



KWR PCD 21 | mei 2025

**Actieve-koolfiltratie
van water ten
behoefte van de
bereiding van
drinkwater**

Actieve-koolfiltratie van water ten behoeve van de bereiding van drinkwater

KWR | PCD 21 | mei 2025

Opdrachtgever

Platform Bedrijfsvoering

Auteurs

M.A. (Martin) Meerkerk en W.G. (Wolter) Siegers

Jaar van publicatie
2025

Meer informatie
Martin Meerkerk
T (030) 60 69 566
E Martin.Meerkerk@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

KWR

KWR PCD 21 | mei 2025 ©

Alle rechten voorbehouden aan KWR. Niets uit deze uitgave mag - zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KWR - worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier.

Praktijkcode Drinkwater

Status

De Nederlandse drinkwaterbedrijven maken in de dagelijkse bedrijfsvoering gebruik van richtlijnen met als doel het (hoge) kwaliteitsniveau van de bedrijfsvoering te handhaven en waar mogelijk verder te verbeteren, en/of de efficiëntie van de bedrijfsvoering te verhogen en bij te dragen aan het verder uniformeren van de werkwijzen binnen de drinkwatersector. Deze richtlijnen hebben doorgaans het karakter van een ‘aanbeveling van een te volgen gedrag of handelswijze’ en niet van een ‘bindend voorschrift’¹. Het gaat om privaatrechtelijke richtlijnen voor de ondersteuning in de dagelijkse praktijk van de bedrijfsvoering (‘best practices’) in het gehele traject van bron tot tap. De richtlijnen (soms ook aangeduid als ‘leidraad’) worden sinds 2008 opgesteld en hebben in 2015 de aanduiding ‘Praktijkcode Drinkwater’ (PCD) gekregen.

Verantwoording

Praktijkcodes worden doorgaans opgesteld in opdracht van het Platform Bedrijfsvoering, waarin vertegenwoordigers van alle Nederlandse drinkwaterbedrijven en het Vlaamse bedrijf Pidpa participeren. Ook in opdracht van andere gremia kunnen praktijkcodes worden opgesteld. Dit Platform heeft het beheer van praktijkcodes gedelegeerd aan de Begeleidingsgroep Praktijkcodes, die de ‘eigenaarsrol’ vervult. Ook in die groep participeert in beginsel één vertegenwoordiger per bedrijf. De voorzittersrol wordt vervuld door een van deze vertegenwoordigers, terwijl KWR Water Research Institute dat doet ten aanzien van de rol van secretaris.

Totstandkoming en kwaliteitsborging

Een specifieke praktijkcode of een revisie daarvan (zie onder) komt met inhoudelijke bijdragen van deskundigen van drinkwaterbedrijven en onderzoekers van KWR Water Research Institute interactief tot stand onder begeleiding van een projectgroep bestaande uit deskundigen van de drinkwaterbedrijven en/of –laboratoria. De leden van die projectgroep worden aangezocht vanwege hun specifieke kennis en/of vaardigheden die noodzakelijk is/zijn voor het betreffende onderwerp. Het voorzitterschap wordt in beginsel ingevuld door een vertegenwoordiger van de drinkwaterbedrijven; KWR Water Research Institute vervult het secretariaat en rapporteert de voortgang aan de Begeleidingsgroep Praktijkcodes. Soms maken drinkwaterbedrijven gebruik van de mogelijkheid om zich als agendalid van een projectgroep te laten registreren.

Na vaststelling van een praktijkcode door de begeleidende projectgroep wordt die ter formele vaststelling voorgelegd aan de Begeleidingsgroep Praktijkcodes.

Openbaarheid

Praktijkcodes Drinkwater zijn openbaar. Een actueel overzicht van alle praktijkcodes is te vinden op de website www.PraktijkcodesDrinkwater.nl.

Periodieke actualisatie

Bestaande praktijkcodes worden periodiek geëvalueerd. In beginsel is er sprake van een ‘vijfjaarsrevisie’: primair wordt de vraag gesteld en bediscussieerd of actualisatie gewenst dan wel noodzakelijk is en als dat het geval blijkt te zijn, wordt die volgens een afgesproken procedure projectmatig geactualiseerd. De vorige editie van een praktijkcode is daarbij uitgangspunt. Als actualisatie niet gewenst of noodzakelijk blijkt te zijn, wordt een praktijkcode in principe opnieuw voor een periode van vijf jaar vastgesteld.

¹ Beide omschrijvingen zijn afkomstig uit ‘Van Dale’.

Voorwoord

Editie

Dit is de eerste editie van een praktijkcode op het gebied van de filtratie van water over actieve kool ten behoeve van de bereiding van drinkwater. Uitgangspunten voor de totstandkoming daarvan waren met name:

- Een overzicht van door KIWA/Kiwa/KWR Water(cycle) Research Institute in de achterliggende decennia opgestelde documenten op het gebied van adsorptie ten behoeve van de bereiding van voor de menselijke consumptie bestemd water, zie hoofdstuk 8 'Literatuur' en Bijlage IV.
- Bij de Nederlandse drinkwaterbedrijven geïnterviewde gegevens van actieve-koolinstallaties, zie Bijlage II (het Vlaamse waterbedrijf Pidpa past geen actieve-koolfiltratie en ook geen poederkooldosering en filtratie over alternatieve absorbentia toe).
- De Nederlandse vertaling van relevante delen van het Duitse werkblad ('Arbeitsblatt') W 239² [4].
In de achterliggende jaren zijn verschillende praktijkcodes op het gebied van een zuiveringsproces –of stap ten behoeve van de bereiding van drinkwater opgesteld. Daarbij is regelmatig de Nederlandse vertaling van een relevant 'Arbeitsblatt' van de Duitse organisatie DVGW als uitgangspunt genomen.

Verder is gebruik gemaakt van relevante documenten zoals documenten ((beleids)voorschriften) van de drinkwaterbedrijven die in de projectgroep participeerden. Relevante kennis daaruit is aan dit document toegevoegd of er wordt naar verwezen. Bovendien is gebruikgemaakt van ervaringen van drinkwaterbedrijven.

Status

Deze praktijkcode PCD 21 op het gebied van de actieve-koolfiltratie van water is 'voorschrijvend' van karakter, dat wil zeggen dat het gaat om een richtlijn in de zin van een vakinhoudelijke aanbeveling van een te volgen gedrag of handelswijze, of 'best practice'. Voor (een korte beschrijving van) de vier verschillende statussen die bij praktijkcodes worden onderscheiden, wordt verwezen naar de webpagina [Introductie praktijkcodes - Praktijkcodes Drinkwater](#) van de website www.PraktijkcodesDrinkwater.nl

Begrippen

Op het gebied van actieve-koolfiltratie specifieke begrippen met hun bijbehorende omschrijving zijn opgenomen in Bijlage I. Voor (de omschrijving van) algemene begrippen op het gebied van de drinkwatervoorziening wordt verwezen naar de webpagina [Begrippenlijst - Praktijkcodes Drinkwater](#) van de website www.PraktijkcodesDrinkwater.nl In genoemde Bijlage I zijn tevens de in voorliggende praktijkcode gehanteerde afkortingen opgenomen met de bijbehorende betekenis. Die betekenis is (daarom) in de hoofdtekst weggelaten.

In deze praktijkcode worden de begrippen '(granulaire) actieve kool' en 'actieve-koolfiltratie' gehanteerd. Granulaire actieve kool wordt onderscheiden in gebroken korrelkool en geëxtrudeerde kool.

Met betrekking tot het in- en effluent van actieve-koolfilters is door de begeleidende projectgroep de keuze gemaakt om in de voorliggende praktijkcode de begrippen 'voedingswater' respectievelijk '(kool)filtraat' te hanteren.

Na een bepaalde standtijd van een actieve-koolfilter wordt de betreffende kool gereactiveerd. In deze praktijkcode wordt daarbij de aanduiding 'reactivatie' gehanteerd, maar in sommige referenties is in plaats daarvan 'regeneratie' en (dus) 'geregenereerd' gebruikt.

² In dit document zijn enkelvoudig onderstreepte zaken van een hyperlink voorzien, bij dubbel onderstreepte zaken gaat het om het leggen van nadruk.

Samenstelling projectgroep

De samenstelling van de projectgroep die de totstandkoming van deze praktijkcode heeft begeleid, is hieronder weergegeven. De deelnemers zijn per bedrijf in alfabetische volgorde vermeld.

Drinkwaterbedrijf of –laboratorium

Brabant Water
Dunea
Evides Waterbedrijf
KWR Water Research Institute

Oasen

Pidpa
PWN

Vitens
Waterbedrijf Groningen

Waternet
WMD Drinkwater

WML

Vertegenwoordiger(s)

Stephan van de Wetering
Brent Pieterse
Sander Nugteren
Martin Meerkerk (secretaris)
Wolter Siegers
Sebastian Castano
Anna Griffioen
Maarten Lut
David Geysen
Aisha Malik
Huib Schakenraad
Herman Smit (voorzitter)
Gerrit Jan Zweere
Jantinus Bruins (WLN)
Inan Duran (WLN)
Hannah van der Wal (WLN)
Hadi Zamanian
Jantinus Bruins (WLN)
Inan Duran (WLN)
Hannah van der Wal (WLN)
Kay Bouts

Vaststelling praktijkcode

Deze praktijkcode is vastgesteld door de Begeleidingsgroep Praktijkcodes in de vergadering van 22 mei 2025.

Beheer van de praktijkcode

Commentaar of opmerkingen betreffende de opzet en/of de inhoud van deze praktijkcode kunnen per e-mail worden verzonden aan KWR Water Research Institute: pcd@kwrwater.nl Indien van toepassing zal een en ander worden gebruikt als input voor een volgende editie van het document.

Inhoud

Inhoud	6
1 Inleiding	8
1.1 Introductie: praktijk in Nederland en Vlaanderen	8
1.2 Doel actieve-koolfiltratie	8
1.3 Leeswijzer	8
2 Publiekrechtelijke regelgeving	10
2.1 Inleiding	10
2.2 Gezondheidskundige aspecten	10
2.2.1 Behuizing en leidingwerk	10
2.2.2 Filtermaterialen inclusief actieve kool	10
3 Introductie actieve(-)kool(filtratie) ten behoeve van de bereiding van drinkwater	12
3.1 Achtergrond en toepassingen	12
3.2 De vervaardiging van actieve kool	12
3.3 Het meten van de adsorptie-eigenschappen van actieve kool	14
3.4 Beschrijving van actieve-koolfiltratie	14
3.5 Biologische actieve-koolfiltratie	15
3.6 Anaerobe of anoxische actieve-koolfiltratie	16
3.7 Reactivatie van actieve kool	16
3.8 Einde levensduur van actieve kool	17
3.9 Opbrengsten van (lopend) onderzoek aan actieve kool	18
3.9.1 Alternatieve grondstoffen	18
3.9.2 Verwijdering van organische microverontreinigingen inclusief PFAS	18
3.9.3 Verwijdering van nanodeeltjes	18
3.9.4 Verwijdering van waterstofperoxide	18
3.9.5 Rendementsverbetering actieve-koolfiltratie door voorafgaande membraanfiltratie	19
3.9.6 Modelleren van actieve-koolfiltratie	19
3.9.7 Chemische reactivatie	19
4 Ontwerpeisen	20
4.1 Inleiding	20
4.2 Eigenlijke actieve-koolfiltratie	20
4.2.1 Waterkwaliteit	20
4.2.2 Waterkwantiteit en parameters filtratieproces (bedvolume, contacttijd, filtratiesnelheid en standtijd)	20
4.2.3 Voorzieningen in verband met terugspoelen	21
4.2.4 Standtijd en bedvolumes	22
4.2.5 Locatie: binnen of buiten	22

4.2.6	Toegankelijkheid, bereikbaarheid en continuïteit	22
4.2.7	Aard van het filter	22
4.2.8	Materialen	23
4.2.9	Filtermateriaal inclusief voorzieningen voor de levering en faciliteiten voor de opslag	23
4.2.10	Aerobe of anaerobe filtratie	25
4.2.11	Voorzieningen in verband met reactivatie	25
4.3	Overige eisen	26
4.3.1	Voorzieningen ten behoeve van waterkwaliteitsbeoordeling	26
4.3.2	Meet- en regelapparatuur	26
5	Realisatie	27
6	Bedrijfsvoering	28
6.1	Inleiding	28
6.2	Veiligheid	28
6.3	Ingebruikneming	28
6.4	Inbedrijfneming (na reactivatie)	28
6.4.1	Eventuele gewenste voorbehandeling van actieve kool voor gebruik	29
6.5	Reguliere bedrijfsvoering	30
6.5.1	Reguliere productie drinkwater	30
6.5.2	Reactivatie	32
7	Onderhoud	34
7.1	Onderhoud	34
8	Literatuur	35
I	Begrippen met bijbehorende omschrijving en afkortingen inclusief acroniemen met bijbehorende betekenis	39
II	Opbrengsten inventarisatie actieve-koolinstallaties in Nederland (2024)	42
III	In deze praktijkcode genoemde en daarvoor relevante normen	44
IV	Overzicht van overige KIWA/Kiwa/KWR- documenten/publicaties op het gebied van adsorptie	45
V	Het conditioneren van (gereactiveerde) actieve kool met kooldioxide	50

1 Inleiding

1.1 Introductie: praktijk in Nederland en Vlaanderen

Bij de verwijdering van in water aanwezige organische stoffen door middel van adsorptie gaat het in de praktijk van de bereiding van drinkwater om de zuiveringsstappen actieve-koolfiltratie, poederkooldosering en filtratie over alternatieve adsorbentia. Negen van de tien Nederlandse drinkwaterbedrijven passen actieve-koolfiltratie toe (zie Bijlage II), waarbij het in totaal om zo'n dertig drinkwaterproductielocaties gaat met als bron grondwater, oevergrondwater, infiltratiewater (vanuit de duinen) of oppervlaktewater ten behoeve van de bereiding van het uiteindelijke drinkwater. Als enige drinkwaterbedrijf past Dunea in hun reguliere bedrijfsvoering geen actieve-koolfiltratie maar poederkooldosering toe (nu naast de verwijdering van organische microverontreinigingen en kleur ook vooral ten behoeve van de verwijdering van PFAS, zie § 1.2). Poederkooldosering komt in deze praktijkcode niet aan de orde, daarin wordt uitsluitend ingegaan op filtratie over adsorbentia. Filtratie over alternatieve adsorbentia (ionenwisselaars en zeolieten) vindt in Nederland in beperkte mate toepassing. Deze filtratie met een anionwisselaar is vooralsnog uitsluitend in gebruik bij drinkwaterbedrijf Vitens in verband met de verwijdering van kleur en bij drinkwaterbedrijf PWN voor de gedeeltelijke verwijdering van DOC. In België wordt ook anionenwisseling gebruikt voor DOC/kleurverwijdering bij het waterbedrijf De Watergroep. Ten behoeve van de verwijdering van PFAS is/zijn in zowel Nederland als Vlaanderen naast actieve kool ook een speciaal type ionenwisselaar en/of zeolieten in onderzoek.

