hierdoor kan een separate thoronconcentratie bepaald worden.

In situatie 1 en 3 kan de detector een betrouwbare radonconcentratie geven, waarbij in situatie 3 ook separaat de thoronconcentratie wordt bepaald. Situatie 2 is onwenselijk, want hierbij wordt het resultaat van de radonmeting vertroebeld door thoron(dochters). Gezien de relatief lage gemiddelde radonconcentratie in Nederland, kan de stralingsbijdrage van thoron relatief hoog zijn. Het is dus van groot belang om te weten of een detector gevoelig is voor thoron, en zo ja, of de detector ook onderscheid kan maken tussen radon en thoron.

2.2 Verschillende type detectoren

In deze paragraaf komen de verschillende typen radondetectoren aan bod. Ten eerste wordt de tweedeling tussen passieve en actieve radonmeters belicht. Daarna worden de verschillende type passieve meters besproken. Een overzicht van de verschillende soorten radondetectoren die besproken worden in deze paragraaf staan weergegeven in Figuur 2.



Figuur 2 Schematisch overzicht van verschillende typen radonmeters die besproken worden in dit rapport. Deze figuur geeft de onderverdeling van actieve meters beperkt weer. De actieve meters kunnen nog verder gespecificeerd worden, maar dat is voor dit rapport niet relevant.

2.2.1 Passieve versus actieve radonmeter

Met passief wordt bedoeld: een luchtmonster komt door diffusie in de meetkamer. Met actief wordt bedoeld: een luchtmonster wordt in het meetvolume gepompt; hiervoor is elektriciteit nodig. Passieve meters hebben geen elektriciteit nodig om te functioneren, en oefenen geen invloed uit op de omgeving door bijvoorbeeld het uitzenden van licht, geluid of straling.

Door de vele fluctuaties in radonconcentraties binnenshuis is een actieve meter niet de aangewezen meter om de jaargemiddelde

radonconcentratie in huis te meten. Dit type meter zou wel gebruikt kunnen worden om een indruk te krijgen van eventuele variaties tussen of binnen verschillende ruimten in een woning, of voor het detecteren van plaatsen waar radon de ruimte binnen treedt. Ook kan de radonconcentratie met actieve detectoren worden gemeten om de effecten van maatregelen om de radonconcentratie te verlagen in beeld te brengen (Cinelli, Cort et al. 2019). Passieve radonmeters zijn zeer geschikt om de jaargemiddelde radonconcentratie te meten of (bij meting korter dan een jaar) te schatten (Rasmussen 2018, Cinelli, Cort et al. 2019). In het vervolg van dit rapport zullen daarom de actieve meters buiten beschouwing worden gelaten, en wordt verder ingegaan op de diverse soorten passieve radonmeters.

2.2.2 *Typen passieve meters*

Passieve radonmeters bestaan in verschillende varianten: detectoren met actief koolstof, alfa-track detectoren en electrets (Normalisatie-instituut 2012). Hieronder wordt van deze typen radonmeters de werking uitgelegd en geschikte situaties voor het gebruik ervan aangegeven (WHO 2009). Een overzicht van de kenmerken van de verschillende passieve radondetectoren staat in Tabel 2.1

2.2.2.1 Alfa-track detector

Een alfa-track detector (ook wel track-etch detector of Solid State Nuclear Track Detector (SSNTD) genoemd) bevat een plastic film voor de detectie van radon(dochters). Deze plastic film is veelal gemaakt van polyallyl diglycol carbonaat (PADC ofwel CR-39), cellulose nitraat (LR-115) of polycarbonaat (Makrofol). Wanneer een alfadeeltje dit filmpje bereikt, ontstaat er een beschadiging, een zogenaamde alfa-track. Nadat de folie is blootgesteld aan stralingsdeeltjes kunnen in een laboratorium met een chemische vloeistof de beschadigingen zichtbaar worden gemaakt. Door het aantal beschadigingen te tellen met een microscoop, bepaalt men de hoeveelheid straling die tijdens de meetperiode op de detector is gevallen (WHO 2009). Alfa-track detectoren zijn niet gevoelig voor achtergrond beta- of gammastraling.

Alfa-track detectoren voor het meten van radon bestaan in twee varianten: een open systeem en een gesloten systeem. Bij een open systeem wordt de film direct blootgesteld aan de omgevingslucht door één of meerdere zichtbare openingen in de behuizing van de detector (zie Figuur 3). Open systemen registreren daardoor de alfadeeltjes afkomstig van zowel radon als thoron en hun dochterproducten in de omgevingslucht.

Bij een gesloten systeem is de film ingesloten in een visueel dichte behuizing. Het radongas kan door de zeer kleine spleet tussen de bodem en de deksel van de behuizing de film bereiken, maar deze kleine spleet functioneert als een hoge diffusie-barrière (Chen and Moir 2012). Hierdoor treedt bijna alleen radongas, dus bijna geen thoron, radon- en thorondochters, de detector binnen. Als radon vervolgens binnen de detector vervalt, ontstaan er radondochters die niet meer uit de detector kunnen ontsnappen.

Straling van thoron (Rn-220) kan de resultaten beïnvloeden van open alfa-track detectoren en in veel mindere mate ook van gesloten alfa-

track detectoren (Chen and Moir 2012). Gesloten alfa-track detectoren zijn zo ontworpen dat radon ($T_{1/2} = 3,82$ dagen) wel in de detector kan doordringen, maar het veel sneller vervallende thoron ($T_{1/2} = 55,6$ s) vrijwel niet. Met andere woorden thoron zal vrijwel geheel vervallen zijn voordat het de detector kan binnenkomen, terwijl radon nog niet significant vervallen is, en wel de detector kan ingaan (IAEA 2015). Het onderzoek van Chen en Moir uit 2012 laat zien dat gesloten alfa-track detectoren een sensitiviteit voor thoron hebben van 1,2%-1,8%, en de open detectoren van 41-75%. Bijvoorbeeld in het geval van 1,2% sensitiviteit betekent dit, dat een werkelijke thoronconcentratie van 100 Bq/m³ foutief gerapporteerd kan worden als een radonconcentratie van 1,2 Bq/m³. Deze 1,2 Bq/m³ afkomstig van thoron wordt in de meetresultaten meegenomen in de gerapporteerde radonconcentratie. In dit onderzoek werden de detectoren wel blootgesteld aan relatief hoge thoronconcentraties van 46-386 Bq/m³ (Chen and Moir 2012). In de Nederlandse meetcampagne van 2013-2014 in woningen is een jaargemiddelde thoronconcentratie (gemeten met thorondochterdetectoren) gevonden van 0,64 Bq/m³ (Smetsers, Blaauboer et al. 2015).

2.2.2.2 Activated charcoal detector

Een activated charcoal detector is een kleine (indien gesloten, luchtdichte) container of zak met geactiveerd koolstof. Wanneer de container of zak wordt geopend, kan radongas (Rn-222) uit de omgevingslucht geadsorbeerd worden op actieve plaatsen in de koolstof. De detector kan open zijn of een diffusie-barrière bevatten. Het gebruik van een diffusie-barrière vermindert de beïnvloeding van de meting door tocht en vochtigheid (IAEA 2015, Cinelli, Cort et al. 2019).

Zodra radon is geadsorbeerd door de koolstof begint het te vervallen. Vanwege de halfwaardetijd van radon van 3,82 dagen wordt het bepalen van de radonconcentratie met de gewenste nauwkeurigheid moeilijk na ongeveer een week (WHO 2009). Dit type detector is met name geschikt voor een kortdurende screenende meting, bijvoorbeeld om een indicatie te geven van het effect van remediërende maatregelen (IAEA 2015, Cinelli, Cort et al. 2019).

Na het terugsturen van de detector naar het laboratorium wordt de radonconcentratie bepaald door gebruik te maken van gammaspectrometrie. De gammadetector meet meestal de gammastraling die wordt uitgezonden door twee vervalproducten van radon, te weten Pb-214 en Bi-214 (Cinelli, Cort et al. 2019). De gammastraling die de vervalproducten van thoron uitzenden hebben een andere energie dan de gammastraling die de vervalproducten van radon uitzenden. Hierdoor heeft thoron geen invloed op het meetresultaat.