In veel gevallen is actieve-koolfiltratie de laatste stap van de zuivering [19]. Het komt voor dat die filtratie anaeroob wordt bedreven of dat er nog een nabehandeling (langzame-zandfiltratie, ontharding) of ander vervolg plaatsvindt (duininfiltratie, transportchloring).

1.2 Doel actieve-koolfiltratie

De actieve-koolfiltratie van water in het kader van de bereiding van drinkwater kan meerdere doelen dienen (Bijlage II). Die kunnen de verwijdering zijn van (een of meer):

- organische microverontreinigingen (bestrijdingsmiddelen, hormoon-verstorende stoffen, (dier)geneesmiddelen, PFAS en overigen);
- TOC/DOC (kleur);
- geur en smaak;
- cyanotoxines (zie [15] voor de (theoretische) verwijdering van cyanotoxines met behulp van actieve kool);
- restanten waterstofperoxide in het effluent van het UV/H₂O₂-proces ('quenchen' [16]);
- deeltjes;
- NOM (DOC/TOC).

1.3 Leeswijzer

Na dit inleidende hoofdstuk volgt een kort hoofdstuk over de publiekrechtelijke regelgeving zoals die voor actieve-koolfiltratie ten behoeve van de bereiding van drinkwater relevant is (hoofdstuk 2). Hoofdstuk 3 betreft een samenvattende beschrijving van actieve kool en actieve-koolfiltratie ten behoeve van de bereiding van drinkwater. In hoofdstuk 4 zijn de ontwerpisen voor het zuiveringsproces actieve-koolfiltratie beschreven en vervolgens in hoofdstuk 5 de realisatie daarvan. Hoofdstuk 6 beschrijft de bedrijfsvoering van de actieve-koolfiltratie, waarna in hoofdstuk 7 wordt ingegaan op het assetmanagement daarvan, inclusief het onderhoud van de installatie. Ten slotte geeft hoofdstuk 8 een overzicht met literatuurbronnen waaraan in deze praktijkcode wordt gerefereerd.

De Bijlagen I, II en IV van deze praktijkcode zijn in het Voorwoord al ge- en benoemd. Behalve voor actieve-koolfiltratie specifieke begrippen zijn in Bijlage I ook afkortingen met de bijbehorende betekenis opgenomen. De in deze praktijkcode genoemde (inter)nationale normen van het nationale normalisatie-instituut NEN zijn niet opgenomen in hoofdstuk 8 'Literatuur', maar die worden overzichtelijk (op nummer) genoemd in Bijlage IV. Ten slotte wordt in Bijlage V gedetailleerd ingegaan op het conditioneren van verse en gereactiveerde actieve kool met behulp van kooldioxide.

2 Publiekrechtelijke regelgeving

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de publiekrechtelijke regelgeving in Nederland die verband houdt met actieve-koolfiltratie in het kader van de bereiding van voor de menselijke consumptie bestemd water. De navolgende twee paragrafen gaan over de regelgeving: (i) voor producten in contact met (drink)water respectievelijk (ii) de relevante waterkwaliteitseisen. Bij het eerste onderdeel wordt onderscheid gemaakt tussen (i) de materialen en daarop gebaseerde producten ten behoeve van de behuizing met het bijbehorende leidingwerk en (ii) de filtermaterialen.

2.2 Gezondheidkundige aspecten

Producten (in het algemeen te onderscheiden in de groepen materialen, chemicaliën en middelen) die in contact (kunnen) komen met drinkwater of het daarvoor bestemde water mogen geen stoffen afgeven in hoeveelheden die schadelijk kunnen zijn voor de gezondheid van de consument of anderszins de drinkwaterkwaliteit aantasten. Daartoe dienen die producten te voldoen aan de voorwaarden voor toxicologische, microbiologische en organoleptische aspecten³, die zijn vastgelegd in de van kracht zijnde ministeriële Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening⁴ [2]. Dit betekent dat de procedure voor het verkrijgen van een erkende kwaliteitsverklaring volgens die ministeriële regeling met positief resultaat dient te zijn afgerond.

Certificatie-instelling Kiwa Nederland is vooralsnog de enige ‘erkende certificatie-instelling volgens de Regeling’ met het ‘Kiwa Water Mark’ als enige ‘erkende kwaliteitsverklaring volgens de Regeling’. Producten met een erkende kwaliteitsverklaring volgens de Regeling zijn te vinden via de webpagina Overzicht gecertificeerde producten – Praktijkcodes Drinkwater van de website www.PraktijkcodesDrinkwater.nl (voor een korte toelichting, zie de webpagina Gecertificeerde producten en processen - Praktijkcodes Drinkwater). Dat geldt ook voor op materialen gebaseerde producten ten behoeve van het bouwen van installaties voor actieve-koolfiltratie (zoals behuizingen, coatings, buizen, hulpstukken, afsluiters, kranen en afdichtingsringen) en voor middelen ten behoeve van het onderhouden daarvan (bijvoorbeeld reinigings- en desinfectiemiddelen).

2.2.1 Behuizing en leidingwerk

Voor een gedetailleerde beschrijving van de wet- en regelgeving voor metalen en kunststof materialen, en daarop gebaseerde producten als onderdelen van een zuiveringsinstallatie wordt verwezen naar de praktijkcode PCD 12 [3]. Het gaat daarin weliswaar om een toelichting op de Regeling [2] met betrekking tot onderdelen van leidingen en leidingnetten voor het transport en de distributie van drinkwater, maar is ook voor metalen en (in situ vervaardigde) kunststof materialen, en daarop gebaseerde producten ten behoeve van installaties voor de bereiding van (drink)water (waaronder coatings) bruikbaar. De beoordeling en de toelaatbaarheid van die materialen en producten zijn niet wezenlijk anders.

2.2.2 Filtermaterialen inclusief actieve kool

Op grond van de definitie van ‘chemicaliën’ in Artikel 1 van het Drinkwaterbesluit [1] (‘het bewerkstelligen van waterkwaliteitsverandering’) behoort granulaire actieve kool (en ook poederkool en alternatieve absorbentia) tot

³ Verder aan te duiden als ‘gezondheidkundige aspecten’. Binnen de Europese Unie is daarvoor de term ‘hygienic aspects’ gangbaar, maar ‘hygiënische aspecten’ zou voor de Nederlandse situatie verwarring (kunnen) geven met het ‘hygiënisch werken’ volgens de ‘Hygiëncode Drinkwater’ in verband met de winning, bereiding, de opslag en het transport en de distributie van (drink)water zonder de toepassing van een of meer desinfectiemiddelen.

⁴ Verder aan te duiden als ‘de Regeling’.

die groep. De randvoorwaarden om te komen tot een erkende kwaliteitsverklaring op actieve kool zijn opgenomen in onderdeel 3.2.3.2 'Actieve kool in korrelvorm' van subparagraaf 3.2.3 'Filtermaterialen' van § 3.2 'Chemicaliën die in vaste vorm worden gebruikt' van hoofdstuk 3 'Chemicaliën' van Bijlage A 'Productomschrijving en beoordeling' van de Regeling [2]. In dat kader worden bij deze filtermaterialen de volgende Europese normen genoemd (documenten van privaatrechtelijke aard, zie Bijlage III):

- NEN-EN 12915-1 (voor verse actieve kool);
- NEN-EN 12915-2 (voor gereactiveerde actieve kool; dit is de norm uit 2009, in de Regeling (van 2024) wordt (nog steeds) de ontwerpnorm uit 2008 genoemd);
- NEN-EN 12902 (beproevingsmethode voor filtermaterialen);
- NEN-EN 12873-3 (migratietest ten behoeve van ionenwisselaars en adsorptieharsen; dit is de editie van 2019, in de Regeling (van 2024) wordt (nog steeds) de editie uit 2006 genoemd).

Het overzicht met gecertificeerde producten volgens de webpagina Overzicht gecertificeerde producten - Praktijkcodes Drinkwater van de website www.PraktijkcodesDrinkwater.nl bevat bij 'Actieve kool' een hyperlink naar de webpagina Certificaatzoeker | Kiwa Nederland van de 'erkende certificatie-instelling volgens de Regeling' Kiwa Nederland met een overzicht van gecertificeerde bedrijven en producten. Op basis daarvan bevat het overzicht volgens gecertificeerde producten met handelsnamen januari 2025 handelsnamen van producten (voor actieve kool, zie pagina 3 daarvan).

Actieve kool ten behoeve van de bereiding van drinkwater wordt regelmatig of periodiek gereactiveerd (zie verder). Met betrekking tot gereactiveerde actieve kool is daarover in het genoemde onderdeel 3.2.3.2 uitsluitend de volgende voetnoot opgenomen: *'Gereactiveerde actieve kool in korrelvorm wordt omschreven in de ontwerpnorm NEN-EN 12915-2:2008 Ontw. Voor gereactiveerde actieve kool zijn in Nederland nog geen kwaliteitsverklaringen afgegeven.'* Voor wat betreft de laatste zin uit deze passage: dat is nog steeds het geval, er zijn geen gereactiveerde actieve-koolproducten met een erkende kwaliteitsverklaring volgens de Regeling ondanks het feit dat reactivatie van granulaire actieve kool sinds jaar en dag plaatsvindt (zie verder subparagraaf 6.5.2).

3 Introductie actieve(-)kool(filtratie) ten behoeve van de bereiding van drinkwater

3.1 Achtergrond en toepassingen

Vooral in de jaren 80 en 90 van de 20^e eeuw hebben verschillende Nederlandse en Vlaamse (drink)waterbedrijven om uiteenlopende reden(en) filters met granulaire actieve kool geïnstalleerd (zie § 1.2), onder meer in verband met de verwijdering van organische microverontreinigingen als gevolg van intensief gebruik in de landbouw (bijvoorbeeld het bestrijdingsmiddel bentazon). Mede daardoor zijn tegenwoordig de meeste drinkwaterproductielocaties met oppervlaktewater of oevergrondwater als bron, uitgerust met deze filters. Actieve-koolfiltratie is een robuust proces zowel in het ontwerp en de uitvoering als in de bedrijfsvoering (nauwelijks vervuilingsgevoelig, weinig afvalproducten tijdens gebruik, minder gevoelig voor fluctuaties in de waterkwaliteit, lagere onderhoudsbehoefte of betrouwbaarheid onder variabele bedrijfsomstandigheden). De zuiveringsstap heeft tevens meerdere functies, die vaak worden gecombineerd (zie ook § 1.1), namelijk:

- het adsorptief verwijderen van organische (micro)verontreinigingen;
- het adsorptief verwijderen en deels biologisch omzetten van humusverbindingen uit (met name) grondwater;
- het biologisch omzetten van geoxideerde organische stoffen (BAKF) na een (pre-)oxidatiestap;
- het (beperkt) verwijderen van deeltjes en pathogene micro-organismen door middel van adsorptie en filtratie.

3.2 De vervaardiging van actieve kool

Actieve kool wordt vervaardigd uit amorf koolstof-bevattend materiaal dat geen duidelijke kristalstructuur heeft zoals hout (zaagsel), steenkool, ligniet, turf en schalen van kokosnoten. De kool wordt 'geactiveerd' via een thermisch proces in afwezigheid van zuurstof (700 – 800°C), waarbij de vluchtige componenten van het koolstofhoudende materiaal worden verwijderd. Door een activatieproces met stoom of kooldioxide (900 – 1.000°C) wordt een specifieke poriënstructuur verkregen en tijdens een chemische behandeling, met bijvoorbeeld fosforzuur of zinkchloride (ten behoeve van de verhoging van de porositeit) en verhitting met stoom wordt/worden de uiteindelijke adsorptiecapaciteit en adsorptie-eigenschappen van de actieve kool verkregen [20, 21, 22]. In Nederland en Vlaanderen wordt doorgaans actieve kool met steenkool of hout als grondstof toegepast.

Actieve kool is heel poreus en heeft een groot intern oppervlak dat zich ideaal leent voor adsorptie. Afhankelijk van de grondstof en toegepaste activatiemethode varieert het totale interne oppervlak tussen 700 – 1.500 m²/g. Actieve kool bevat veel poriën van verschillende groottes. Deze poriën zijn door IUPAC gecategoriseerd in microporiën (diameter < 2 nm), mesoporiën (diameter 2 – 50 nm) en macroporiën (diameter > 50 nm). Na de activatiestap bestaat het oppervlak van de actieve kool uit een combinatie van koolstof (92%) en zuurstof (7%), bijvoorbeeld lacton- en fenolgroepen. Bij commerciële typen kan het gehalte aan zuurstof variëren van 1 – 16% [22].

De grondstof en eigenschappen zoals korrelgrootte, intern porie-oppervlak en poriegrootteverdeling van actieve kool bepalen uiteindelijk de adsorptieprestaties daarvan. De grondstof heeft een grote invloed op de eigenschappen van de actieve kool, vooral wat betreft poriestructuur en chemische samenstelling van het oppervlak [22, 43]. Macroporiën hebben relatief weinig oppervlak en kunnen daardoor slechts beperkt stoffen adsorberen. Microporiën vertegenwoordigen juist veel oppervlak en zorgen daardoor in principe voor een grotere adsorptiecapaciteit. Dit kan worden verklaard door sterkere Van der Waals-interactie, omdat de afstand tussen opgelost molecuul en koolstofoppervlak korter is. Microporiën zijn echter klein en daardoor niet voor alle stoffen toegankelijk. Bovendien bestaat de kans dat te grote moleculen de toegang tot microporiën versperren (ook wel

‘pore blocking’ genoemd). In aanwezigheid van veel relatief grote NOM-moleculen is in de waterzuivering dan ook een combinatie van micro- en mesoporiën (die voor het transport over het kooloppervlak zorgen) over het algemeen gunstiger. De verhouding tussen lignine en cellulose in het uitgangsmateriaal beïnvloedt de poriestructuur: meer lignine leidt tot een macroporeuze structuur, terwijl meer cellulose resulteert in kool met vooral microporiën (dat geldt ook voor actieve kool geproduceerd uit schalen van kokosnoten, dat vooral microporiën bevat en daardoor minder effectief is dan actieve kool uit steenkool). Mineralen in het uitgangsmateriaal zijn ook van grote invloed op de eigenschappen van de actieve kool. Zo blijken metaalionen als kalium, calcium, ijzer, koper en zink de adsorptiecapaciteit daarvan te beïnvloeden (calcium is met name berucht vanwege zijn invloed op de brosheid van de kool; de verliezen nemen toe als er te veel calcium aanwezig is in de actieve kool).

De korrelgrootte van de actieve kool heeft vooral invloed op de adsorptiekinetiek: hoe kleiner de korrel hoe hoger de kinetiek (adsorptiesnelheid). Zo is van actieve kool in poedervorm bekend dat adsorptie zeer snel verloopt, terwijl bij granulaire actieve kool die relatief langzaam verloopt. De ervaring op basis van verschillende onderzoeken van KWR Water Research Institute leert dat bij adsorptie-isothermen met poederkool het evenwicht met in water opgeloste organische microverontreinigingen binnen enkele uren wordt bereikt, terwijl dit met granulaire actieve kool wel tot zes weken kan duren. Hierbij wordt opgemerkt dat de benodigde tijd voor het bereiken van een evenwicht uitsluitend geldt voor batch-experimenten en niet voor kolomexperimenten.

Voor de praktische toepassing hebben met actieve kool gevulde filters te maken met de filtreerbaarheid van het materiaal en drukval over het filterbed. Bij een hogere drukval is meer energie nodig om het water door het filter te krijgen. Er is behoefte aan goed filtreerbaar materiaal dat tevens goed organische microverontreinigingen adsorbeert. Over het algemeen wordt bij actieve-koolfiltratie een korreldiameter toegepast van 0,55 – 1,4 mm met een UC (dit is de ratio tussen D60 en D10) van 1,4 tot 2,1.

Grondstof en (zware) metalen

Binnen de drinkwaterbedrijven leefden eerder vragen met betrekking tot de aanwezigheid van (zware) metalen in granulaire actieve kool. De vraag was of er een verband bestond tussen de aanwezigheid van (zware) metalen en de grondstof waaruit de kool is vervaardigd (zie boven). Uit een onderzoek met actieve kool uit verschillende grondstoffen [47] is gebleken dat granulaire actieve kool uit steenkool een hoger gehalte aan (zware) metalen bevat. Het betreft hier (zware) metalen als ijzer en aluminium (in g/kg), en nikkel en chroom (in mg/kg). Ook arseen en seleen komen in mg/kg voor in actieve kool uit steenkool. Kwik daarentegen werd in geen enkel van de onderzochte actieve-koolsoorten aangetroffen. De onderzochte actieve-koolsoorten die waren bereid uit hout (zaagsel) en schalen van kokosnoten bleken niet of nauwelijks (zware) metalen te bevatten. Na reactivatie blijken de gehalten aan (zware) metalen en dan met name nikkel in vrijwel alle onderzochte actieve-koolsoorten te zijn toegenomen, ongeacht hun grondstof. Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door adsorptie van zware metalen tijdens het filtratieproces, mede gezien de optredende uitloging daarvan en van aluminium bij het opstarten en inlopen van een filter met gereactiveerde kool (zie verder).

CO₂-voetafdruk

Filtratie over actieve kool levert een significante bijdrage (grofweg ongeveer 5%) aan de totale milieu-impact van de bereiding van drinkwater. Uit een LCA voor actieve kool blijkt dat de meeste typen kool (gebaseerd op steenkool of hout) elkaar wat impact betreft niet ver ontlopen. De reden hiervoor is dat actieve kool vaak wordt gereactiveerd en de impact van dat proces is voor vrijwel elke soort kool nagenoeg gelijk. De grondstof voor de vervaardiging van actieve kool heeft wel grote invloed op de impact van dat proces, maar dat is maar ongeveer 10% van de impact van een reactivatie (aanvulling door het verlies aan materiaal). Actieve kool uit schalen van kokosnoten vormt hierop een negatieve uitzondering vanwege een kortere standtijd door een afwijkende poriënstructuur. Als deze standtijd kan worden verlengd, wordt de impact weer vergelijkbaar met actieve-koolsoorten uit steenkool en hout [20].

3.3 Het meten van de adsorptie-eigenschappen van actieve kool

Voor het meten van de adsorptie-eigenschappen of activiteit van de actieve kool worden weliswaar verschillende methoden toegepast⁵, maar meestal gaat het om het 'joodgetal' (zie Bijlage I). Andere methoden zijn deeltjesgrootteverdeling, dichtheid, asgehalte en de adsorptiehoeveelheid van totaal gebonden organische halogenen [25]. Drinkwaterbedrijven hanteren doorgaans het joodgetal⁶.

Uit een inventarisatie van toegepaste methoden om kooleigenschappen te karakteriseren [26] blijkt dat het niet mogelijk is om een alomvattende adsorptie-gerelateerde parameter te definiëren die correspondeert met adsorptiegedrag in de praktijk. Daarvoor zijn de achterliggende mechanismen te divers en complex. Gerichte praktijkproeven zullen over die eigenschappen uitsluitsel moeten geven. Voor andere dan de adsorptie-gerelateerde parameters bestaat wel een zekere koppeling naar toepassing in de praktijk, bijvoorbeeld:

- directe koppeling: deeltjesgrootte (drukval, opspoelgedrag, kinetiek en adsorptiecapaciteit);
- minder directe koppeling: as- en calciumgehalte (reactivatieproces), mechanische sterkte (slijtage tijdens het filtratie- en reactivatieproces).

In de praktijk wordt door leveranciers van actieve kool de voorkeur gegeven aan karakterisering die snel en betrouwbaar zijn in de uitvoering. Het bepalen van diverse parameters van actieve kool is met name nuttig om te kunnen vergelijken of een nieuwe batch van hetzelfde type kool vergelijkbaar is met een oudere batch, of dat na reactivatie de kool weer min of meer vergelijkbaar is met de oorspronkelijke verse kool.

3.4 Beschrijving van actieve-koolfiltratie

Actieve-koolfiltratie wordt vooral ingezet om natuurlijke organische stoffen en organische microverontreinigingen uit de vloeistoffase te verwijderen (zie § 1.2). De werking van een actieve-koolfilter berust op de adsorptie van de opgeloste organische stoffen aan het (met name interne) oppervlak van de actieve kool. Deze adsorptie wordt bepaald door de moleculaire eigenschappen van de specifieke stof zoals polariteit en molecuulgrootte, én door de competitie met andere organische stoffen zoals NOM. Een (experimenteel bepaalde) adsorptie-isotherm van de specifieke verontreiniging geeft de belading van de actieve kool weer als functie van de concentratie van een stof in de vloeistoffase bij een bepaalde temperatuur (evenwichtssituatie), eventueel in aanwezigheid van andere organische stoffen (zie Bijlage I). De ene stof zal vanwege zijn eigenschappen beter adsorberen dan de andere stof. Doorgaans worden apolaire organische stoffen makkelijker verwijderd uit water dan wel sterker geadsorbeerd dan polaire. De mate van belading van de actieve kool is dan ook hoger voor apolaire organische stoffen. Bij adsorptie van de ene stof kan ook desorptie van een andere stof plaatsvinden als gevolg van verdringing. Voor een verder gedetailleerde uitleg van het adsorptieproces aan actieve kool wordt verwezen naar [22].

Actieve-koolfiltratie vindt plaats in een gepakte kolom van actieve kool, waarbij het water in neerwaartse richting wordt geleid. In sommige gevallen vindt dit opwaarts plaats; er is dan sprake van 'gesuspendeerde actieve-koolfiltratie'. Neerwaartse filtratie kan plaatsvinden met druk- of met gravitatiefilters. Hierbij treedt drukverhoging op door afzetting van organische en anorganische deeltjes (vervuiling) in met name het bovendeel van het filter. Door regelmatig terugspoelen kan deze afzetting van deeltjes (gedeeltelijk) worden verwijderd, wat een waterverlies oplevert (spoelwaterverlies, zie verder hoofdstuk 6). Afhankelijk van de aangeboden watermatrix kan dit per situatie nogal verschillen. Door ijzer- en kalkneerslag kan het adsorberend oppervlak van de actieve kool worden verkleind of geblokkeerd. Tevens wordt door adsorptie van NOM (dat meestal in een veel hogere

⁵ Hier kunnen worden genoemd het methyleenblauwgetal, het fenolgetal en het tanninegetal, maar daarop wordt verder niet ingegaan.

⁶ Het joodgetal is desondanks vrij arbitrair: het zegt niet zoveel welke groep(en) (minder) goed worden geadsorbeerd. Vooral wordt zichtbaar dat de kool nieuw is of gereactiveerd.

concentratie (meer dan 1.000 maal hoger) aanwezig is dan bijvoorbeeld de organische microverontreinigingen) de actieve kool voorbeladen. Dat kan de standtijd van een filter aanzienlijk doen afnemen.

Bij actieve-koolfiltratie wordt meestal gewerkt met een van tevoren vastgestelde (schijnbare) contacttijd en lineaire snelheid. Deze schijnbare contacttijd hangt af van de doelstellingen van het bedrijf dat de actieve-koolfiltratie toepast. Bij de Nederlandse drinkwaterbedrijven varieert dit tussen 6 en 46 min. Gemiddeld wordt circa 20 min toegepast. In *Tabel 1* (zie hoofdstuk 4) is een overzicht gegeven van de in Nederland toegepaste typen en contacttijden. De doelstellingen zijn over het algemeen de doorbraak van een indicatieparameter (bijvoorbeeld een bepaalde organische stof, vaak een microverontreiniging) en/of het bereiken van een maximaal aantal bedvolumes of een bepaalde standtijd. De lineaire snelheid wordt meestal geadviseerd door de leverancier van de actieve kool. Deze kan ook per type verschillen en varieert tussen 5 en 14 m/h, met een gemiddelde van circa 9 m/h [19].

Na enige inlooptijd vindt er microbiologische groei plaats op de actieve kool in het filter, met inbegrip van kleine organismen die leven van de microbiologie op het filter. Ook dit kan van invloed zijn op de werking van een actieve-koolfilter. Vele kreeftachtige organismen (Crustacea) waaronder roeipootkreeften (Copepoda), verpakken hun afvalstoffen in een 'vlies' van organisch materiaal en scheiden deze uit als zogenaamde fecale pellets. De fecale pellets van roeipootkreeften uit actieve-koolfilters zijn veelal zwart van kleur, omdat ze kleine delen (gruis) van het actieve-koolmateriaal bevatten. Het is aangetoond dat op een zeker moment doorslag plaatsvindt van deze fecale pellets. Om deze doorslag te verwijderen, kan eventueel nog een zandbed of zandfilter worden gebruikt onder of na de actieve-koolfiltratie. Om de biologische stabiliteit van het water en de doorslag van fecale pellets te verbeteren, heeft drinkwaterbedrijf Evides Waterbedrijf in 2020 hiernaar onderzoek gedaan [12]. In dat jaar zijn alle actieve-koolfilters op drinkwaterproductielocatie 'Baanhoek' uitgerust met een zandlaag onder de actieve kool. De ervaring leert dat de scheiding van zand en kool geen enkel probleem vormt, zowel gedurende operatie als na spoeling blijven beide filtermaterialen goed gescheiden. Het doel van het aanbrengen van de zandlaag was om de deeltjeslast in de vorm van fecale pellets en meiofauna (dierlijke organismen) naar het leidingnet te verlagen. Daarnaast is gekeken of eventuele positieve effecten al zichtbaar waren in het leidingnet. Het aantal fecale pellets in het filtraat en het uitgaande reinwater bleek fors lager in vergelijking met voorgaande jaren. Dit gold ook voor de meiofauna, terwijl de totale biomassa werd gehalveerd. Uiteindelijk kan dit ook leiden tot een andere schoonmaakfrequentie van de reservoirs voor drinkwater en eventuele spui-acties in het leidingnet. Deeltjestellingen in het filtraat bleek een beperkt effect van het zandbed op de uitstoot van deeltjes kleiner dan 20 µm. Ook de uitgaande concentratie ijzer werd niet significant beïnvloed en bleef de biologische (in)stabiliteit van het uitgaande drinkwater gelijk.

3.5 Biologische actieve-koolfiltratie

Met een relatief lage dosering van ozon voor een actieve-koolfilter ontstaat biologische actieve-koolfiltratie. Als gevolg van voorbelading met NOM wordt bij 'normale' actieve-koolfiltratie de doorbraak van organische microverontreinigingen versneld. Door ozon en UV/waterstofperoxide voorafgaand aan actieve-koolfiltratie wordt de NOM-voorbelading verlaagd, omdat er dan minder adsorbeerbaar en meer biologisch afbreekbaar NOM ontstaat. Dit wordt bij drinkwaterbedrijf Waternet toegepast op twee drinkwaterproductielocaties (Leiduin en Weesperkarspel). Verschillende studies (TU Delft, Waternet, Evides Waterbedrijf) hebben aangetoond [28, 29, 30, 31, 32] dat dit principe in de praktijk werkt. Het belangrijkste resultaat is een verlengde standtijd van de actieve-koolfilters én een gedeeltelijke afbraak van verschillende door ozon afbreekbare organische stoffen tijdens de processtap met ozon.

Ook bij aerobe actieve-koolfiltratie zonder ozon vindt biologische afbraak van NOM plaats, de zogenaamde biodegradatie. Deze afbraak vindt plaats door aanwezige biologie in het actieve-koolfilter. Met name eencelligen en hogere organismen in het filter zijn hiervoor verantwoordelijk. De hoeveelheid door middel van biodegradatie afgebroken NOM is afhankelijk van de watermatrix en de bedrijfsvoering van het actieve-koolfilter. Aandachtspunt

bij deze filters is de consumptie van zuurstof door de biologie bij stilstand van het filter. Zuurstofloosheid van het filter treedt al snel op. Het filter bij stilstand recirculeren of filtreren met bedrijfswater voorkomt zuurstofloosheid.

3.6 Anaerobe of anoxische actieve-koolfiltratie

Op een aantal plaatsen in Nederland wordt anaeroob water door middel van actieve-koolfiltratie behandeld. Dit is het geval op drinkwaterproductielocaties van Brabant Water (drie locaties), Vitens en WMD Drinkwater. Deze methode is uitsluitend mogelijk onder de randvoorwaarde van de afwezigheid van nitraat [14] en zou bijvoorbeeld ook een pompfase kunnen schelen.

Brabant Water

Sinds januari 2020 draait op drinkwaterproductielocatie Helmond onafgebroken en zonder operationele problemen op één winput, een anaerobe actieve-koolfiltratie (géén nitraat) met een capaciteit van 75 m³/h [45]. Periodiek wordt dit filter gereactiveerd.

Sinds januari 2023 draait op drinkwaterproductielocatie Vessem onafgebroken en zonder operationele problemen op één ruwwatertak een anaerobe actieve-koolfiltratie (géén nitraat) met vier filters en een capaciteit van 375 m³/h.

Vitens

Verwijdering van chlooretheen en cis-1,2 dichloorethaan uit anaeroob water met actieve kool op Hasselo (proefonderzoek door Karl Borger). Deze techniek wordt vanwege de kosten niet toegepast in de praktijk.