2.2.2.3 Electret

Een derde type passieve radonmeter is een electret. Een electret is het elektrische analogon van een permanente magneet, dat een electrostatisch geladen schijfje gebruikt om de radonconcentratie te meten. De electret zit in een kleine ionisatiekamer en radon kan door een filter in de kamer diffunderen. De door radon of radondochters uitgezonden geladen alfadeeltjes ioniseren de lucht in de ionisatiekamer en veroorzaken een kleine stroom. Het spanningsverlies na een bekende blootstellingsduur is een maat voor de radonconcentratie gedurende die

periode. Het in de electret aanwezige filter zorgt ervoor dat zowel de in lucht aanwezig radonochters als thoron en thoronochters niet in het meetvolume kunnen diffunderen. Net als bij de alfa-track detector zal de thoron vrijwel geheel vervallen zijn voordat het de detector kan binnenkomen (Kotrappa 2010).

De achtergrond(gamma)straling kan de metingen beïnvloeden, dus daarvoor moet worden gecorrigeerd. Er bestaan zowel korte-termijn detectoren (meetduur 2-7 dagen), als lange termijn detectoren (meetduur tot 12 maanden) (Cinelli, Cort et al. 2019). De tijdsduur dat een meter gebruikt kan worden, is afhankelijk van de gevoeligheid van de meter en de inhoud van de kamer. Een hoog gevoelige meter met een kamerinhoud van 50 ml kan bij een gemiddelde activiteitsconcentratie van 200 Bq/m³ 12 dagen gebruikt worden. Een laaggevoelige meter met een kamerinhoud van 210 ml kan bij een gemiddelde activiteitsconcentratie van 200 Bq/m³ > 100 dagen gebruikt worden (Normalisatie-instituut 2012). Typisch zijn electrets geschikt om radonconcentraties van circa 150 Bq/m³ te meten (WHO 2009).



Figuur 3 Voorbeelden van radonmeters: A open alfa-track detector, B gesloten alfa-track detector, C activated charcoal detector, D electret.

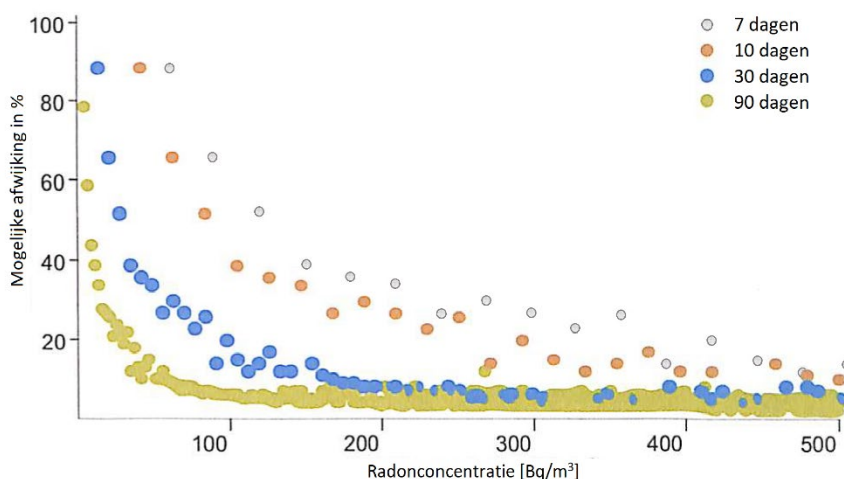
2.3 Detectielimiet en meetonzekerheid

Bij het kiezen van een radonmeter, het meten van radon en het interpreteren van de meetresultaten, is het belangrijk de detectielimiet en meetonzekerheid in acht te nemen. De detectielimiet is doorgaans uitgedrukt in een minimal detectable concentration (MDC) of minimal detectable activity (MDA).

In verband met de detectielimiet is het voor de detectorkeuze belangrijk om vooraf te weten wat de verwachte gemeten radonconcentratie is. In

Nederland is de gemiddelde radonconcentratie in woningen 15,6 Bq/m³ (Smetsers, Blaauboer et al. 2015). Het vastgestelde referentieniveau in Nederland is 100 Bq/m³.²

Iedere gemeten radonwaarde heeft een onzekerheid. Deze meetonzekerheid hangt in relatieve zin af van de meetduur en van de meetwaarde. Dit is zichtbaar in Figuur 4 (Rasmussen 2018). Bij hoge radonconcentraties is de procentuele meetafwijking kleiner dan bij lage radonconcentraties. En de procentuele meetafwijking is kleiner bij een langere meetduur dan bij korte meetduur. Vergelijk bijvoorbeeld de oranje bolletjes van 10 dagen meten met de gele bolletjes van 90 dagen meten. Bij radonconcentraties <100 Bq/m³ zijn deze verschillen het grootst, en bij heel lage radonconcentraties kan de meetonzekerheid zelfs bijna even groot zijn als de meetwaarde zelf (procentuele afwijking van 80-90% in de grafiek).



Figuur 4 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 2018)).

De meetresultaten worden omgerekend naar de jaargemiddelde radonconcentratie (Bq/m³). Hiervoor moet de meetduur (in uren) bekend zijn waarin de radonconcentratie is gemeten. Een onzekerheid in de meetduur werkt door in de onzekerheid in de gerapporteerde radonconcentratie. Het is daarom dus van groot belang om de startdatum en einddatum van de meting nauwkeurig te noteren.

Andere omstandigheden die metingen kunnen beïnvloeden zijn onzekerheden bij het kalibreren van de radonmeters, kwaliteit van het detectormateriaal (deze kan verschillen per batch en per leverancier), variaties in chemische samenstelling van het detectormateriaal, grootte en concentratie van het detectormateriaal, inhoud van de kamer, inconsistentie bij het uitlezen van de detectoren en chemische verandering van het detectormateriaal bij lang durende metingen³ (Normalisatie-instituut 2012, Cinelli, Cort et al. 2019).

² Artikel 9.10 Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming

https://wetten.overheid.nl/BWBR0040179/2018-07-01/#Hoofdstuk9_Afdeling9.3_Artikel9.10

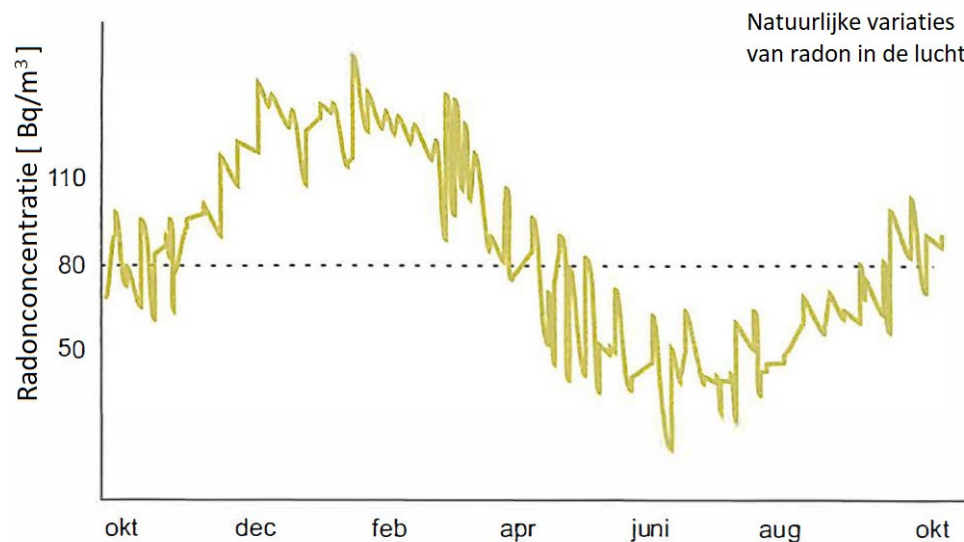
³ Een overzicht van deze onzekerheden voor de track-etch detectoren is weergegeven in bijlage II

2.4 Meetperiode en meetduur

Radonconcentraties kunnen sterk variëren - per uur, per dag en per maand. Daarom zijn langdurige metingen ter bepaling van de jaargemiddelde radonconcentratie nodig (IAEA 2015).

Typisch is de radonconcentratie binnenshuis in de winter hoger dan in de zomer (zie ook Figuur 5). Dit komt deels door weersomstandigheden, maar ook door ventilatiegedrag. In het algemeen is er in Nederland in de winter minder vaak en/of korter natuurlijke ventilatie via open ramen, waardoor de radonconcentratie in de ruimte kan oplopen. Bovendien kan de radonconcentratie binnenshuis oplopen door het zogenaamde 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 (IAEA 2019).

Een jaargemiddelde radonconcentratie is het beste te bepalen door een jaar lang te meten. Om praktische redenen is een kortere meetduur vaak wenselijk. In dat geval kan het beste in het stookseizoen (oktober tot en met april) worden gemeten, en gedurende minimaal drie maanden gezien de relatieve meetafwijking bij lage radonconcentraties (zie ook paragraaf 2.3). Eventueel kan een correctiefactor worden toegepast voor het meetseizoen (IAEA 2019).



Figuur 5 Weergave van de natuurlijke variaties van radonconcentratie in de lucht in Denemarken. Het radongehalte in de binnenlucht varieert gedurende de dag en het jaar. De variatie hangt af van luchtdruk, temperatuur en ventilatiecondities (figuur ontleend aan (Rasmussen 2018)).

2.5 Plaatsing van radondetector in de ruimte

De radonconcentratie kan in huis van kamer tot kamer variëren. Het kan kostbaar zijn om iedere kamer te meten en daarom is een zinvol compromis het bemeten van de twee ruimten die het meest worden gebruikt. Doorgaans zijn dat de woonkamer (vaak op de begane grond)

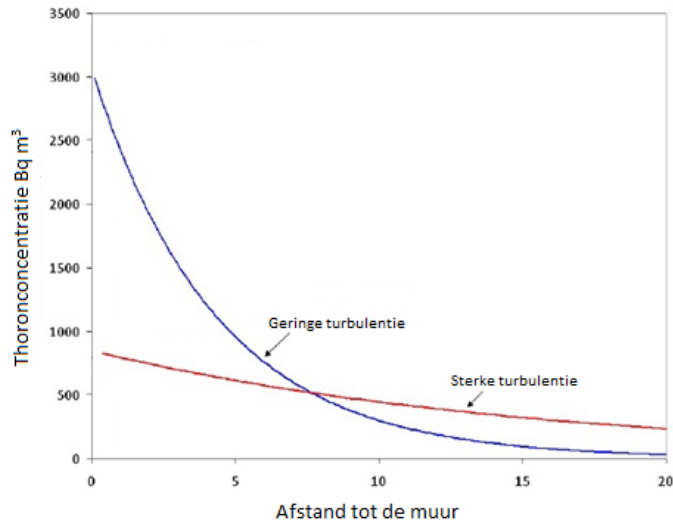
en een slaapkamer (veelal op een etage). Bij radonmetingen in woningen zonder ruimte die in direct contact staan met de grond (bijvoorbeeld woningen in flats of bovenwoningen) kan meestal met één radonmeter in één kamer worden volstaan (IAEA 2019).

Het is belangrijk dat de ruimte waarin wordt gemeten, gedurende minimaal 75% van de meetperiode normaal in gebruik is (wat betreft woon- en ventilatiegedrag) en niet geheel leegstaat. Dit is omdat de temperatuur en luchtverversing (bijvoorbeeld door openen en sluiten van ramen en deuren) vaak afhangen van het al dan niet gebruiken van een ruimte of gebouw. Het is namelijk de bedoeling dat de meting van de radonconcentratie een weerspiegeling is van de radonconcentratie tijdens normaal gebruik.

Radonmeters moeten volgens ISO 11665-1 tussen de één en twee meter boven de grond of (verdiepings)vloer worden geplaatst. Daarnaast moet het plaatsen van de radondetector ook voldoen aan de volgende omstandigheden:

- De radondetector wordt geplaatst op een oppervlakte waarbij 20cm rondom de detector vrij is, om de invloed van thoronexhalatie uit de muur te beperken (zie Figuur 6);
- De detector moet niet geplaatst worden in de buurt van een warmtebron (radiator, kachel, schoorsteen, elektronische apparaten, televisie, lichtbron etc.) of in direct zonlicht. Omdat dit de sensitiviteit van radondetector beïnvloed (Wasikiewicz 2018);
- De detector mag niet geplaatst worden in de buurt van looppaden, deuren en ramen en natuurlijke ventilatie (bijvoorbeeld luchtrooster). Om de invloed van luchtverplaatsing op de radonconcentratie te beperken. Zo adviseert (Rasmussen 2018) om een radondetector bij voorkeur op minimaal 1,5 meter van een luchtinlaat te plaatsen;
- De detector mag tijdens het meten niet worden verstoord (werkzaamheden, nieuwsgierigheid, etc.). De omstandigheden van het meten moeten zoveel mogelijk hetzelfde blijven;
- voorkom dat de detector beschadigd wordt.

Het beste is dus om de radondetector tussen de 1 en 2 meter boven de grond, vrij in de ruimte op te hangen en gedurende de hele meting niet meer te verplaatsen.



Figuur 6 Voorbeeld van gemeten thoronconcentraties in Bq/m^3 op verschillende afstanden van de muur in cm (figuur ontleend aan (Blaauboer 2012)).

2.6 Kosten van radonmeting

De prijs van passieve radondetectoren varieert. Een enkele detector kost tussen de €20 en €100. Hierin zit meestal het ontvangen van de detector, het uitlezen van de detector in het laboratorium en de rapportage. De kosten voor het (terug)sturen van de detector naar het laboratorium is niet altijd meegenomen in deze prijs.

2.7 Conclusie

Door variatie in de radonconcentratie binnenshuis is voor een betrouwbare risico-inschatting een lange tijdsgeïntegreerde radonmeting nodig. Hiervoor is een gesloten alfa track detector het meest geschikt. In tegenstelling tot een open alfa track detector wordt met een gesloten alfa trackdetector de storende invloed van thoron(dochters) op een radonmeting zo veel mogelijk vermeden. Een activated charcoal detector en een korte-termijn electret zijn niet geschikt voor een lange tijdsgeïntegreerde radonmeting. De gemiddelde radonconcentratie binnenshuis in Nederland bedraagt $15,6 Bq/m^3$. Hierdoor is een lange-termijn electret ook niet goed bruikbaar, omdat deze een te hoge detectielimiet heeft. Een overzicht van de kenmerken van de verschillende passieve radondetectoren staat in Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Overzicht van passieve radondetectoren. De verschillende soorten passieve radondetectoren zijn beoordeeld op meerdere eigenschappen. Voor een aantal eigenschappen wordt gebruik gemaakt van de volgende schaal: goed(+) matig(+/-) slecht(-).

	Gestelde eis	Electret (korte termijn)	Electret (lange termijn)	Alfa-track detector closed	Alfa-track detector open	Charcoal
Geschikt voor het bepalen van een jaargemiddelde radonconcentratie	> 3 maanden	- (2-7 dagen)	-/+ (tot 12 maanden)*	+ (1-12 maanden)	+ (1-12 maanden)	- (2-7 dagen)
Gebruiksgemak	makkelijk te bedienen / passief te gebruiken	+	+	+	+	+
Detectielimiet volgens ISO 11665-4	$\pm 10 \text{ Bq/m}^3$	$< 20 \text{ Bq/m}^3$	Niet beschikbaar in ISO-11665-4	$< 13 \text{ Bq/m}^3$	Niet beschikbaar in ISO-11665-4	$< 6 \text{ Bq/m}^3$
Selectiviteit	Voornamelijk of alleen radon	Hoog, voornamelijk radon.	Hoog, voornamelijk radon.	Hoog, voornamelijk radon	Laag (radon en thoron en hun dochternucliden)	Hoog, voornamelijk radon
Is er een ISO norm beschikbaar?	ISO 11665-4	Ja (ISO 11665-4)	Ja (ISO 11665-4)	Ja (ISO 11665-4)	Ja (ISO 11665-4)	Ja (ISO 11665-4)
Is er een gecertificeerd lab voor het uitlezen van de detectoren?	ISO 17025	Ja (ISO 17025)	Ja (ISO 17025)	Ja (ISO 17025)	Ja (ISO 17025)	Ja (ISO 17025)
Prijs per stuk	< €100	< €100	< €100	< €100	< €100	< €100
Onzekerheids budget ⁴	bekend	Bekend (+)		Bekend (+)	Evenwichtsfactor (radon/radondochters) is niet voor iedere meetomgeving bekend (+/-)	Bekend (+)

⁴ Variabelen die samen bijdragen aan de meetonzekerheid van de jaargemiddelde radonconcentratie. Bij het meten van een gas, zoals radon, spelen invloeden van bijvoorbeeld drukverschillen tussen binnen- en buitenmilieu, luchtvochtigheid, temperatuur, kalibratieonzekerheden en ingroei en verval van radon en radondochters een rol.