WMD Drinkwater

Samen met WLN heeft het drinkwaterbedrijf een test gedaan (proefinstallatie op drinkwaterproductielocatie Noordbargeres) met actieve-koolfiltratie op anaeroob water en anoxisch water [14]. Het onderzoek met actieve kool op anaeroob water op een bron verliep zonder problemen. Ook het preventief spoelen van dit filter met anaeroob water ging goed. Vervolgens heeft dit filter twee jaar onafgebroken gedraaid zonder te spoelen, behalve na tweemaal reactiveren. Er was geen spoelwater en er waren geen problemen met ongewenste biologie en stilstand. Bij een test op een naburige andere bron bleek het water echter anoxisch te zijn (het water had geen zuurstof, maar wel nitraat). Door anoxische ijzeroxidatie met nitraat traden verstoppingsproblemen op en door afzetting van ijzer(hydr)oxide werkte de actieve kool minder goed voor de verwijdering van organische microverontreinigingen. Vanwege de anoxische ijzeroxidatie is besloten de actieve-koolfiltratie in Noordbargeres uit te voeren op aeroob water.

Pidpa

Het Vlaamse waterbedrijf Pidpa heeft in het verleden op de drinkwaterproductielocaties Westerlo en Herentals actieve-koolfiltratie toegepast op de ruwwaterstroom van een van de aanwezige grondwaterwinningen ten behoeve van de verwijdering van bestrijdingsmiddelen en metaboliëten.

3.7 Reactivatie van actieve kool

Inherent aan actieve-koolfiltratie is de periodieke reactivatie van het filtermateriaal na een bepaalde standtijd dan wel de hoeveelheid water die de kool heeft gepasseerd, ook wel het aantal bedvolumes (BV) genoemd. Er bestaat bij de drinkwaterproductielocaties een grote variatie in de standtijd van actieve-koolfilters. Gemiddeld duurt het 43.000 BV voordat actieve kool wordt gereactiveerd, maar dit varieert sterk en is afhankelijk van de locatie van het actieve-koolfilter, zie hiervoor ook Bijlage II (het bijbehorende Excel bestand). Vooral op basis van de kwaliteit van het filtraat wordt besloten of tot reactivatie wordt overgegaan en dan vooral vanwege de doorbraak van organische microverontreinigingen [26].

Voor de reactivatie van actieve kool is de Europese norm NEN-EN 12915-2 van toepassing (zie subparagraaf 2.2.2). Het is belangrijk dat daarbij de poriestructuur goed wordt hersteld en geadsorbeerd(e) stoffen en materiaal zoveel mogelijk worden verwijderd. Als dat niet gebeurt, neemt de adsorptiecapaciteit en daardoor de levensduur van de actieve kool af en neemt de frequentie voor reactivatie toe [20].

Omdat reactivatie van actieve kool relatief kostbaar is, zijn verschillende onderzoeken uitgevoerd naar het juiste moment daarvan of zelfs naar een eventuele verlenging van de standtijd [33, 34, 35, 36, 37, 38].

Er wordt opgemerkt dat reactivatie het joodgetal over het algemeen met niet meer dan 300 mg/g verhoogt. De leveranciers beschouwen deze parameter voornamelijk als een controle dat de kool is gereactiveerd en op een goede wijze het proces heeft ondergaan.

Verscheidende soorten actieve kool zijn niet geschikt voor reactivatie vanwege hun fysische eigenschappen. Ook economische redenen kunnen tegen reactivatie pleiten. Verder kunnen voor actieve kool waarbij accumulatie van bepaalde kritische stoffen zoals zware metalen en fluorkoolwaterstoffen heeft plaatsgevonden, de mogelijkheden van reactivatie beperkt zijn.

Reactivatie wordt eigenlijk altijd uitgevoerd op de site van de fabrikant, zodat daaraan de nodige logistieke bewegingen zijn verbonden. De daarbij gehanteerde methoden worden in de beide navolgende subparagrafen beschreven.

Meestal wordt actieve kool thermisch gereactiveerd onder anaerobe condities. De reactivatie kan in vier stappen worden onderverdeeld:

- 1 drogen van de kool bij temperaturen tot 200°C;
- 2 verdamping van vluchtige of instabiele organische stoffen bij temperaturen tot 500°C;
- 3 pyrolyse en gedeeltelijke verdamping van organische stoffen in de poreuze structuur van de actieve kool tussen 500°C en 700°C;
- 4 reactivatie van de porositeit en adsorptie-eigenschappen bij temperaturen tussen 700°C en 900°C.

Voor zover bekend, gebeurt de reactivatie door de leveranciers Cabot (Norit) en Chemviron op een vergelijkbare wijze.

Het thermisch reactiveren van actieve kool kost relatief veel energie en impliceert dus de nodige consequenties ten aanzien van duurzaamheid. Dit is verdisconteerd in praktijkcode [17].

Afhankelijk van de precieze omstandigheden van de reactivatie gaat daarbij als gevolg van bijvoorbeeld verbranding en/of afbraak van koolstofstructuren gemiddeld circa 10% van de actieve kool verloren. De aanwezigheid van calcium heeft een negatief effect op het reactivatieproces en het verlies van kool. Deze 'make-up losses' bedragen meestal 5 tot 15% en kunnen niet worden vermeden. Bovendien treden er verliezen van actieve kool op door erosie (slijtage) tijdens het spoelen en het transport ('top-up losses'). De verliezen moeten na elke reactivatie worden aangevuld met verse actieve kool ('make-up' respectievelijk 'top-up' actieve kool).

3.8 Einde levensduur van actieve kool

Het verlies van circa 10% bij reactivatie (zie vorige paragraaf) impliceert dat een koolfilter na ongeveer tien reactivaties volledig is vervangen.

Op dit moment vindt hergebruik van afgekeurde actieve kool aan het einde van de levensduur niet plaats. De actieve kool wordt dan teruggegeven aan de leverancier of aan AquaMinerals beschikbaar gesteld.

3.9 Opbrengsten van (lopend) onderzoek aan actieve kool

3.9.1 Alternatieve grondstoffen

Omdat granulaire actieve kool regelmatig moet worden gereactiveerd en minder effectief is voor kleine, goed wateroplosbare stoffen is onderzocht of dit kan worden ondervangen door actieve kool te gebruiken die is vervaardigd van fenolharsen of lignine [20]. Lignine (uit bomen, zie de webpagina [Lignine, groene grondstof voor chemicaliën en materialen - WUR](#)) heeft in tegenstelling tot fenolharsen het voordeel dat het relatief goedkoop is en veel voorkomt. Het blijkt dat actieve kool uit lignine goede adsorptie-eigenschappen bezit, ook voor kleine hydrofiele moleculen zoals fenol.

3.9.2 Verwijdering van organische microverontreinigingen inclusief PFAS

Organische microverontreinigingen komen in allerlei soorten en hoeveelheden voor, en zijn in meer of mindere mate met actieve kool te verwijderen. Hierover zijn veel onderzoeksrapporten en publicaties beschikbaar, zie hoofdstuk 8 en Bijlage IV. PFAS is een grote groep organische stoffen van organisch gebonden fluoride. PFAS komt wijdverspreid voor in het milieu, waaronder ook in bronnen voor de bereiding van drinkwater. Deze groep stoffen vormt een uitzondering op de ‘normale’ organische microverontreinigingen, omdat ze slecht afbreekbaar zijn (het zijn ‘forever chemicals’, chemische stoffen die nauwelijks biologisch afbreekbaar zijn) en daarnaast moeilijk te verwijderen uit water. Uit onderzoek blijkt dat actieve kool niet geschikt is voor de verwijdering van alle PFAS [13]. Kleine PFAS (korte ketenlengtes) zoals trifluorazijnzuur (TFA) en perfluorbutaan zuur passeren vrijwel ongehinderd een actieve-koolfilter. Grotere PFAS (lange(re) ketenlengtes) zoals perfluoroctaan zuur (PFOA) en perfluoroctaansulfonzuur (PFOS) worden weliswaar geadsorbeerd, maar blijken vaak eerder een actieve-koolfilter te passeren dan andere veel voorkomende organische microverontreinigingen. Door de aanwezigheid van PFAS blijkt actieve-koolfiltratie weliswaar toepasbaar voor de bereiding van drinkwater, maar de standtijd van actieve-koolfilters wordt met 75 – 80% significant verkort.

3.9.3 Verwijdering van nanodeeltjes

Nanodeeltjes (deeltjes van bijvoorbeeld zilver, goud en titaandioxide, en deeltjes van plastics (‘nanoplastics’)) worden in een breed scala aan producten toegepast of zijn afkomstig van afbraak. Ook komen die deeltjes in oppervlaktewater terecht dat als bron voor de bereiding van drinkwater wordt gebruikt. Een studie [24] onderzocht de verwijdering van synthetische nanodeeltjes door filtratie over granulaire actieve kool in vergelijking met coagulatie en zandfiltratie. In principe werd de meerderheid van de nanodeeltjes door actieve kool verwijderd. In genoemde studie werden nanodeeltjes van goud en zilver met een negatieve oppervlaktelading gebruikt, evenals nanoplastics die varieerden in grootte (50 en 200 nm) en oppervlaktelading (neutraal en negatief). Er werd vastgesteld dat de aanwezigheid van negatief geladen NOM een negatief effect had op de verwijdering van anorganische nanodeeltjes, terwijl de aanwezigheid van kationen zoals calcium en magnesium essentieel is voor een goede verwijdering. In kolomexperimenten werd aangetoond dat het mechanisme voor verwijdering van nanodeeltjes voor zandfiltratie verschilt van dat voor actieve-koolfiltratie. De aanwezigheid van biomassa op de actieve kool had een duidelijk negatief effect. Juist kleinere nanoplastics (50 nm) werden beter verwijderd door actieve-koolfiltratie in vergelijking met zandfiltratie. Voor kleinere nanodeeltjes spelen ladinginteracties een belangrijkere rol dan voor grotere.

3.9.4 Verwijdering van waterstofperoxide

Bij een UV/H₂O₂-proces kan actieve kool worden ingezet voor de verwijdering van restanten waterstofperoxide (zie § 1.2). Na deze oxidatiestap komt meestal een restconcentratie waterstofperoxide voor (afhankelijk van de gedoseerde hoeveelheid en het verbruik bij het UV/H₂O₂-proces) en dat is gezien de toxicologische aspecten ongewenst. Uit laboratoriumexperimenten [27] blijkt dat verse actieve kool beter in staat is om waterstofperoxide af te breken dan voorbeladen actieve kool. Een contacttijd van 5 min is voor zowel verse als voorbeladen actieve kool voldoende om 5 mg/l waterstofperoxide te verlagen tot < 0,019 mg/l (bijvoorbeeld drinkwaterproductielocatie Andijk van drinkwaterbedrijf PWN). De drinkwaterbedrijven hanteren een eigen bedrijfsnorm voor het resterende

waterstofperoxide, die lager moet zijn dan de onderste analysegrens. Op dit moment wordt in Nederland geen analysemethode voor waterstofperoxide volgens een (inter)nationale norm ingezet. Bij KWR Water Research Institute wordt als voorbeeld een eigen ontwikkelde methode gebruikt met een onderste analysegrens van 0,06 mg/l.

3.9.5 Rendementsverbetering actieve-koolfiltratie door voorafgaande membraanfiltratie

In verschillende studies [28, 39, 40, 41] is onderzocht of voorafgaande membraanfiltratie (NF en UF) een effect heeft op de standtijd van actieve-koolfilters of doorbraak van specifieke organische microverontreinigingen. Uit een studie van drinkwaterbedrijf Evides Waterbedrijf [28] blijkt dat het gebruik van een 1.000 D capillair NF een positief effect heeft op onder andere de biologische stabiliteit en verwijdering van een deel van het DOC en organische microverontreinigingen. Er blijkt verder dat de gedeeltelijke verwijdering van DOC onvoldoende is voor een verlenging van de standtijd van actieve-koolfilters door een latere doorbraak van organische microverontreinigingen. De beperkte verlenging van deze standtijd voor die microverontreinigingen (waaronder bentazon) bleek ook uit de resultaten van een uitgevoerd laboratoriumonderzoek bij voorbehandeling met een LMWCO-UF membraan met een vergelijkbare MWCO (1.000 D [41]).

Uit proefinstallatie- en laboratoriumstudies door KWR Water Research Institute met anaeroob grondwater van Vitens (drinkwaterproductielocatie Vechterweerd, [39, 40]) werd met voorafgaande NF (MWCO 100 – 200 D) voor bentazon een factor 13 verlenging van de standtijd voor actieve-koolfilters verkregen en bleek een contacttijd van 2 min voldoende voor een relatief lange standtijd. Het DOC en zouten werden door de NF voor een groot deel verwijderd, wat de verlenging van de standtijd verklaart.

3.9.6 Modelleren van actieve-koolfiltratie

Modelleren van actieve-koolfiltratie kan worden gebruikt om bijvoorbeeld de doorbraak van organische microverontreinigingen te voorspellen of om het proces beter te begrijpen en bij te sturen. De adsorptie van organische microverontreinigingen aan actieve kool in DOC-bevattend water is lastig te modelleren, omdat de aanwezigheid en samenstelling van NOM een grote rol spelen in de effectiviteit van het adsorptieproces. Om zowel de invloed van concurrentie voor adsorptieplaatsen als van de blokkering van de poriën in actieve kool mee te nemen, kan een 'drie componenten model' worden toegepast. Daarnaast is het belangrijk om ook filmlaagdiffusie in het model te implementeren. Het blijkt dat er meer experimentele data nodig zijn om het model te verbeteren [42]. Over het algemeen kan worden gesteld dat modellen, die het effect van de aanwezigheid van NOM op de adsorptie van organische microverontreinigingen beschrijven, steeds beter worden. De modellen voldoen echter nog niet in alle gevallen, doordat de invloed van NOM ook afhankelijk is van de aard van de te verwijderen organische microverontreinigingen. De verwachting is dat het uiteindelijk wel mogelijk wordt om onder realistische omstandigheden steeds beter betrouwbare inschattingen te kunnen maken van doorbraakcurves en daarmee de actieve-koolfiltratie te optimaliseren. Daarvoor is nog enig onderzoek noodzakelijk.

Voor de drinkwatersector is de webapplicatie [AquaPriori](#) beschikbaar (zie ook de webpagina [Actieve-koolfiltratie - Praktijkcodes Drinkwater](#) van de website www.PraktijkcodesDrinkwater.nl). Daarmee kan een inschatting worden gemaakt of een stof door middel van actieve-koolfiltratie (en ook RO) kan worden verwijderd. De inschattingen van het model voor actieve-koolfiltratie moeten wel met voorzichtigheid worden gebruikt, gezien de invloed van NOM (zie vorige alinea).

3.9.7 Chemische reactivatie

Behalve thermische (zie § 3.7) kan ook chemische reactivatie worden overwogen. Deze reactivatie kan vooral interessant zijn als de actieve kool wordt gebruikt voor de verwijdering van PFAS. Uit onderzoek van drinkwaterbedrijf Evides Waterbedrijf en KWR Water Research Institute blijkt dat chemische reactivatie in principe weliswaar mogelijk is, maar dat de implementatie in de praktijk enkele flinke uitdagingen met zich zal meebrengen. Het rapport over dit onderzoek wordt medio 2025 afgerond [44].

4 Ontwerpeisen

4.1 Inleiding

Het ontwerp van iedere zuiveringsstap en dus ook van actieve-koolfiltratie dient ‘hygiënisch ontwerpen’ als uitgangspunt te hebben. Voor die manier van ontwerpen is er primair de praktijkcode [PCD 1-8](#) [5]. Die praktijkcode (i) is nauw verwant aan de praktijkcode [PCD 1-3](#) [6], (ii) richt zich op de hygiënische aspecten in het traject van het ontwerp, de bouw en de ingebruikneming van nieuwe en gerenoveerde (onderdelen van) zuiveringen, en (iii) is tot stand gekomen door input van (werktuig)bouwkundigen, beheerders van productiebedrijven en procestechnologen van alle drinkwaterbedrijven. Hygiënisch ontwerpen en bouwen betaalt zich terug bij de ingebruikneming, de inbedrijfneming en de reguliere bedrijfsvoering van een zuivering.

Voor het optimale begrip van een zuiveringstechniek in de praktijk kan voorafgaand onderzoek op pilotschaal zinvol zijn. In het kader van dergelijk onderzoek kunnen ook aandachtspunten voor de bedrijfsvoering en de reiniging worden verzameld. De kwaliteit van het voedingswater, de vooraf geschakelde zuiveringsstappen / positie in de totale zuiveringstrein, het beoogde zuiveringsdoel zijn belangrijke onderzoeksdoelen waar middels proefinstallatieonderzoek inzicht in wordt verkregen en de juiste afwegingen kunnen worden gemaakt.

Indien nodig kan in verband met actieve-koolfiltratie de bouw van extra procestechnische faciliteiten zoals bezinkingsbekkens of systemen voor het doseren van vlokmiddelen nodig zijn. In het geval van thermisch ge(re)activeerde actieve kool kan het geloosde slibhoudende spoelwater aanvankelijk een aanzienlijk verhoogde pH-waarde hebben en moet het mogelijk worden geneutraliseerd (met de levering van aangezuurde (gereactiveerde) actieve kool kan dit fenomeen in ieder geval teniet worden gedaan en dit biedt dus (grote) voordelen), voordat het op het oppervlaktewater wordt geloosd. In het geval van actieve kool op basis van steenkool kunnen ook verhoogde concentraties arseen, antimoon, aluminium en nikkel aanwezig zijn in het slibhoudende spoelwater. Voor de lozing van het eerste filtraat en (slibhoudende) spoelwater geldt het [Besluit lozen buiten inrichtingen](#) met inbegrip van het toepassing zijnde overgangsrecht, zie de webpagina [Overgangsrecht Besluit lozen buiten inrichtingen | Informatiepunt Leefomgeving](#). Voor drinkwater is met name [Artikel 3.22](#) van genoemd besluit van belang.

4.2 Eigenlijke actieve-koolfiltratie

4.2.1 Waterkwaliteit

De volgende gegevens met betrekking tot de waterkwaliteit van de actieve-koolfiltratie moeten vooraf bekend zijn (afhankelijk van de doelstelling van de actieve-koolfiltratie):

- de waterkwaliteit van het voedingswater, rekening houdend met tijdelijke schommelingen respectievelijk verschillende samenstellingen bij gemengd water;
- de waterkwaliteit van het filtraat.

4.2.2 Waterkwantiteit en parameters filtratieproces (bedvolume, contacttijd, filtratiesnelheid en standtijd)

De volumestroom van het te behandelen water van een installatie moet bekend zijn, met inbegrip van de variaties daarin. Die volumestroom moet zo constant en gelijkmatig mogelijk zijn en over de eventuele verschillende straten worden verdeeld. Het aantal parallel geplaatste filters blijkt in de praktijk van de Nederlandse drinkwaterbedrijven (zie Bijlage II en dan het bijbehorende Excel bestand) te variëren van 1 (drinkwaterproductielocaties Helmond van Brabant Water en De Beitel van WML) tot 44 (drinkwaterproductielocatie Beerenplaat van Evides Waterbedrijf), mede afhankelijk van de benodigde capaciteit.

Bedvolume en -hoogte

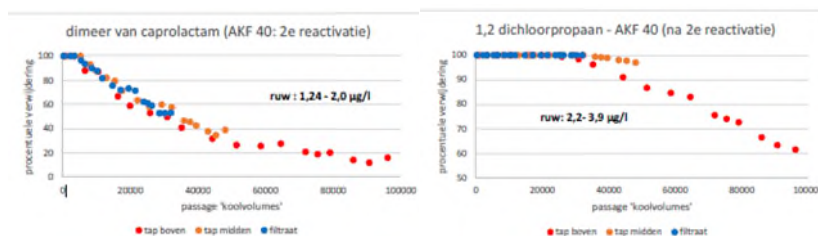
De ontwerpparameter voor actieve-koolfiltratie is contacttijd. In combinatie met de te behandelen volumestroom volgt hieruit een totale hoeveelheid actieve kool. Deze hoeveelheid (volume) wordt verdeeld over een te kiezen aantal filters. De bedhoogte is vervolgens afhankelijk van het aantal koolfilters (In de praktijk gaat het vaak om filterhoogten tussen 1,5 m en 4,0 m). Het type en de grootte van die filters kan per drinkwaterbedrijf verschillend zijn.

Bij het dimensioneren van de grootte van de filters moet zoveel mogelijk rekening worden gehouden met het volume van een bulktransport voor zowel droge als natte kool, om met maximaal gevulde vrachtwagens bij levering en in het geval van reactivatie te rijden. Voor het juiste volume van één bulktransport wordt de leverancier van de actieve kool gecontacteerd.

Contacttijd en filtratiesnelheid

Bij de gebruikelijke filtratiesnelheden tussen 5 m/h en circa 15 m/h ligt de theoretische retentietijd tussen 10 en 30 min. De contacttijd varieert in de praktijk van ongeveer 6 min tot maximaal 50 min en de snelheid van circa 5 tot 14 m/h, en die snelheid is in een enkel geval maximaal 50 m/h, (zie *Tabel 1*, Bijlage II (het bijbehorende Excel bestand) en [25]).

Uit onderzoek op drinkwaterproductielocatie Kralingen van drinkwaterbedrijf Evides Waterbedrijf is gebleken dat contacttijden van 20 min en 40 min dezelfde doorbraakcurves opleveren (uitgedrukt in bedvolumes) [46]. Bij lagere contacttijden (bijvoorbeeld < 20 min) zou een punt kunnen komen dat er verschillen gaan ontstaan. Uit ervaringen met pilotonderzoek op drinkwaterproductielocatie Noordbargeres (WMD Drinkwater) blijkt dat dit effect verschillend kan zijn voor afzonderlijke parameters. Zo was bij de adsorptie van het dimeer van caprolactam geen of nauwelijks verschil te zien tussen adsorptie na 8, 16 of 24 min, maar bleek er voor 1,2-dichloorpropan wel sprake te zijn van een verschil.



Figuur 1 Doorbraakcurves van het dimeer van caprolactam en 1,2-dichloorpropan bij verschillende oplopende contacttijden (WMD Drinkwater).

Te lange retentietijden (> 30 min) kunnen een verslechtering van de chemische waterkwaliteit van biologisch actieve filters veroorzaken door gebrek aan zuurstof. Dit is vooral belangrijk bij lage concentraties zuurstof in het voedingswater. In zuurstofloze omstandigheden bestaat de kans op de vorming van nitriet en waterstofsulfide. Daarom wordt aanbevolen om een continue meting van zuurstof te installeren in zowel het voedingswater als het filtraat. Als tegenmaatregel voor de korte termijn kan actieve beluchting van het voedingswater plaatshebben. In principe moet worden gestreefd naar een continue werking van de actieve-koolfilters. De mogelijke duur van bedrijfsonderbrekingen zonder aansluitend spoelen en een eerste reductie van het filtraat moet per geval worden gecontroleerd, rekening houdend met de microbiologische parameters, zuurstofdepletie en vorming van nitriet, waterstofsulfide en koolzuur.

4.2.3 Voorzieningen in verband met terugspoelen

Actieve-koolfilters moeten tijdens de bedrijfsvoering (periodiek) kunnen worden teruggespoeld (zie § 3.4), zodat daarvoor voorzieningen beschikbaar moeten zijn. Het toegevoerde spoelwater moet ten minste de kwaliteit van het filtraat hebben. De vereiste spoelsnelheden voor voldoende fluïdisatie liggen meestal tussen 15 en 30 m/h

(indicatief). Hierbij zijn de specificaties van de leverancier van toepassing (randvoorwaarde is dat er voldoende bedexpansie mogelijk is). Deze snelheid is voornamelijk afhankelijk van de korrelgrootte en dichtheid van de gebruikte actieve kool en de temperatuur van het spoelwater. De bijbehorende gegevens zijn te vinden in de technische informatiebladen van de fabrikanten of kunnen worden bepaald door middel van spoeltesten in pilotopstellingen. Het vrijboord van de filters moet zodanig worden gedimensioneerd dat wanneer de gewenste mate van fluïdisatie of expansie van het bed wordt bereikt, er geen materiaal wordt afgevoerd via het slibhoudende spoelwater. In het geval met lucht wordt gespoeld, dient ook met voldoende vrijboord rekening te worden gehouden om de achtergebleven luchtbellen in het filterbed na de luchtspoeling met de waterspoeling te verdrijven voordat het water deze via de 'overstort' wordt afgevoerd. Voor de in de praktijk gebruikte actieve-koolkorrels en de bovengenoemde spoelsnelheden kan een bedexpansie van 20 tot 40% worden aangenomen. Er wordt opgemerkt dat in het geval van open filters met afvoer van het slibhoudende spoelwater via goten, het horizontale stromingstraject tot aan de overlooprand van de goot niet meer dan 3 m mag bedragen.

Bij actieve-koolfiltratie wordt geen gebruik gemaakt van water/luchtspoeling. Soms wordt lucht separaat ingezet om een bed te breken als dat met uitsluitend water niet lukt.

4.2.4 Standtijd en bedvolumes

De standtijd /maximale filterlooptijd of het aantal bedvolumes wordt voornamelijk bepaald door:

- rol en doel van de (actieve) koolfiltratiestap en dus het criterium voor reactivatie;
- de kwaliteit van het ruwe water;
- de vereiste filtraatkwaliteit en minimaal benodigde (resterende) adsorptiecapaciteit;
- reactiveerbaarheid (belading van de actieve kool met anorganische stoffen, waardoor reactivatie niet meer mogelijk is).

4.2.5 Locatie: binnen of buiten

Bij voorkeur moet de installatie voor actieve-koolfiltratie in een gebouw worden geplaatst. Bij plaatsing in de buitenlucht moeten extra maatregelen worden getroffen voor wat betreft bescherming tegen weersinvloeden en vandalisme [5, 6].

4.2.6 Toegankelijkheid, bereikbaarheid en continuïteit

Alle onderdelen van de installatie moeten goed toegankelijk zijn voor controle en onderhoud. Dat wil zeggen dat de installatie zo moet worden ingericht en de onderdelen zo moeten worden geplaatst dat die relatief eenvoudig kunnen worden gedemonteerd (bijvoorbeeld in verband met reinigen of vervangen).

De aanbeveling wordt gedaan om in verband met onderhoud ten minste twee installaties parallel te plaatsen.

4.2.7 Aard van het filter

Actieve-koolfilters worden ontworpen als open bakken (gravitatiefilter) of als gesloten (druk)filters. Vaak is deze keuze bedrijfsspecifiek of (in het geval er bijvoorbeeld al filterbakken beschikbaar zijn) pragmatisch van aard. Ook de hydraulische (druk)lijn en pompgroepen spelen een rol. Het historisch ontwerp is dan bepalend. Bij nieuwbouw spelen voornamelijk ruimte en kostenafwegingen hierin een rol.

Het drukverlies van het filterbed is in het algemeen van geen betekenis voor de werking van gesloten drukfilters. Daarmee moet echter wel rekening worden gehouden bij de dimensionering van de overdrukruimte voor het bovenwater op het actieve-koolbed van open filters of bij het ontwerp van gesloten filters van gewapend beton. In het algemeen geldt: hoe kleiner de deeltjesgrootte, hoe groter het drukverlies.

Ondersteunende lagen grind moeten worden vermeden, omdat een deel van het grind met de actieve kool wordt afgevoerd wanneer deze wordt verwijderd en tot problemen kan leiden tijdens de reactivatie.

Om te voorkomen dat actieve-koolmateriaal in de opvangkamer van het filtraat terecht komt, moeten de sleufbreedten van de ‘monden’ van de filterdoppen en de korrelgrootte van de actieve kool op elkaar zijn afgestemd (spleetbreedte kleiner dan de kleinste korrel).

4.2.8 Materialen

Voor materialen en daarop gebaseerde producten die in contact (kunnen) komen met voor de menselijke consumptie bestemd water (inclusief coatings) is er de Regeling [2], zie hoofdstuk 2 van de voorliggende praktijkcode en dan met name § 2.2. Staal, beton en kunststof materialen kunnen worden gebruikt als materialen voor (behuizingen van) filters in brede zin en het bijbehorende leidingwerk.

De behuizing van een actieve-koolfilter kan worden vervaardigd van staal met een coating of van beton (met een coating). Hiervoor wordt verwezen naar § 4.2 ‘Onderdelen en materialen ten behoeve van opslagsystemen voor (drink)water’ van hoofdstuk 4 ‘Toepassing van normen en regelgeving’ van praktijkcode PCD 4⁷ [7]. In het geval van filters van niet-gecoat beton zijn gladde en (voor zover mogelijk) poriënvrije oppervlakken mogelijk. Voor omstandigheden met beperkte druk kunnen betonnen bakken ook worden ontworpen als gesloten filters.

De materialen en daarop gebaseerde producten ten behoeve van een installatie voor actieve-koolfiltratie moeten zo worden gekozen dat (i) de bescherming tegen corrosie is gegarandeerd en (ii) de installatie bestand is tegen de beoogde manier van reinigen (bijvoorbeeld zuur, hoge druk), zie ook praktijkcode PCD 4 [7]. Ook materialen kunnen onder bepaalde omstandigheden door het te behandelen water worden aangetast, bijvoorbeeld beton (zie de praktijkcode PCD 14-2 [11]).

Ongelegeerd staal is niet geschikt voor direct contact met actieve kool. Onderdelen van dat materiaal moeten worden beschermd tegen corrosie door middel van een coating of cementmortelbekleding, zie praktijkcode PCD 4 [7] en dan met name de hoofdstukken 4 en 7. In die praktijkcode komt ook de kathodische bescherming van stalen constructies aan de orde. Ontwerp en toepassing daarvan worden beschreven in de Europese norm NEN-EN 12499.