	Gestelde eis	Electret (korte termijn)	Electret (lange termijn)	Alfa-track detector closed	Alfa-track detector open	Charcoal
Onzekerheid volgens ISO-11665-4 (Normalisatie-instituut 2012)	Geen eis gesteld	$C = 180 \pm 15 \text{ Bq/m}^3$ voor een electret met een hoge gevoeligheid en een ionisatie kamer inhoud van 50 ml (Bij een meettijd van 336 uur)	Niet beschikbaar in ISO-11665-4	$C = 446 \pm 65 \text{ Bq/m}^3$ voor een alpha track detector met een detector oppervlak van $1 \pm 1 \text{ cm}^2$ (Bij een meettijd van 90 dagen)	Niet beschikbaar in ISO-11665-4	$436 \pm 43 \text{ Bq/m}^3$ voor een charcoaldetector met 100 g geactiveerd koolstof (bij een meettijd van 3 dagen)
Onzekerheid volgens WHO**	Geen eis gesteld	8-15%		10-25%		10-30%
Uitleessysteem	Geen eis gesteld	Verschilmeting in spanningsverlies. Bij het blootstellen van de detector aan radon is het spanningsverlies groter dan wanneer de detector niet blootgesteld wordt.		Geautomatiseerd beschadigingen (putjes) tellen		Het meten van de gammastraling uitgezonden door Radonochters, Pb-214 en Bi-214, met gammaspectrometrie
Gevoelig voor achtergrondstraling	Geen eis gesteld	Ja (gammastraling)	Ja (gammastraling)	Nee	Nee	Ja***
Gevoeligheid voor stof, vocht, temperatuur	Geen eis gesteld	Hoog (-)	Hoog (-)	Laag (+)	Tamelijk (+/-)	Hoog (+/-)****
Robuustheid tegen stoten	Geen eis gesteld	-	-	+/-	+/-	+/-

* De meettijd is afhankelijk van de gevoeligheid van de detector en de inhoud van de ionisatiekamer in de detector (bij een hoge gevoeligheid is de meettijd korter)

** Bij optimale meetduur en bij radonconcentratie van circa 200 Bq/m^3 (WHO 2009).

*** gammastraling van de radonochters die van nature aanwezig zijn in de ruimte waar de gammaspectrometrie wordt uitgevoerd.

**** De detector kan open zijn of een diffusie-barrière bevatten. Het gebruik van een diffusie-barrière vermindert de beïnvloeding van de meting door tocht en vochtigheid

3 Laboratoria voor uitlezen radonmeters

3.1 Introductie

Nadat een passieve radondetector een aantal weken tot een jaar in een ruimte heeft gehangen, wordt deze retour gestuurd naar de leverancier. De leverancier zorgt ervoor dat de detector wordt uitgelezen in een laboratorium. Bij een alfa-track detector telt het laboratorium het aantal beschadigingen dat is ontstaan op de folie in de detector en rekent daaruit de radonconcentratie in een ruimte terug.

Binnen Europa bieden verschillende bedrijven en instanties passieve radonmeters aan. Een aantal leveranciers lezen de detectoren uit in hun eigen laboratorium. Daarnaast zijn er leveranciers die de radonmeter bij een extern laboratorium laten uitlezen. De plaats van uitlezing is niet bij alle leveranciers duidelijk vermeld op hun website.

Vaak melden leveranciers of laboratorium op hun website of in hun brochure wel als ze voldoen aan een norm en hiervoor een accreditatie hebben ontvangen. In dit hoofdstuk bespreken we welke normen van belang zijn voor het uitlezen en meten van radon met een passieve detector.

3.2 Accreditatie

Zowel wereldwijd, als in Europa en op landelijk niveau worden afspraken gemaakt over specificaties van bijvoorbeeld materialen, producten, meetmethoden en processen. Deze afspraken worden vastgelegd in normen. Het doel van deze normen is het creëren van uniformiteit en duidelijkheid. Ook voor het meten van radon kunnen producenten radonmeters of laboratoria zichzelf laten certificeren door te voldoen aan gestelde normen.

3.2.1 *Normen voor het meten van radon*

Voor het meten van radon en voor het uitlezen en uitwerken van radonmetingen met een passieve meter door laboratoria zijn de normen EN-ISO/IEC 17025, NEN-EN-ISO 11665 van belang. Waarbij NEN-EN-ISO 11665 bijdraagt aan de kwaliteit van de radonmeter en de uiteindelijke meetresultaten. De norm EN-ISO IEC 17025 specificeert de algemene eisen voor de competentie, onpartijdigheid en consistente bedrijfsuitoefening van laboratoria en garandeert daarmee de kwaliteit van metingen en rapportages in een laboratorium.

NEN-EN-ISO 11665

De norm 11665 is een norm die richtlijnen geeft voor het meten van radon-222 activiteitsconcentratie en de potentiële alfa- energieconcentraties van zijn kortlevende-dochters in lucht . De norm is verdeeld in 12 delen en van toepassing op drie soorten meetmethodes:

1. Momentmetingen (spotmetingen), geven een waarde op het moment dat de meting wordt uitgevoerd.
2. Geïntegreerde metingen, geven een gemiddelde waarde voor een meetperiode.

3. Continue metingen, geven een waarde door continue bemonstering en analyse.

Een overzicht van de 12 delen van ISO 11665 staat weergegeven in Figuur 8. Voor de meetmethode zoals beschreven in hoofdstuk 2 (lange tijdsgeïntegreerde radonmeting) zijn de delen 1 en 4 van belang. Deel 1 is een algemene uitleg over de oorsprong van radon en de kortlevende vervalproducten en aanverwante meetmethode (Normalisatie-instituut 2019). Deel 4 gaat over geïntegreerde meetmethoden voor de bepaling van gemiddelde radon activiteitsconcentratie met behulp van passieve bemonstering en vertraagde analyse.

Indien een radonmeter aantoonbaar voldoet aan ISO 11665-4 wil dit zeggen dat de leverancier van de meter (Normalisatie-instituut 2012):

- een indicatie geeft voor het bepalen van de gemiddelde activiteitsconcentratie radon in de lucht op basis van metingen met gebruiksvriendelijke en goedkope passieve meters;
- rekening houdt met de gebruiksomstandigheden van de meters. Omstandigheden die invloed kunnen hebben op het meten van activiteitsconcentratie radon zijn vochtigheid, temperatuur, ventilatie;
- gebruik maakt van een kalibratiefactor die bepaald is met een gestandaardiseerde methode. De kalibratiefactor is de relatie tussen de fysische gemeten waarden door de radondetector en de bekende activiteitsconcentratie van radon in een referentie-atmosfeer of van een referentiebron;
- regelmatig een test laat uitvoeren om ervoor te zorgen dat metingen geschikt blijven voor het gebruik. Deze test kan een interne kwaliteitstest, een externe bekwaamheidstest, een validatietest of een vergelijkingstest tussen verschillende laboratoria bevatten;
- gebruik maken van gestandaardiseerde methode voor het bepalen van het achtergrondsignaal. Achtergrondsignaal is signaal dat veroorzaakt wordt door iets anders dan de straling die men wil meten;
- dat ze metingen nemen over een tijdsperiode van een paar dagen tot een jaar. Deze tijdsperiode mag niet onderbroken worden;
- De gemiddelde activiteitsconcentratie van radon, de meetonzekerheid⁵ en de detectielimiet bekend zijn en volgens gestandaardiseerde rekenmethode bepaald;
- aangeven of de detector geschikt is voor het bepalen van een jaar gemiddelde jaarconcentratie;
- een meetmethode gebruiken die geschikt is voor luchtmonsters met een radonconcentratie groter dan 5 Bq/m³;
- standaardinformatie opnemen in hun laboratorium rapport. Deze standaardinformatie staat in Bijlage III.

EN-ISO/IEC 17025:2018

De norm 17025 specificeert de algemene eisen voor de competentie, onpartijdigheid en consistente bedrijfsuitoefening van laboratoria

⁵ de onzekerheid van het oppervlak die gebruikt wordt voor het tellen van het aantal "etched tracks" in vierkantemeter (tracks per m²) en de onzekerheid van de kalibratiefactor, aantal tracks per vierkante meter per becquerel uur per kubieke meter (tracks per m² per Bq x h per m³).

(Normalisatie-instituut 2018). In Figuur 7 staat een voorbeeld van een beeldmerk voor deze norm. De norm omvat testen en kalibraties uitgevoerd volgens gestandaardiseerde methoden, niet-gestandaardiseerde methoden en methoden die in het laboratorium zijn ontwikkeld. Indien een laboratorium aantoonbaar voldoet aan ISO 17025 voldoen ze aan de gewenste basiskwaliteit van de uitgevoerde metingen en rapportage. ISO 17025 is altijd gekoppeld aan een andere



Figuur 7 Beeldmerk van ISO-accreditatie van een website voor radonmeters.

norm. Deze norm gaat over een meting die het laboratorium uitvoert. Alleen ISO 17025 zegt dus niet direct iets over het goed uitvoeren van radonmetingen. Als ISO 17025 gekoppeld is aan een norm die gaat over het uitvoeren van radonmetingen dan zegt dit wel iets over het goed uitvoeren van radonmetingen.

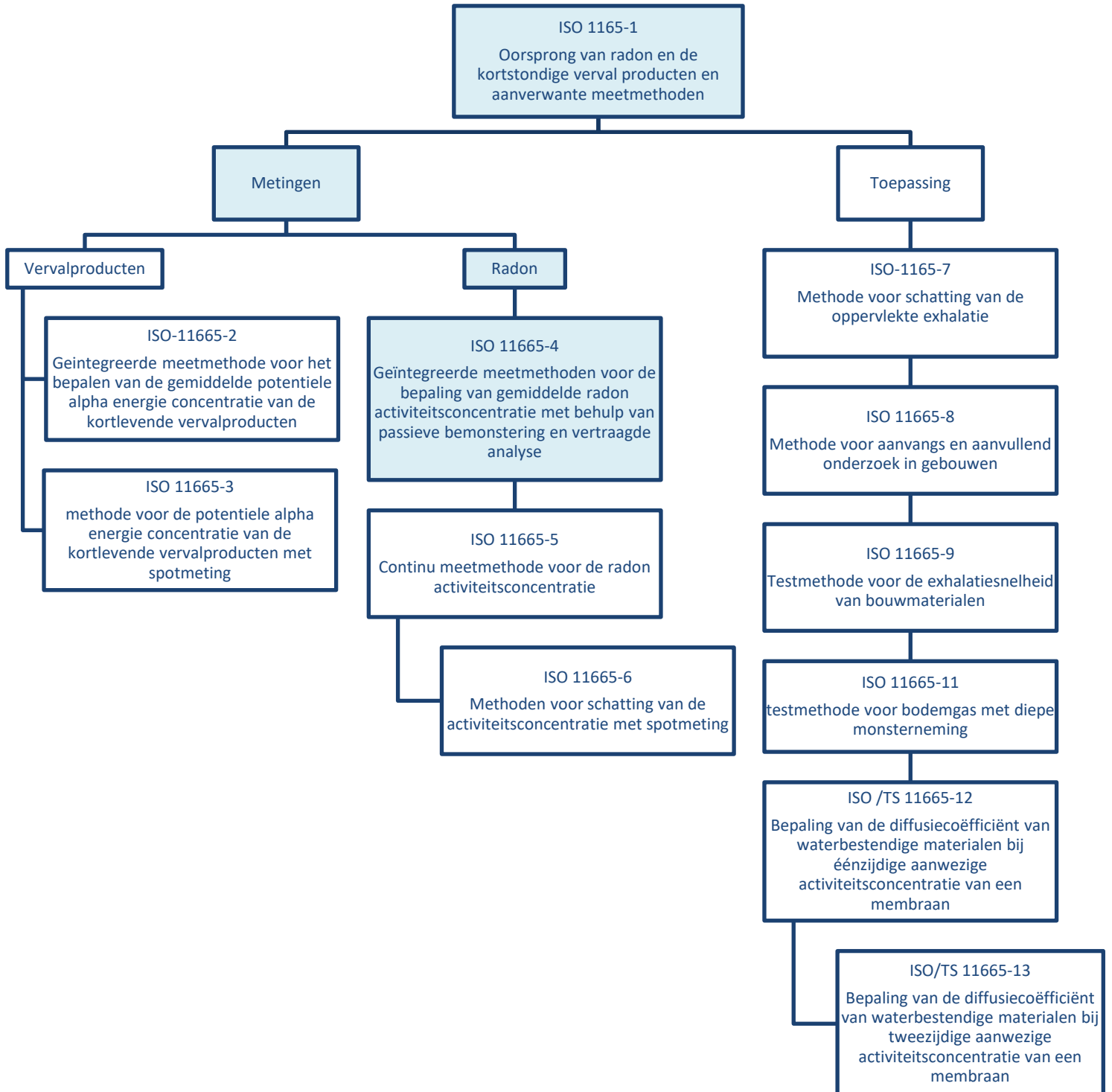
3.2.2 *Vergelijkingsonderzoek van passieve radonmeters*

Een kalibratielaboratorium beschikt over één of meer kamers waarvan de omstandigheden (dat wil zeggen de radon-activiteitsconcentratie, temperatuur, vochtigheid, aerosolen etc.) in de atmosfeer bekend zijn. Ook kunnen deze omstandigheden worden aangepast. Een kalibratielaboratorium is daarom geschikt voor het uitvoeren van verschillende testprocedures voor radondetectoren.

Eén van deze testprocedure is een vergelijkend laboratoriumonderzoek. Hierbij sturen meerdere laboratorium een aantal passieve radondetectoren op naar een kalibratielaboratorium. Deze detectoren worden blootgesteld aan bekende radonconcentraties. Vervolgens worden de detectoren teruggestuurd naar het laboratorium voor het uitlezen. De resultaten van deze uitlezing worden vergeleken met de bekende radonconcentraties.

De uitslagen van het vergelijkingsonderzoeken worden door het kalibratielaboratorium gepubliceerd in een rapport. Ook staat in dit rapport welke laboratoria hebben meegedaan aan het vergelijkingsonderzoek en het soort detector dat ze hiervoor hebben ingestuurd (Friedrich, Foerster et al. 2019, Miller and Howarth 2020). Het Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) in Duitsland en de Public Health Engeland (PHE) voeren vergelijkingsonderzoeken tussen verschillende laboratorium uit (PHE 2018, BfS 2020). Daarnaast erkent het Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) een aantal aanbieders die radonmetingen op werkplekken uitvoeren (BfS 2020). Aanbieders van radonmetingen worden erkend als ze een geschikt meetinstrument

leveren, beschikken over apparatuur en procedures voor evaluatietesten, een passend kwaliteitsborgingsysteem hebben en deelnemen aan de kwaliteitsborgingsmetingen van het BfS.



Figuur 8 Overzicht van de delen van ISO 11665. De relevante delen voor het meten van een gemiddelde radonactiviteitsconcentratie met een passieve meter zijn blauw gearceerd.

4 Burgermetingen

Burgermetingen betreffen metingen die geheel of gedeeltelijk wordt gedaan door burgers, vaak in samenwerking met, of onder begeleiding van professionele wetenschappers. Een bekend voorbeeld is de tuinvogeltelling van Vogelbescherming Nederland⁶. Een ander voorbeeld is het meten van fijnstof door middel van een opzetstukje op een mobiele telefoon, het iSPEX-project⁷. Dit hoofdstuk beschrijft een aantal voorbeelden van burgermetingen omtrent radioactiviteit, en een overzicht van de nationale aanpak van radonmetingen door burgers in ons omringende landen.

4.1 Burgermetingen van radioactiviteit

Op het gebied van radioactiviteit kunnen burgers ook metingen doen. Met de huidige stand van de technologie kan door smartphones te koppelen aan meetapparatuur makkelijk geo-located data worden verzameld. Bijvoorbeeld na het reactorongeval in Fukushima is dit ook gebeurd. Onvrede over de beperkte informatie die de Japanse overheid naar buiten bracht, leidde burgers ertoe om zelf straling te gaan meten (Normile 2011). Hieruit is het Safecast project ontstaan⁸. Inmiddels is dit uitgegroeid tot een grote non-profit organisatie die burgers wereldwijd helpt om luchtkwaliteit in het algemeen te meten.