Aangezien actieve kool tot corrosie leidt als het in direct contact komt met metalen onderdelen, mogen uitsluitend hoogwaardige RVS of corrosiebestendige (metalen) materialen worden gebruikt. Roestvaststaalsoorten zoals 1.4404 en 1.4571 (DIN-aanduidingen⁸) zijn geschikt. Als er een verhoogd risico op corrosie is door hoge concentraties chloride in het water, verdienen materialen zoals titanium en op nikkel gebaseerde legeringen (bijvoorbeeld 2.4856, zie de webpagina <https://www.steelinox.nl/nl/kwaliteiten/nickel-alloys/inconel-alloy-625-2.4856-uns-n06625>) technisch gezien de voorkeur. Ook RVS met een relatief hoog gehalte aan chroom (> 20%) en molybdeen wordt gekenmerkt door een uitstekende corrosiebestendigheid (bijvoorbeeld (DIN-aanduidingen) 1.4539 en 1.4462⁹).

4.2.9 Filtermateriaal inclusief voorzieningen voor de levering en faciliteiten voor de opslag

Voor de verschillende typen actieve kool die beschikken over een erkende kwaliteitsverklaring volgens de Regeling [2] en die afhankelijk van de toepassing of het doel worden toegepast, zie de webpagina gecertificeerde bedrijven en producten van de website www.PraktijkcodesDrinkwater.nl.

⁷ Ondanks de titel ‘Richtlijn voor systemen voor de opslag van drinkwater’ van deze praktijkcode is in hoofdstuk 1 ‘Onderwerp’ daarvan het volgende opgenomen: ‘Deze praktijkcode kan ook worden toegepast voor andere constructies in de drinkwaterbereiding, bijvoorbeeld filterbakken en opslagsystemen voor spoelwater. Aan dergelijke (betonnen) constructies worden soms vergelijkbare eisen gesteld als aan die voor reservoirs voor (drink)water.’

⁸ De corresponderende AISI-aanduidingen zijn 316L respectievelijk 316Ti.

⁹ De corresponderende AISI-aanduidingen zijn 904L en Duplex.

In Tabel 1 is een overzicht gegeven van de door de Nederlandse drinkwaterbedrijven gebruikte granulaire actieve kooltypen.

Tabel 1 Overzicht van door Nederlandse drinkwaterbedrijven gebruikte typen actieve kool.

Drinkwaterbedrijf	Leverancier	Toegepast type	Diameter korrels / UC (mm / -)	Toegepaste contacttijd (min)	Gemiddelde standtijd (kBv of jaar)
Brabant Water	Chemviron	F400, F400-PH	0,55-0,75 / 1,9	18 - 20	38 - >60
Evides Waterbedrijf	Chemviron	TL830, F400, F300	1,4 / 1,4 0,55-0,75 / 1,9 0,8-1,0 / 2,1	20 - 40	51-10-15
Oasen	Chemviron	F400	0,55-0,75 / 1,9	13 - 40	16 - 76
PWN	Norit/Cabot NL	ROW 0,8S ¹ , RO 3520	< 0,6 max 1% 0,42-0,85	18 - 40 6 - 8	20 Geen reactivatie
	Chemviron	TL 830	1,4 / 1,4	18 - 40	20
Vitens	Chemviron	F400	0,55-0,75 / 1,9	18 - 23	90 of 1 keer per jaar
	Norit/Cabot NL	GAC 1020, ROW 0,8S ¹	< 0,6 max 1% 0,85-2,0	13 9 - 34	3 jaar 2 keer per jaar tot 8 jaar
Waternet	Norit/Cabot NL	ROW 0,8S ¹ , GAC 830	< 0,6 max 1% 0,55-2,38	40 40	20 - 47 20
	Chemviron	F300, TL830	0,8-1,0 / 2,1 1,4 / 1,4	40 40	20 - 47 20 - 47
	Jacobi	AquaSorb K-6300 8x30 ³	0,6 - 2,36 / 1,6	40	20
Waterbedrijf Groningen	Norit/Cabot NL	GAC 1240	0,37-1,41	20 - 60	69
WMD Drinkwater	Chemviron	TL830-PH	1,4 / 1,4	20	n.b.
WML	Chemviron	F400, TL830	0,55-0,75 / 1,9 1,4 / 1,4	12 - 18 21	272 ² 75
	Norit/Cabot NL	ROW 0,8S ¹	< 0,6 max 1%	20	64

- 1) De ROW 0,8S betreft een geëxtrudeerde kool (langwerpige hagelslagjes), waarvan geen korreldiameter kan worden gegeven.
- 2) Deze standtijd bij WML staat ter discussie.
- 3) Dit type actieve kool beschikt niet over de voorgeschreven erkende kwaliteitsverklaring en wordt door Jacobi in Nederland niet meer actief verkocht of gereactiveerd.

Wat de korrelgrootte betreft, worden in de waterbehandeling doorgaans soorten actieve kool in het bereik van 0,6 mm tot 2,36 mm (8 x 30 mesh) of 0,425 mm tot 1,70 mm (12 x 40 mesh) ingezet, maar ook andere bereiken kunnen worden overeengekomen met de leverancier. Aangezien de adsorptiekinetiek toeneemt met afnemende deeltjesgrootte, kan de inzet van een kleinere deeltjesgrootte theoretisch een gunstig effect hebben op het adsorptievermogen of de standtijd.

In het geval de (gereactiveerde) actieve kool wordt aangevoerd met silovoertuigen, gebeurt dat bij voorkeur hydraulisch. Hiervoor moet water in voldoende hoeveelheid en druk beschikbaar zijn. Het gebruik van 3 m³ water per m³ actieve kool wordt aanbevolen. De stroomsnelheid van de suspensie mag niet lager zijn dan 1,2 m/s en niet hoger dan 3 m/s. Te lage snelheden kunnen bezinking van de actieve kool in de leiding veroorzaken, terwijl

onderdelen die met een te hoge snelheid worden doorstroomd onderhevig zijn aan abrasieve slijtage. De drukverliezen voor het transporteren van de suspensie van granulaire actieve kool zijn ongeveer 10% hoger dan die voor het transporteren van puur water bij de hierboven genoemde verhouding tussen water en koolstof. Over het algemeen moet worden gestreefd naar korte en directe leidingen. Het leidingmateriaal kan van RVS zijn en ook PE of PVC kunnen worden gebruikt. De inzet van flexibele leidingen is ook mogelijk. Daarvoor worden slijtvaste zuig- en drukslangen met een geïntegreerde spiraal aanbevolen. Er moet rekening worden gehouden met de materiaal- en productspecifieke randvoorwaarden, vooral met betrekking tot de bedrijfsdrukken.

Voor de randvoorwaarden met betrekking tot de benodigde voorzieningen ten behoeve van de levering (granulaire actieve kool wordt meestal geleverd in silovoertuigen en door middel van een injector in de waterstroom in de filters gespoeld) en zo nodig de opslag (levering is ook mogelijk in zakken of zogeheten big bags) van granulaire actieve kool wordt verwezen naar de praktijkcode [PCD 17](#) [9].

4.2.10 Aerobe of anaerobe filtratie

De keuze voor aerobe of anaerobe actieve-koolfiltratie is sterk afhankelijk van lokale omstandigheden en kan ook afhangen van andere omstandigheden. Voor de keuze zijn de volgende overwegingen mogelijk.

- Op basis van de waterkwaliteit, zuiveringsdoel en de rol van de actieve-koolfiltratie in de gehele integrale zuivering.
- De actieve-koolfiltratie vormt de laatste stap van de zuivering en functioneert daarom onder aerobe omstandigheden. Normaliter wordt er dan geen extra lucht of zuurstof gedoseerd. Dit kan wel nodig zijn (na de actieve-koolfiltratie) om anaerobe condities te voorkomen, in het geval nog een langzame-zandfiltratiestap volgt om biologisch materiaal af te vangen.
- Spoelwaterverlies (uitsluitend anaeroob spoelen bij opstart, niet gedurende de standtijd).
- Afhankelijk van de praktijkomstandigheden wanneer actieve-koolfiltratie moet worden geïmplementeerd in een bestaande of nieuwe zuivering (hydraulische lijn, afhankelijk van deelstroom, volstroom of op winputniveau); als hierin al is voorzien tijdens de bouw, is ook de keuzevrijheid groter.
- Pragmatische technologische keuze voor de plaats in de zuivering, afhankelijk van zuiveringsdoel, (vuil)belasting, operationeel en/of kosten.
- Anaeroob water heeft amper deeltjes en bacteriegroei, waardoor niet behoeft te worden teruggespoeld.
- Als terugspoelen niet nodig is, blijft het adsorptiefront in het filterbed behouden en is er minder kans op desorptie.
- De bestaande lagedrukpompen in de watervangputten zijn voldoende om de extra drukval te overwinnen, voorkomen een extra pompfase.
- In het geval van plaatsing in de zuivering vóór de filtratiestappen; als er dan deeltjes vrijkomen, is dat geen probleem.
- De kans op overgang van aeroob naar anaeroob is afwezig bij een anaeroob filter.
- De mogelijkheid om deelstromen en/of aparte watervangputten te behandelen.
- In het geval terugspoelen nodig is, moet dit ook met anaeroob water gebeuren en is het niet evident om voldoende terugspoeldebiet te bereiken zonder extra voorzieningen.
- Bij aanwezigheid van nitraat in anoxisch water (zie ook [14]) is 'anaeroob' niet mogelijk, omdat er microbiologische oxidatie van ijzer kan optreden bij de reductie van nitraat.
- Verdeling waterkwaliteit van de pompputten, met de volgende vragen: Is de adsorptiestap noodzakelijk vóór alle pompputten of zitten er een paar 'vervuilers' tussen? (in het laatste geval kan voor een brongerichte aanpak worden gekozen) Wordt het filter puur adsorptief ingezet (anaeroob) of is biologische omzetting tot op zekere hoogte wenselijk (aeroob)?

4.2.11 Voorzieningen in verband met reactivatie

In het geval van open filters of filters die met een lichte overdruk werken, wordt het te reactiveren actieve-koolmateriaal voornamelijk door middel van waterstraal- of stromingspompen uit de filters verwijderd, waarvoor

dus voorzieningen aanwezig dienen te zijn. Binnen de filters kan de afvoer van de actieve kool worden ondersteund door een sproeiersysteem met watertoevoer, in combinatie met een afvoergoot ingebed in de filterbodem. Er moeten voorzieningen aanwezig zijn om het overtollige water van de silovoertuigen af te voeren. Indien nodig moet dit water op dezelfde manier worden behandeld en afgevoerd als het slibhoudende spoelwater.

4.3 Overige eisen

4.3.1 Voorzieningen ten behoeve van waterkwaliteitsbeoordeling

Naast de monsternemingspunten voor het voedingswater en het filtraat dienen er extra mogelijkheden te zijn voor het nemen van watermonsters van verschillende hoogtes van het filterbed op bijvoorbeeld één filter, die minimaal om de 0,5 m moeten worden aangebracht. Indien nodig kunnen op basis van de opbrengsten van de waterkwaliteitsbeoordeling doorbraakcurves van diverse hoogtes worden opgenomen.

4.3.2 Meet- en regelapparatuur

De volgende bedrijfsparameters moeten worden gemeten en eventueel met de overeenkomstige streef- en interventiewaardes worden geïntegreerd in een procesbesturingssysteem:

- algemeen: eventueel het niveau (waterpeil) in de installatie;
- parameters: zuurstof, pH;
- gelijkloopregeling (water evenredig verdelen over de in bedrijf zijnde koolfilters) met afsluiters en flowmeter per filter;
- hoogtemeting.

5 Realisatie

Een actieve-koolfiltratie-installatie moet worden gerealiseerd volgens de ontwerpeisen zoals die in het vorige hoofdstuk zijn geformuleerd. Bij de realisatie dient verder rekening te worden gehouden met relevante randvoorwaarden zoals die zijn vastgelegd in de volgende documenten:

- hoofdstuk 4 'Richtlijnen bij bouw en renovatie' van de praktijkcode PCD 1-8 [5];
- hoofdstuk 7 'Algemene eisen voor normen voor producten' en ook hoofdstuk 8 'Controles, beproevingen en ingebruikneming' (in verband met de ingebruikneming van filters) van de praktijkcode PCD 4 [7];
- 'Checklist vervoer en opslag van onderdelen van leidingen en de zuivering' (§ 2.2 van hoofdstuk 2 'Checklists' van de praktijkcode PCD 1-6 [8].

De onder de twee eerste bullets genoemde hoofdstukken gaan in op de realisatie van installaties respectievelijk reservoirs voor (drink)water overeenkomstig de in eerdere hoofdstukken omschreven programma's van eisen voor hygiënisch ontwerpen. De onder de laatste bullet genoemde checklist uit het werkboekje is bedoeld voor operators en monteurs van aannemers, en is ook voor de realisatie van een installatie relevant.

Onderdelen en materialen ten behoeve van de installatie dienen te beschikken over een erkende kwaliteitsverklaring volgens de Regeling [2], zie § 2.2 van deze praktijkcode en ook § 4.2 'Onderdelen en materialen ten behoeve van opslagsystemen voor (drink)water' van hoofdstuk 4 'Toepassing van normen en regelgeving' van de praktijkcode PCD 4 [7].

Bij het verwerken van RVS onderdelen moet ervoor worden gezorgd dat de betreffende onderdelen vrij zijn van spleten en spanningen.

6 Bedrijfsvoering

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zijn ervaringen van diverse drinkwaterbedrijven qua bedrijfsvoering ten aanzien van installaties voor actieve-koolfiltratie verdisconteerd ('do's', 'don't's' en 'vraagtekens').

Tijdens het vervoer en het overbrengen tot in het filter of in de opslag mag de actieve kool (zowel vers als gereactiveerd) niet verontreinigd raken en mogen de eigenschappen daarvan niet negatief worden gewijzigd en/of verontreinigd met vreemde stoffen als gevolg van adsorptie van stoffen uit de omgevingslucht, zie hiervoor de praktijkcode [PCD 17](#) [9]. Om dezelfde reden moet actieve kool droog worden opgeslagen; vochtige opslag is slechts beperkte tijd mogelijk.

Voor de reguliere bedrijfsvoering van actieve-koolfilters wordt in verband met hygiënisch werken in de zuivering (algemeen) primair verwezen naar praktijkcode [PCD 1-3](#) [6] en dan met name de hoofdstukken 4 'Algemene richtlijnen voor hygiënisch werken' en 3 'Waterkwaliteitsbeoordeling'. Daarnaast wordt verwezen naar het bijbehorende werkboekje, de praktijkcode [PCD 1-6](#) [8].

6.2 Veiligheid

Natte actieve kool onttrekt zuurstof uit de omgevingslucht. Het betreden van gesloten of slecht geventileerde filters gevuld met actieve kool is om reden van veiligheid pas toegestaan, nadat de concentratie zuurstof is bepaald ('vrije meting') en goed bevonden.

6.3 Ingebruikneming

Voordat een filter met actieve kool wordt gevuld, wordt er een waterslot (circa 1 m) in het filter gemaakt.