In Frankrijk is in 2017 het OpenRadiation project gestart (Bottollier-Depois, Allain et al. 2019). Hierin wordt aan het publiek de mogelijkheid geboden om straling te meten met een dosimeter gekoppeld aan een smartphone. Het systeem is ontworpen om zowel in een normale situatie, als in een noodsituatie, te kunnen functioneren, en bestaat uit een website en een app om dosistempo te kunnen meten. Verschillende soorten dosimeters kunnen aangesloten worden op de smartphone, waaronder ook een zelfbouwkit. Doordat de smartphone gebruikt wordt voor de metingen en het uploaden naar de database, kunnen direct andere data worden meegestuurd, zoals locatie, datum en tijd, meetduur, en type meter. Daarnaast moet de gebruiker nog meerdere gegevens zelf invullen om mee te sturen, waaronder weersomstandigheden en aanvullende gegevens over de locatie (binnen/buiten, leefniveau/vlieghoogte). In de publicatie uit 2019 over het OpenRadiation project staat beschreven dat circa 90 gebruikers wereldwijd meer dan 115.000 metingen hebben geüpload.

Bij het betrekken van burgers bij het doen van metingen kan het zijn dat de steekproef niet representatief is voor het gebied van interesse. Geïnteresseerde deelnemers aan het project zijn mogelijk vooral diegenen, die vermoeden dat ze hoge waarden zullen meten op basis van hun woonomgeving of woning. Wetenschappers in Israël hebben een radonmeetmethode ontwikkeld die gebruikt kan worden door scholieren (thuis) (Tsapalov, Kovler et al. 2020). Voordeel is dat deze groep van burgerwetenschappers een meer random steekproef geeft.

⁶ www.tuintelling.nl

⁷ www.ispex.nl

⁸ www.safecast.org

Bovendien zijn de metingen op deze manier vaak representatief voor de bevolkingsdichtheid.

Het systeem van radonmetingen zoals toegepast door scholieren in de paper van Tsapalov et al. maakt gebruik van een kortdurende meting met een charcoal detector. De database voor het verzamelen van de gegevens en het doen van analyses is een cloud-based applicatie ("RadonTest" online⁹), die overal ter wereld gebruikt kan worden, ook met metingen van andere type radonmeters (Tsapalov, Kovler et al. 2020). Dit wordt door de auteurs ook aangemoedigd. Het betrekken van scholieren of studenten lijkt ook een goede manier om informatie over radon te verspreiden en de bewustwording te vergroten.

4.2 Radonmetingen in andere Europese landen

In Tabel 4.1 Overzicht van adviezen over, en mogelijkheden voor radonmetingen door particulieren in enkele omliggende landen. In Tabel 4.1 staat een overzicht van de radonmeetservices zoals die nationaal aangeboden of geadviseerd worden door een overheidsinstantie in enkele andere West-Europese landen. België, Luxemburg, Frankrijk en Duitsland hebben van nature een hogere gemiddelde radonconcentraties dan Nederland, omdat de bodem daar, bijvoorbeeld de rotsen in de Ardennen, doorgaans meer uranium bevat. Denemarken is deels wat betreft geologie en radonconcentratie vergelijkbaar met Nederland.

De zes landen weergegeven in Tabel 4.1 adviseren allemaal een alfa-track detector te gebruiken. Daarbij is helaas via de website of downloadbare documenten veelal niet met zekerheid vast te stellen of dit een open of een gesloten alfa-track detector betreft. Een lijst met laboratoria voor het uitlezen van de meters is niet altijd gegeven, bijvoorbeeld niet in Denemarken of Luxemburg. In België kan men de radonmeter na gebruik terugsturen aan het FANC, dat voor de uitlezing zorgt, dus men hoeft niet zelf een laboratorium te zoeken. In Duitsland daarentegen, voorziet het BfS burgers van een lijst met erkende meetdiensten waar radonmeters besteld en/of uitgelezen kunnen worden.

De aanbevolen periode en tijdsduur voor radonmetingen zijn zeer vergelijkbaar. In Denemarken en Frankrijk wordt een minimale meetduur van 2 maanden aangehouden, zoals ook beschreven staat in ISO 11665. In België, Duitsland, Luxemburg en het Verenigd Koninkrijk wordt drie maanden gehanteerd. Meestal wordt hierbij vermeld dat gemeten moet worden tijdens het stookseizoen, zoals ook besproken in paragraaf 2.4.

De prijs van de radonmeters (inclusief uitlezing) wisselt. In Luxemburg is het helemaal gratis. Het Verenigd Koninkrijk lijkt het duurste, maar in het pakket zitten wel 2 detectoren (voor 2 ruimten). Ook is het in het VK mogelijk om eerst voor £3.90 een risicorapport op te vragen. Daarin staat vermeld of de woning in een zogenaamde Radon Affected Area staat, waar minimaal 1% van de woningen een radonconcentratie >200 Bq/m³ heeft.

In België, Luxemburg en het Verenigd Koninkrijk worden de gemeten radonwaarden niet alleen aan de particulier medegedeeld, maar ook centraal opgeslagen. Op de website van respectievelijk het FANC en de

⁹ <https://radontest.online/>

Direction de la Santé is een interactieve kaart zichtbaar, met per regio onder andere het aantal metingen en de gemiddelde radonconcentratie. De hoeveelheid samengebrachte metingen groeit hierdoor met de tijd.

4.3 Nederlandse situatie

Het geven van informatie over de mogelijkheden om radon op een betrouwbare manier in de eigen woning te meten is een verplichting vanuit de Europese Unie. Dit is ook van belang omdat bewoners in Nederland iedere dag voortdurend bloot worden gesteld aan radon¹⁰, waarbij een belangrijk deel van deze blootstelling plaatsvindt in de eigen woonsituatie. Het meten van radon is voor burgers een startpunt om zelf invloed uit te oefenen op radon(blootstelling) in hun leefomgeving. Indien deze metingen centraal geregistreerd worden, kan de data bijdragen aan het in kaart brengen van de verdeling van de radonconcentratie in Nederland.

Op dit moment kunnen gesloten alfa-track detectoren voor het meten van radon in Nederland besteld worden bij Mirion¹¹. Bij het bestellen van een meter worden instructies over de plaatsing, de meetperiode en het retoursturen van de meter meegestuurd. De radonmeters van Mirion worden na het meten uitgelezen bij Radonova laboratoires in Zweden¹¹.

In eerdere meetcampagnes van het RIVM zijn ook radonmeters van Radonova¹² gebruikt (Smetsers, Blaauboer et al. 2015). Radonova biedt twee soorten gesloten alfa-track detectoren aan. Eén is geschikt voor een meting van 10 tot 90 dagen (Rapidus) en één is geschikt voor een meting van 90+ dagen (Radtrak²). Beide meters zijn ISO 11665-4:2012 gecertificeerd. Particulieren kunnen deze meters bestellen op de website van Radonova. De detectoren worden geleverd met Engelse instructies over de plaatsing van de meter, de meetperiode en het retoursturen van de meter. De meters worden geanalyseerd in een ISO-17025 geaccrediteerd lab. Naast deze twee leveranciers zijn er binnen Europa meer organisaties die radonmeters aanbieden.

¹⁰ De bijdrage van radon aan de totale stralingsbelasting van een lid van de bevolking (2,9 mSv) bedraagt 25%. (<https://www.rivm.nl/straling-en-radioactiviteit/blootstelling-en-gezondheidsrisico/blootstelling-aan-ioniserende-straling-samengevat>)

¹¹ <https://www.mirion.com> en persoonlijke communicatie met Mirion.

¹² <https://radonovalaboratories.com> (Radonova is de nieuwe naam voor Landauer Nordic)

Tabel 4.1 Overzicht van adviezen over, en mogelijkheden voor radonmetingen door particulieren van overheidsinstanties in enkele omliggende landen.

Land (organisatie)	Type radonmeters	Tijdsduur metingen ¹	Laboratoria	Kosten van meter en uitlezen	Metingen centraal verzameld? ⁴	Bronnen
België (FANC)	Alfa-track detector ⁶	3 maanden tussen oktober en mei	Hainaut Analyses - Site de Mons	€15	Ja, door de FANC	https://fanc.fgov.be/nl/radon www.radonactie.be
Denemarken (Sundhedsstyrelsen)	Alfa-track detector ⁶	Minimaal 2 maanden tijdens het stookseizoen	Niet vermeld	Niet vermeld	Nee	https://www.sst.dk/da/Viden/Straaling/Straaling-i-hverdagen/Radon/Radon-i-boliger/
Duitsland (BfS)	Lijst van erkende alfa-track detectoren gegeven ⁵	3-12 maanden, indien 3 dan liefst in de winter	Lijst met (erkende) laboratoria gegevens	€30-50	Nee	www.Bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/radon_node.html
Frankrijk (Ministère des solidarités et de la santé)	* Analyse-radon (société Algade / Dosirad) * Santé Radon (société Pe@rl) * Radonova laboratories	Minimaal 2 maanden tijdens het stookseizoen	* Analyse-radon (société Algade / Dosirad) * Santé Radon (société Pe@rl) * Radonova laboratories	Niet vermeld	Nee	https://solidarites-sante.gouv.fr/sante-et-environnement/batiments/article/radon
Luxemburg (Direction de la Santé)	Alfa-track detector ⁶	3 maanden van oktober tot mei	Niet vermeld	Gratis	Ja	https://sante.public.lu/fr/prevention/radon/index.html
Verenigd Koninkrijk (PHE)	Alfa-track detector ⁶	3 maanden	Lijst van geaccrediteerde laboratoria gegevens	* £51.60 voor 2 detectoren ³ * Radon Risk Report £3.90 ²	Ja	www.ukradon.org

FANC: Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle; BfS: Bundesamt für Strahlenschutz; PHE: Public Health England.

¹ Geadviseerde tijdsduur van de metingen

² Hierin staat of je woning in een Radon Affected Area gelegen is; dat is gedefinieerd als een gebied waarin minimaal 1% van de woningen een radonconcentratie boven het Action Level heeft (200 Bq/m³)

³ Kosten voor een particulier voor een setje van 2 detectoren (woonkamer en slaapkamer) inclusief uitlezen; voor werkgevers zijn andere pakketten verkrijgbaar

⁴ Met centraal wordt bedoeld: door het nationale instituut dat de informatie geeft

⁵ Lijst met aanbieders van radonmeters die erkend zijn volgens §155 van de Strahlenschutzverordnung

⁶ Onduidelijk of dit een open of gesloten alfa-track detector betreft

5 Conclusies

Door variatie in de radonconcentratie binnenshuis is voor een betrouwbare risico-inschatting een lange tijdsgeïntegreerde radonmeting nodig. Om zoveel mogelijk de storende invloed van thorondochters, temperatuur, stof en vocht op de radonmeting te vermijden, is een gesloten alfa-track detector de meest geschikte meter voor het bepalen van een jaargemiddelde radonconcentratie.

Naast de eisen aan de radonmeters zelf, zijn voor een betrouwbare radonmeting ook de instructies over hoe, waar, wanneer en hoelang te meten van belang. Omdat de radonconcentratie binnenshuis in de winter hoger is dan in de zomer kan het beste in het stookseizoen (oktober tot en met april) gemeten worden. Het is van belang om de radondetector tussen de 1 en 2 meter boven de grond, vrij in de ruimte op te hangen en gedurende de hele meting niet meer te verplaatsen. Hierbij mag de detector niet in de buurt van een warmtebron, looppaden, deuren en ramen, en ventilatie (bijvoorbeeld luchtroosters) worden geplaatst. Om de relatieve meetafwijking bij lage radonconcentraties zo klein mogelijk te houden is een meetduur van minimaal 3 maanden geschikt.

Voor het meten van radon en voor het uitlezen en uitwerken van radonmetingen door laboratoria zijn de normen EN-ISO/IEC 17025 en NEN-EN-ISO 11665 van belang. Indien de radonmeter aantoonbaar voldoet aan de norm EN-ISO 11655 dan voldoet hij aan de gewenste basiskwaliteit voor het meten van radon en het uiteindelijk meetresultaat. Als een laboratorium voldoet aan EN-ISO/IEC 17025 dan voldoen ze aan de gewenste basiskwaliteit van de uitgevoerde meting, kwaliteitsborging en rapportage.

In België is een jaarlijkse landelijke meetcampagne, waar burgers op eigen initiatief aan kunnen deelnemen. De radonmeter kan men na gebruik terugsturen aan het FANC dat voor de uitlezing zorgt. De meetgegevens worden zowel aan de deelnemer gestuurd als toegevoegd aan een landelijke database. Deze in de tijd groeiende hoeveelheid data is online publiek beschikbaar. In Duitsland voorziet het BfS burgers van een lijst met erkende meetdiensten waar radonmeters besteld en/of uitgelezen kunnen worden. Ook enkele andere Europese landen hebben soortgelijke systemen. In Nederland zijn tot nu toe alleen afgebakende meetcampagnes verricht naar de radonconcentratie.

6 Bronnen

BfS (2020, 29-09-2020). "Interlaboratory comparison and proficiency testing of passive radon measuring devices." Retrieved 18-11, 2020, from <https://www.bfs.de/EN/topics/ion/service/radon-measurement/comparative-test/comparative-test.html>.

BfS (2020, 25-08-2020). "Procedure for recognition of providers of workplace radon measurements." Retrieved 18-11, 2020, from <https://www.bfs.de/EN/topics/ion/service/radon-measurement/approvement/approvement.html>.

Blaauboer, R. O. (2012). Meetmethoden thoron in survey - VERA-onderzoek. RIVM rapport 610890001/2012, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.

Bottollier-Depois, J. F., et al. (2019). "The OpenRadiation project: monitoring radioactivity in the environment by and for the citizens." Radioprotection **54**(4): 241-246.

Chen, J. and D. Moir (2012). "Study on the thoron sensitivity of radon detectors available to Canadians." J Radiol Prot **32**: 419-425.

Cinelli, G., et al. (2019). "European Atlas of Natural Radiation." Publication Office of the European Union.

Friedrich, F., et al. (2019). Instruments to measure radon-222 activity concentration or exposure to radon-222 – Interlaboratory comparison and proficiency testing 2019. Salzgitter, Bundesamt für Strahlenschutz.

IAEA (2015). "Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon and Other Natural Sources of Radiation." Specific Safety Guide no. SSG-32.

IAEA (2019). "Design and conduct of radon surveys." Safety Reports Series No. 98.

Miller, C. A. and C. B. Howarth (2020). Results of the 2018 PHE intercomparison of passive radon detectors. Chilton, Public Health England: 33.

Het Nederlandse Normalisatie-instituut (2012). Radioactiviteitsmetingen - Lucht - Radon 222 - deel 4: Geïntegreerde meetmethoden voor de bepaling van de gemiddelde radon activiteitsconcentratie met behulp van passieve bemonstering en vertraagde analyse. Delft, NEN-ISO. **NEN-ISO 11665-4:2012**.

Het Nederlandse Normalisatie-instituut (2018). Algemene eisen voor de competentie van test- en kalibratielaboratoria Delft, NEN-EN-ISO. **NEN-EN-ISO/IEC 17025:2018**.

Het Nederlands Normalisatie-instituut (2019). Radioactiviteitsmetingen - Lucht - Radon 222 - Deel 1: Oorsprong van radon en de kortstondige verval producten en aanverwante meetmethoden. Delft, NEN-EN-ISO. **NEN-EN-ISO 11665-1:2019.**

Normile, D. (2011). "Citizens find radiation far from Fukushima." Science **332**(6036): 1368.

Kotrappa, P. (2010). "Electret ion chamber-based passive radon-thoron discriminative monitors." Radiation Protection Dosimetry 141(4): 386-389.

PHE (2018). "PHE 2018 intercomparison of passive radon detectors ". Retrieved 18-11, 2020, from <https://www.gov.uk/government/publications/phe-2018-intercomparison-of-passive-radon-detectors>.

Rasmussen, T. (2018). "SBI-anvisning 270: Måling af radon i bygninger." Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet København

Smetsers, R., et al. (2015). Radon en thoron in Nederlandse woningen vanaf 1930 - Resultaten RIVM-meetcampagne 2013-2014.

Tsapalov, A., et al. (2020). "Involving schoolchildren in radon surveys by means of the "RadonTest" online system." J Environ Rad

Vaas, L. H., et al. (1991). Basisdocument Radon, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek.

Wasikiewicz, J. M. (2018). "Impact of environmental factors on PADC radon detector sensitivity during long term storage." Rad Phys Chem **142**: 141-145.

WHO (2009). "Handbook on indoor radon: a public health perspective."

Bijlage I Relevante artikelen uit wet- en regelgeving

Besluit Basisveiligheidsnormen stralingsbescherming

Artikel 5.3 (informatie radon in woningen en andere gebouwen)

1 Onze Ministers in overeenstemming met Onze Minister die het mede aangaat zorgen ervoor dat lokaal en nationaal informatie beschikbaar is over:

- a. de blootstelling aan radon in woningen en andere gebouwen en de bijbehorende gezondheidsrisico's;
- b. over het belang van radonmetingen, en
- c. over de beschikbare technische middelen om bestaande radonconcentraties terug te dringen.