Indien gewenst kunnen nieuwe filters bij een hogere temperatuurwatertemperatuur (seizoensinvloeden) in gebruik worden genomen om de biologie sneller op te starten. Dit heeft echter wel het gevolg dat het aantal bedvolumes (indirect maat voor de gemiddelde adsorptiecapaciteit) geen eenduidig zaagtandpatroon over een jaar maakt. Deze afweging is dus afhankelijk van het zuiveringsdoel, biologische verwijdering van organische stoffen versus gemiddelde adsorptiecapaciteit voor de verwijdering van organische microverontreinigingen.

De verse of gereactiveerde actieve kool wordt in droge vorm of als slurry overgebracht in het filter. Bij filters met twee kamers moet het filtermateriaal gelijkmatig worden verdeeld over beide kamers.

6.4 Inbedrijfneming (na reactivatie)

De inbedrijfneming van meerdere filters moet bij voorkeur op verschillende momenten, verspreid over een tijdsperiode plaatsvinden. Dit zorgt voor een uniforme kwaliteit van het gemengde koolfiltraat tezamen, die altijd (in eerste instantie niet als gevolg van nitriet) beter is dan de kwaliteit van het filtraat aan het einde van een standtijd. Dit betekent extra veiligheid respectievelijk maakt langere standtijden mogelijk met behoud van het doel van de actieve-koolfiltratie van het gemengde water.

6.4.1 Eventuele gewenste voorbehandeling van actieve kool voor gebruik

In het geval de actieve kool droog in een filter is overgebracht, wordt die afhankelijk van het type gedurende enkele dagen 'geweeakt'. Dit heeft als doel de verzadiging van de interne poriestructuur van de korrel met water te bereiken.

Na het vullen van een filter (en eventueel weken) wordt de actieve kool eerst met water 'teruggespoeld'. Dat 'terugspoelen' gebeurt van beneden naar boven bij voldoende bedexpansie, in eerste instantie met lage en vervolgens oplopende snelheden. Hierbij worden de 'fines' (stofdeeltjes) en de ondermaatse korrels verwijderd, die anders zouden kunnen zorgen voor een verhoging van de drukval over het filterbed en zelfs verstopping. Het spoelen moet dus zodanig worden uitgevoerd dat stof en ondermaatse deeltjes wél worden uitgespoeld, maar het eigenlijke filtermateriaal níet wegspoelt. Dit spoelen moet ten minste worden uitgevoerd tot aan (visueel) 'schoon spoelen'. Na reactivatie blijken de eerste 10 – 15 bedvolumes aan spoelingen (situationeel en/of bedrijfsspecifiek) nog veel fines te bevatten.

Het terugspoelen kan direct worden gevolgd door een extra spoelstap (eveneens van beneden naar boven), waarbij de in water oplosbare bestanddelen van de actieve kool worden verwijderd.

Drinkwaterbedrijf Waternet paste voorheen een 'ETSW-spoeling' toe ('Extended Terminated Subfluidization Wash'). Dat is een variant van het spoelprogramma die op zand/dubbellaags of koolfilters kan worden toegepast. De ETSW-spoeling kenmerkt zich door aan het einde van de aframpfase van de waterspoeling een lage spoelsnelheid voor langere duur vast te houden, voordat de waterspoeling wordt afgerond en is dus een verlenging van de bestaande waterspoelfase. De terugspoelsnelheid waarmee dit gebeurt, is de 'omgedraaide' gemiddelde filtratiesnelheid die door/op het drinkwaterbedrijf/betreffende zuivering wordt toegepast. De tijdsduur van de verlengde fase wordt proefondervindelijk vastgesteld en ligt tussen 10 – 30 min. De voordelen van ETSW zijn (i) een geleidelijke en betere stapeling / zetting van het koolbed, (ii) verkleining van de ruimte tussen de filterkorrels, (iii) verbetering van het filterend vermogen en (iv) minder neerslag van deeltjes en doorslag van organische stof. Hierdoor wordt ook de 1 – 2 uur durende troebelheidpiek geminimaliseerd in tijd en hoogte.

De actieve kool moet vervolgens (voordat een filter in gebruik kan worden genomen) 'inlopen'. Dit inlopen betekent dat de kool van boven naar beneden wordt doorstroomd onder gecontroleerde condities, waarbij het filtraat separaat wordt afgevoerd en niet wordt opgenomen in het verdere proces van bereiding van drinkwater. Gedurende dit inlooptraject is er sprake van een tijdelijk afwijkende kwaliteit van het filtraat, wat zich uit in een hoge pH, lage zuurstofconcentratie en mogelijk de concentratie aluminium en mangaan, en een verlaging in de concentraties calcium, zuurstof en waterstofcarbonaat, afhankelijk van eventuele voorbehandeling en de drinkwaterproductielocatie. Het filtraat wordt tijdens het inlopen daarom nauwlettend gecontroleerd op een aantal parameters zoals pH en zuurstof [21]. De drinkwaterbedrijven laten de kool net zo lang inlopen, totdat de kwaliteit van het water dat in aanraking is geweest met de kool aan de drinkwaterkwaliteitseisen voldoet. Het filter kan en mag pas in bedrijf worden genomen voor de bereiding van drinkwater ten behoeve van consumenten als het filtraat ten minste voldoet aan de normen en richtlijnen van de verschillende microbiologische, algemene en chemische parameters volgens [Bijlage A](#) van het [Drinkwaterbesluit](#) [1]. Er moet aandacht worden besteed aan de concentratie zuurstof en (vooral in het geval van zwak gebufferd water) aan de pH-waarde van het filtraat. In het geval van actieve kool die is vervaardigd uit harde steenkool kunnen verhoogde concentraties arseen, antimoon, aluminium en nikkel voorkomen in het eerste filtraat. Dit geldt zowel voor verse kool als voor gereactiveerde kool en is vooral belangrijk als er slechts enkele actieve-koolfilters (één tot drie) in gebruik zijn. In het geval van gereactiveerde kool kunnen verhoogde concentraties aan (zware) metalen (bijvoorbeeld ijzer, aluminium en mangaan) in het eerste filtraat niet worden uitgesloten, afhankelijk van het eerdere gebruik van de kool. Op drinkwaterproductielocatie Noordbargeres van drinkwaterbedrijf WMD Drinkwater conditioneert producent en leverancier Chemviron de actieve kool met kooldioxide ('koudijs', zie [Bijlage V](#) voor verdere informatie). De door hen voorgeschreven inwerkmethode is om na het inbrengen van de actieve kool in een filter één uitgebreidere spoeling te doen om fines uit te spoelen en vervolgens het filter te drainen en dat 72 uur te laten staan. In die 72

uur wordt de lucht in de filterruimte verversd en kan de actieve kool 'aan de lucht oxideren' om vervolgens te worden ingelopen met voedingswater. Bij het opstarten van de actieve-koolfilters op genoemde drinkwaterproductielocatie is zowel deze als de 'klassieke' inlopmethode getest. De actieve-koolfilters die eerst aan de lucht waren geoxideerd, hadden ongeveer de helft minder voedingswater nodig om de gewenste pH (< 8,5) en zuurstofconcentratie (> 4,0 mg/l) in het filtraat te bereiken.

Na het inlopen wordt meestal een hoogtemeting van het filterbed uitgevoerd.

Sommige drinkwaterbedrijven laten actieve kool na reactivatie door de leverancier met een zuur (bijvoorbeeld CO₂) conditioneren (zie Bijlage V voor een inhoudelijke en theoretische beschouwing over het conditioneren van gereactiveerde actieve kool). Dit zorgt voor de verwijdering van calcium. Daarmee wordt voorkomen dat tijdens het inlopen van de actieve kool calcium neerslaat in de poriestructuur van het materiaal. Leveranciers van actieve kool doen dit 'zuurwassen' bij voorkeur niet en het proces is relatief kostbaar. Er is onderzocht of zuurwassing toch een meerwaarde heeft voor de drinkwaterbedrijven, met name voor wat betreft de adsorptie van organische microverontreinigingen [21]. Het wassen van gereactiveerde actieve kool met een sterk zuur heeft weinig invloed op eigenschappen zoals porievolume en -oppervlak. Er is sprake van een klein effect (10%) op het joodgetal. Er is aangetoond is dat het gehalte calcium in de actieve kool door het zuurwassen significant wordt verlaagd ten opzichte van niet-zuurgewassen materiaal. Tijdens het inlopen neemt dit gehalte ook niet veel toe. Daarnaast bevat de kool na zuurspoeling minder aluminium, mangaan en nikkel. Tijdens het inlopen neemt de met zuur gespoelde actieve kool wel meer sulfaat op. Over het algemeen is er weinig verschil in de verwijdering van organische microverontreinigingen tussen wel en niet met zuur gewassen gereactiveerde kool. Het wassen van gereactiveerde actieve kool met een sterk zuur lijkt daarom weinig voordelen te bieden in de bedrijfsvoering. Voor de verwijdering van organische microverontreinigingen zijn de verschillen met de gebruikelijke aanpak over het algemeen te klein om een positieve bijdrage te zien in deze methode. Wel levert (zoals verwacht) het wassen van gereactiveerde actieve kool met een sterk zuur een verlaging van het gehalte calcium op. Daarnaast zorgt het voor minder pH-verschillen van het water tijdens het inlopen [21].

6.5 Reguliere bedrijfsvoering

6.5.1 Reguliere productie drinkwater

Afhankelijk van de adsorbeerbaarheid en de concentratie van de organische microverontreiniging(en), en onder de in hoofdstuk 4 vermelde condities resulteert de verwijdering van permanent in water aanwezige stoffen of bestanddelen in specifieke 'producties' variërend van ongeveer 30 m³ tot 300 m³ te behandelen water per kg actieve kool, tot de actieve kool wordt vervangen. Aangezien actieve kool als adsorbens niet-specifiek werkt, wordt de standtijd van een actieve-koolfilter beïnvloed door de totale belasting van adsorbeerbare organische stoffen in het water. Als specifieke stoffen (bijvoorbeeld antropogene stoffen) uit water moeten worden verwijderd, kunnen relatief korte standtijden het gevolg zijn als de organische basisbelasting van het water (DOC) hoog is (voorbelading).

Tijdens de bedrijfsvoering moet de functionaliteit van de actieve kool regelmatig worden gecontroleerd. Dit gebeurt door het meten van de bedoelde parameter(s) in het voedingswater en het filtraat (bijvoorbeeld DOC, UV-absorptie bij 254 nm, organische microverontreinigingen) of karakteristieke parameters van de actieve kool (bijvoorbeeld het jood- of nitrobenzeengetal). Wanneer het gaat om filters met zeer hoge eisen aan de kwaliteit van het filtraat, moet het lokale verloop van de concentratie van de bedoelde parameter(s) in het filterbed extra worden gecontroleerd op basis van waterkwaliteitsbeoordeling van monsters van verschillende bedhoogten. Voor waterkwaliteitsbeoordeling wordt verwezen naar hoofdstuk 3 van de praktijkcode PCD 1-3 [6] met de gelijknamige titel. In subparagraaf 3.4.1 'Microbiologische parameters' van § 3.4 'Bepalingen van samenstelling van monsters' van dat hoofdstuk wordt de aanbeveling gedaan om na reactivatie (zie subparagraaf 6.5.2) de parameter 'Sporen van Sulfiet-Reducerende Clostridia' (SSRC) te bepalen.

De ruimten tussen de korrels van de actieve kool bieden goede leefomstandigheden voor ongewervelde dieren. Lange standtijden, lage spoelfrequenties en concentraties zuurstof van meer dan 1 mg/l bevorderen die. De aanwezigheid van ongewervelden moet echter niet als een tekort of negatief worden beschouwd, maar massale voortplanting en uitspoeling daarvan in het filtraat moet worden vermeden.

Stopzetten

Uit de gegevens van Bijlage II blijkt dat installaties voor actieve-koolfiltratie doorgaans niet zomaar worden stopgezet. Bij eventueel stopzetten vanwege bijvoorbeeld onderhoud of een gevuld reservoir wordt zuurstofloosheid (anaerobie) voorkomen door bijvoorbeeld recirculatie. Bij storing of onderhoud wordt er een maximum stilstandtijd gehanteerd, waarbij de filterinhoud eventueel wordt gedraind. In een enkel geval worden filters wel zonder verdere maatregelen stopgezet, waarbij (dus) anaerobie kan optreden.

Drinkwaterbedrijf Evides Waterbedrijf hanteert de volgende vuistregels (bij 12 – 16°C neemt de biologische activiteit en de zuurstofconsumptie van actieve-koolfilters snel toe):

- < 12°C: 8 uur stilstand acceptabel, indien langer gedraind wegzetten;
- > 12°C, 4 uur stilstand acceptabel, indien langer gedraind wegzetten.

Op drinkwaterproductielocatie Groenekan van drinkwaterbedrijf Vitens stopt 's nachts de productie. Dit betreft grondwater wat geen problemen oplevert, omdat dit water weliswaar niet zuurstofloos is, maar er niet of nauwelijks zuurstofverbruik in het koolfilter optreedt.

Terugspoelen

Het terugspoelen van de actieve-koolfilters tijdens de reguliere productie van drinkwater (zie volgende subparagraaf) wordt noodzakelijk in de volgende situaties:

- als een filter opnieuw in werking wordt gesteld na een langere periode van stilstand;
- als de filterweerstand (drukval) is toegenomen dan wel de hydraulische capaciteit afneemt tot een afgesproken criterium;
- als de kolonisatie van de actieve kool met micro-organismen en ongewervelde dieren dit vereist;
- voordat de actieve kool wordt afgevoerd.

Uit de praktijk van de Nederlandse drinkwaterbedrijven (zie Bijlage II) blijkt dat het terugspoelen van actieve-koolfilters varieert per drinkwaterbedrijf en per drinkwaterproductielocatie. De volgende voorbeelden zijn aangedragen bij locatie specifieke omstandigheden:

- op basis van de weerstand van het bed door vervuiling afkomstig van (micro-)biologie en/of organische/anorganische deeltjes (bijvoorbeeld restijzer, biofilm, fecale pellets);
- op basis van doorslag van troebelheid;
- preventief spoelen op looptijd of doorlopen debiet, onder andere om biologie (hogere organismen) in toom te houden;
- preventief spoelen om onderdruk te voorkomen;
- preventief spoelen om de vorming van 'mudball' bij de ophoping van vuil/ijzer in het filterbed te voorkomen;
- spoelspreiding bewaking

Dit is een bewaking dat alle spoelingen van de filters elkaar niet direct opvolgen om extra grote piekbelasting van deeltjes te beperken. De spoelingen worden dus over een bepaalde periode verdeeld.

- bij een bepaalde tijd (meer dan enkele uren) uit bedrijf.

De te volgen spoelprotocollen worden door de leverancier van de actieve kool aangereikt of door het drinkwaterbedrijf in samenspraak met die leverancier afgestemd (bedrijfs- en/of locatie specifiek). Veelvuldig spoelen kan (afhankelijk van de hardheid van het type kool) leiden tot verhoogde slijtage van de actieve kool.