2 De Autoriteit is belast met de gecoördineerde voorbereiding en uitvoering van de verplichtingen, bedoeld in het eerste lid.

Artikel 6.20 (nationaal actieprogramma radon)

1 Met toepassing van artikel 6.16 stelt Onze Minister in overeenstemming met Onze Minister die het mede aangaat een nationaal actieprogramma radon vast. Op de voorbereiding is afdeling 3.4 van de Algemene wet bestuursrecht van toepassing. Het programma wordt geactualiseerd indien daar vanuit het oogpunt van stralingsbescherming aanleiding toe is.

2 Het nationale actieprogramma radon heeft als doel het overeenkomstig de referentieniveaus, bedoeld in artikel 9.10, zesde of zevende lid, respectievelijk artikel 7.38, eerste of zevende lid, beheersen van langetermijnrisico's door blootstelling aan radon, waaronder radon dat vrijkomt uit de bodem, bouwmaterialen of water in woningen, in gebouwen met toegang voor het publiek, respectievelijk op werkplekken.

3 De Autoriteit is belast met de gecoördineerde voorbereiding, het opstellen en het mede uitvoeren van het nationaal actieprogramma radon.

4 Het nationaal actieprogramma radon bevat in ieder geval de volgende elementen en kan indien passend een of meer van de overige elementen, genoemd in bijlage 8, omvatten:

- a. het identificeren van gebieden waar de radonconcentratie als jaargemiddelde het nationale referentieniveau, bedoeld in het tweede lid, in een significant aantal woningen en voor het publiek toegankelijke gebouwen of werkplekken kan overschrijden;
- b. het identificeren van woningen, gebouwen met toegang voor het publiek en werkplekken in deze gebieden waar de radonconcentratie als jaargemiddelde hoger is dan het toepasselijke nationale referentieniveau, bedoeld in het tweede lid;
- c. waar nodig, voorstellen voor maatregelen gericht op het verlagen van de radonconcentratie in deze woningen, gebouwen en werkplekken met technische en andere maatregelen;
- d. het waar nodig, nemen of laten nemen van passende maatregelen om zoveel mogelijk te voorkomen dat radon nieuwe woningen, gebouwen met toegang voor het publiek en werkplekken binnendringt.

5 Het nationale actieprogramma radon bevat voorts de volgende elementen:

- a. het beschikbaar stellen van informatie over de blootstelling aan radon in woningen, gebouwen met toegang voor het publiek en werkplekken en over de bijbehorende gezondheidsrisico's;
- b. het beschikbaar stellen van informatie over het belang van radonmetingen;
- c. het beschikbaar stellen van informatie over de beschikbare technische middelen om bestaande radonconcentraties in woningen en gebouwen met toegang voor het publiek en op de werkplek terug te dringen.

Bijlage II Omschrijving meetonzekerheden track-etch detectoren

Onzekerheden	Omschrijving	Onzekerheid zoals genoemd in het rapport van Cinelli, Cort et al. (2019)
in radon kalibratie referentiewaarde.	Radonmeters worden gekalibreerd aan een referentie bron. Meestal zijn deze referentie bronnen gekalibreerd aan een kalibratie standaard.	Varieert per laboratorium met een waarde tussen de 6% en 10%.
door variatie in track-etch materiaal.	De detectormaterialen zijn commercieel beschikbaar waarbij de kwaliteit verschilt per leverancier en batch. Het laboratorium dat het detectormateriaal analyseert moet daarom strenge kwaliteitscontrole invoeren om de variatie in het materiaal te identificeren en om een correctiefactor toe te passen.	Hanley et al. (2008) berekende dat de typische variabiliteit van de verschillende detectormaterialen een onzekerheid kan opleveren van 2,1%.
door variatie in de wijze van het ontstaan van beschadigingen op het detector materiaal.	Variatie in omstandigheden kunnen de afmetingen van de beschadigingen veranderen. Daarom moeten omstandigheden zoals temperatuur, tijd en chemische samenstelling en concentratie van het detectormateriaal gecontroleerd en bijgehouden worden.	Niet beschreven
van de automatische uitleessystemen.	Inconsistentie in focus en lezing van de track-etch detectoren kan leiden tot een verkeerde interpretatie van de track-etch karakteristieken. De focus van het telsysteem kan afwijken. Het herkennen van beschadiging en oppervlakte-defecten kunnen verslechteren, de signaalruis verhouding kan hierdoor toenemen.	De gecombineerde onzekerheid van de automatische telsystemen wordt geschat op 5,5% (henley et al, 2008).
in de recht evenredigheid van de respons.	De detectoren worden blootgesteld aan grote variaties van radonconcentraties (5 – enkele duizenden Bq/m ³). Wanneer de blootstelling hoog is, beschadigen meer alfa deeltjes het detectormateriaal. De kans is dan groter dat een nieuwe beschadiging boven op een eerdere beschadiging ligt. Hierdoor is de kalibratie curve, het aantal beschadigingen als functie van de radonactiviteit, niet meer lineair. Een correctiefactor moet dan overwogen worden.	Niet beschreven

Onzekerheden	Omschrijving	Onzekerheid zoals genoemd in het rapport van Cinelli, Cort et al. (2019)
<p>door chemische veranderingen in het track-etch materiaal: aging en fading.</p>	<p>Track-etch materialen zijn onderhevig aan veranderingen en variaties in tijd. De sensitiviteit van detectormateriaal CR-39 voor beschadiging van alfa straling daalt door veroudering en vervaging. Bij veroudering (aging) ontstaan ongewenste verbindingen van het chemisch materiaal. Vervaging (fading) is het (gedeeltelijke) herstel van beschadiging in de loop van de tijd. Reductie in radonsensitiviteit door veroudering en vervaging leidt tot een onderschatting van de radon activiteit concentratie. Indien een detector wordt geplaatst voor minimaal 3 maanden hebben zowel veroudering als vervaging effect op de meetresultaten.</p>	<p>De geschatte onzekerheid door veroudering en vervaging gegeven door Hanley et al. (2008) is respectievelijk 4,5% en 4,4%. Alhoewel, het effect van veroudering en vervaging afhankelijk is van de techniek, inclusief het uitleessysteem. Daarnaast heeft vervaging en veroudering bij een aantal gevallen geen effect op de detector sensitiviteit (Calamosca & Penzo, 2008).</p>

Bijlage III Inhoud radonrapport volgens ISO norm

Het meetrapport moet de volgende informatie bevatten:

- Referentie naar ISO-11665-4
- Meetmethode
- Beschrijving van radonmeter (bijv. elektronische meter of traceerfilm dosimetrie)
- Identificatie van het monster (rapportidentificatienummer)
- Karakteristieken van de bemonstering (passief/actief)
- De tijd waarop de meting start en eindigt
- De meetperiode, de totale tijd dat er is gemeten
- De locatie waar de meting is uitgevoerd (type ruimte en verdieping)
- De eenheid waarin de gemeten waarden worden vermeld. (bv. Bq/m³)
- De gemeten (uitlees) waarde voor elke radonmeter (traceerfilm dosimeter of elektronische meter) die de meetonzekerheid aangeeft
- Informatie over hoe de meetonzekerheid en het betrouwbaarheidsinterval worden bepaald (Resultaat ± onzekerheid Bq/m³)

Aanvullende informatie die kan worden vermeld zijn:

- Doel van de meting
- Waarschijnlijkheden
- Informatie over de detectielimiet en beslissingsdrempel
- Relevante informatie over omstandigheden die de meetresultaten kunnen beïnvloeden (bv. Type ventilatie, soort verwarming)
- Of de meting de basis kan vormen voor een geschatte jaargemiddelde waarde (meetperiode van minimaal 60 dagen over een aaneengesloten periode van 1 oktober tot en met 30 april). Als de geschatte jaargemiddelde waarde niet kan worden bepaald, moet de reden worden vermeld.
- De geschatte jaargemiddelde waarde met onzekerheid indien wordt voldaan aan de basis voor het berekenen van een geschatte jaargemiddelde waarde.
- Indien van toepassing, de geschatte jaargemiddelde waarde over de gebruiksduur, indien is voldaan aan de berekeningsgrondslag voor een geschatte jaargemiddelde waarde en indien het gebouw geen woning is. De berekeningsmethode moet worden vermeld.
- Verklaring van de radonvereisten van de bouwvoorschriften en het nationale referentieniveau

RIVM

De zorg voor morgen begint vandaag