Standtijd (uitgedrukt in aantal bedvolumes)

Volgens de praktijk van de Nederlandse drinkwaterbedrijven (zie Bijlage II) vindt reactivatie plaats na een vaste standtijd, bij het bereiken van een bepaald aantal bedvolumes of bij een (verwachte) doorslag van een bepaalde

stof. De standtijd varieert van 0,5 tot maximaal 4 jaar of minimaal 1.610.000 tot 90.000 BV, afhankelijk van de doelstellingen. Bij één drinkwaterbedrijf is de verwachting dat de standtijd mogelijk acht jaar of 272.000 BV kan worden, maar dit staat nog ter discussie. Meestal worden filters eens per 1 – 2 jaar gereactiveerd (zie het bij Bijlage II behorende Excel bestand), uitzonderingen daargelaten. De volgende procedure wordt aanbevolen om te beoordelen of reactivatie zinvol is op basis van de kwaliteit van het filtraat:

- het nemen van een representatief monster van de gebruikte actieve kool (bijvoorbeeld zuig- of steekmonster) voor kwaliteitscontrole en als reservemonster;
- beoordeling van de verwachte kwaliteit van het gereactiveerde materiaal door de leverancier;
- de kwaliteit van het filtraat;
- het bereiken van de standtijd.

Het precieze tijdstip van reactivatie wordt bepaald door de gebruiker, afhankelijk van de taak (reactivatie na de standtijd, doorbraakgedrag voor een interfererende stof of leidende stof).

6.5.2 Reactivatie

Voor theoretische aspecten van de reactivatie van granulaire actieve kool, zie § 3.8 van deze praktijkcode.

Van het bedrijf dat de reactivatie uitvoert, wordt ten minste de volgende informatie gevraagd:

- verlies bij 'afbranding';
- vochtgehalte bij levering;
- verwachte kwaliteit van het gereactiveerde materiaal (vingerafdruk; prognose of resultaat van relevante monstertest).

Er moet voor worden gezorgd dat de gebruiker zijn eigen actieve kool terugkrijgt na reactivatie¹⁰. Aangezien de korrelgrootte van de actieve kool afneemt door thermische reactivatie en transport, wordt de aanbeveling gedaan om de ondermaat na reactivatie te laten zeven. Na elke reactivatie moet de deeltjesgrootteverdeling van de gereactiveerde actieve kool (zonder of met make-up/top-up actieve kool) worden gecontroleerd (dit gebeurt door zowel de leverancier als het drinkwaterbedrijf). Daarnaast wordt de aanbeveling gedaan om na elke reactivatie de schud- of bulkdichtheid van de actieve kool te bepalen. Deze punten moeten expliciet worden opgenomen in de offerte/opdracht.

Contractueel moet worden geborgd dat de 'identiteit' van de actieve kool bekend blijft. Bovendien moet het bedrijf dat de reactivatie uitvoert, garanderen dat de installatie waarin de reactivatie wordt uitgevoerd uitsluitend wordt gebruikt voor de drinkwater- of voedingssector en dat de gereactiveerde actieve kool uitsluitend afkomstig is van de installatie voor actieve-koolfiltratie van de opdrachtgever. Het gebruik van gereactiveerde materialen uit andere toepassingen is volgens NEN-EN 12915-2 niet toegestaan.

De kwaliteit van het aangeboden gereactiveerde materiaal moet worden gegarandeerd door de leverancier en worden aangetoond aan de hand van actuele analysewaarden (partijanalyse of analysecertificaat van een representatief monster).

Als onderdeel van de aanbesteding/opdracht wordt verder het volgende aanbevolen:

- specificatie van het verschil in joodgetal ten opzichte van de gebruikte actieve kool voor reactiveren voor en/of na bijmengen;
- bepaling van de mate waarin de ondermaatse deeltjes moeten worden gezeefd als onderdeel van de reactivatie (indien nodig moet de deeltjesgrootte van de gezeefde fijne fractie worden aangegeven);
- specificatie van de make-up/top-up actieve kool (hetzelfde type als de oorspronkelijke kool of een ander type);

¹⁰ In hoofdstuk 2 van de voorliggende praktijkcode is aangegeven dat in het kader van de publiekrechtelijke regelgeving de voorgeschreven erkende kwaliteitsverklaring op gereactiveerde actieve kool eigenlijk uitsluitend wordt genoemd (productcertificaat). Een bepaalde vorm van procescertificatie waarbij de kwaliteit van het materiaal gedurende het volledige traject van reactivatie (dat wil zeggen met inbegrip van het vervoer) inclusief het retourneren van de 'eigen kool' en de compensatie van verliezen wordt geborgd, lijkt hierbij meer voor de hand liggend.

- hoeveelheid make-up/top-up geactiveerde kool op basis van hout (compensatie van het werkelijke reactivatie-/schuringsverlies of vastgestelde hoeveelheid);
- restitutie voor achtergehouden actieve kool als de hoeveelheid aangemaakte actieve kool groter is dan de opgebrande hoeveelheid;
- bij levering moet de kwaliteit van het gereactiveerde materiaal worden gecontroleerd volgens de testmethoden voor de vastgelegde criteria.

7 Onderhoud

In dit hoofdstuk zijn ervaringen van diverse drinkwaterbedrijven qua onderhoud ten aanzien van actieve-koolfilters verdisconteerd. Primair wordt hierbij verwezen naar hoofdstuk 5 'Richtlijnen voor het uitvoeren van werkzaamheden in de zuivering' van de praktijkcode [PCD 1-3](#) [6].

7.1 Onderhoud

Periodiek moet de op het inwendige van de behuizing (staal of beton) van een actieve-koolfilter aangebrachte coating worden gecontroleerd en zo nodig worden onderhouden. Ook de kathodische bescherming van staal dan wel stalen constructies en eventueel het wapeningsstaal van betonnen constructies dient regelmatig de nodige aandacht te krijgen. Met kathodische bescherming wordt de op de binnenzijde aangebrachte coating van staal beschermd en het onderhoud daardoor beperkt (zie praktijkcode [PCD 4](#) [7] en dan subparagraaf 9.1.3 'Inspectie' van § 9.1 'Introductie' van hoofdstuk 9 'Aan de bedrijfsvoering te stellen eisen', en ook hoofdstuk 10 'Eisen voor renovatie en reparatie').

Als het gaat om een behuizing zonder coating dient het inwendige oppervlak te worden gecontroleerd met betrekking tot corrosie (metaal) of aantasting (beton).

Voor het onderhoud tijdens een shut down (geen actieve kool in het filter) worden de volgende voorbeelden genoemd:

- spoeldoppen nalopen, eventueel vervangen;
- ruimte onder de spoeldoppenbodem reinigen;
- sensoren controleren, kalibreren (bij voorkeur door een externe organisatie) en schoonmaken;
- controle op constructie, beton en coating, inclusief eventuele aanslag op de binnenwanden (zie praktijkcode [PCD 4](#) [7]);
- afsluiters en regelkleppen controleren op afdichting dan wel goede werking;
- leidingen van de punten van monsterneming schoonmaken;
- schoonspuiten van de filterbak, aanslag verwijderen.

8 Literatuur

1. Staatsblad (2011): Drinkwaterbesluit van 23 mei 2011, nummer 293, 21 juni 2011 (oorspronkelijke editie).
vigerend vanaf 1 januari 2024: Drinkwaterbesluit
2. Staatscourant van 29 juni 2011: 'Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening', nr. 11911, 18 juli 2011 (oorspronkelijke editie)
Staatscourant van 21 april 2017: 'technische aanpassingen 2017', 1 juli 2017
vigerend vanaf 1 januari 2024: Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening
3. Meerkerk, M.A. (2018): 'Wet- en regelgeving in Nederland voor onderdelen van drinkwaterleidingnetten; *Een toelichting op de 'Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening' (versie 1 juli 2017)*', praktijkcode PCD 12:2018, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
4. DVGW (2021): 'Einsatz von Aktivkohle zur Entfernung organischer Stoffe bei der Trinkwasseraufbereitung', Arbeitsblatt W 239, oktober 2021, Deutsche Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn.
5. Oosterholt, F.I.M.H., en Meerkerk, M.A. (2023): 'Hygiëncode Drinkwater; *Deel 8: Hygiënerichtlijnen ontwerp, bouw en renovatie van installaties voor de bereiding van drinkwater*', praktijkcode PCD 1-8:2023, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
6. Oosterholt, F.I.M.H., en Meerkerk, M.A. (2024): 'Hygiëncode Drinkwater; *Deel 3: Bereiding*', praktijkcode PCD 1-3:2024, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
7. Meerkerk, M.A. (2020): 'Richtlijn voor systemen voor de opslag van drinkwater; *Ontwerp, aanleg en beheer (gebaseerd op NEN-EN 1508:1998)*', praktijkcode PCD 4:2020, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
8. Oosterholt, F.I.M.H., en Meerkerk, M.A. (2024): 'Hygiëne bij werkzaamheden in de zuivering; *Deel 6: Werkboekje bij de 'Hygiëncode Drinkwater; Deel 3: Bereiding'*', praktijkcode PCD 1-6:2024, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
9. Meerkerk, M.A., en Brand, T.P.H. van den (2022): 'Richtlijn voor de kwaliteitsborging van chemicaliën ten behoeve van de bereiding van drinkwater; *In het volledige traject van productie tot en met gebruik*', praktijkcode PCD 17:2022, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
10. Meerkerk, M.A. (2020): 'Luchtfiltratie ten behoeve van de drinkwatervoorziening', praktijkcode PCD 16:2020, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
11. Meerkerk, M.A., en Siegers, W.G. (2020): 'Ontzuren van water ten behoeve van de bereiding van drinkwater; *Deel 2: Verwijdering van kooldioxide door middel van beluchting*', praktijkcode PCD 14-2:2020, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
12. Heeswijk, T.P.H. van (2021): 'Zand onder kool, full scale onderzoek Baanhoek', Evides Waterbedrijf, Rotterdam.
13. Hofman-Caris, R., Wols, B., Cornelissen, E., Veggel, M. van, en Waal, L. de (2024): 'Ontwikkelingen rondom verwijdering van PFAS uit de waterketen', H₂O (Ontwikkelingen rond verwijdering van PFAS uit de waterketen).

14. Bruins, J., en Dost, S.F. (2021): 'Actiefkoolfiltratie op ruw (anaeroob en anoxisch) grondwater; een robuuste barrière tegen organische microverontreinigingen?' H₂O-Online, 15 september 2021.
[Actiefkoolfiltratie op ruw \(anaeroob en anoxisch\) grondwater; een robuuste barrière tegen organische microverontreinigingen?](#)
15. Vernooij, S., Ogier, J., Nederlof, M., Carpentier, J., Kardinaal, E. (2011): 'Cyanotoxines en drinkwater; Risico's van de aanwezigheid van cyanobacteriën en cyanotoxines in oppervlaktewater bestemd voor de drinkwaterproductie', rapport BTO 2011.115(s), KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
16. Zeng, J. *et al.* (2024): 'Quenching residual H₂O₂ from UV/H₂O₂ with granular activated carbon: A significant impact of bicarbonate', ChemoSphere, volume 354, Article 141633, April 2024.
[Quenching residual H₂O₂ from UV/H₂O₂ with granular activated carbon: A significant impact of bicarbonate - ScienceDirect](#)
17. Oesterholt, F., Brand, T. van den, en Kramer, D. de (2024): 'Berekening CO₂-voetafdruk van drinkwaterbedrijven', praktijkcode [PCD 11:2024](#), KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
18. Meerkerk, M.A., en Siegers, W.G. (2018): 'Snelfiltratie in open filters; Snelfilters onder atmosferische druk in gesloten gebouwen', praktijkcode [PCD 10:2018](#), KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
19. Vries, D., Leerdam, R. van, en Post, J. (2011): 'Stuurparameters Actieve Kool, Deelrapport 1: Overzicht bedrijfsvoering actiefkoolinstallaties bij Nederlandse en Vlaamse drinkwaterbedrijven', rapport [BTO 2012.215](#), KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
20. Hofman-Caris, R., en Brand, T. van den (2019): 'LCA-studie aan varianten van actieve kool', rapport KWR 2019.001, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
21. Hofman-Caris, R., en Siegers, W.G. (2022): 'Calciumprecipitatie op granulaire actieve kool; vervolgonderzoek', rapport BTO 2022.063, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
22. Ridder, D.J. de (2012): 'Adsorption of organic micropollutants onto activated carbon and zeolites', PhD thesis, ISBN 978-94-6186-068-2, Water Management Academic Press, Delft.
[Adsorption of organic micropollutants onto activated carbon and zeolites - TU Delft Research Portal](#)
23. Kruithof, J.C., en Leer, R.Ch. van der (1982): 'Stand van zaken bij de toepassing van actieve kool voor de drinkwaterbereiding in Nederland; Rapport van de Werkgroep Actieve Kool', [Mededeling 64](#), Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen KIWA N.V., Rijswijk en Nieuwegein.
24. Hofman-Caris, C.H.M., Bäuerlein, P.S., Siegers, W.G., Mintenig, S.M., Messina, R., Dekker, S.C., Bertelkamp Ch., Cornelissen, E.R., and Wezel, A.P. van (2022): 'Removal of nanoparticles (both inorganic nanoparticles and nanoplastics) in drinking water treatment – coagulation/flocculation/sedimentation, and sand/granular activated carbon filtration', Environmental Science: Water Research and Technology, issue 8, pages 1.675 – 1.686, August 2022.
[Removal of nanoparticles \(both inorganic nanoparticles and nanoplastics\) in drinking water treatment – coagulation/flocculation/sedimentation, and sand/granular activated carbon filtration - Environmental Science: Water Research & Technology \(RSC Publishing\)](#)
25. Vries, D., Hofman-Caris, R., en Post, J. (2011): 'Stuurparameters Actieve Kool, Deelrapport 2: Overzicht koolkarakteristieken bij Nederlandse en Vlaamse drinkwaterbedrijven', rapport [BTO 2012.126\(s\)](#), KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.

26. Vries, D. (2012): 'Stuurparameters Actieve Kool, Deelrapport 3: Studie naar correlaties en regressies waterkwaliteit, bedrijfsvoering en koolkwaliteit', rapport [BTO 2013.221\(s\)](#), KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
27. Siegers, W.G., en Hopman, R. (1993): 'Onderzoek naar de verwijdering van waterstofperoxide met verse en voorbeladen actieve kool en hydroantraciet', rapport SWI 93.115, Kiwa Onderzoek en Advies in opdracht van VEWIN en WZHZ, Nieuwegein.
28. Schurer, R., Ridder, D.J. de, Schippers, J.C., Hijnen, W.A.M., Vredenburg, L., Wal, A. van der (2022): 'Advanced drinking water production by 1 kDa hollow fiber nanofiltration – Biological activated carbon filtration (HFNF – BACF) enhances biological stability and reduces micropollutant levels compared with conventional surface water treatment', *Chemosphere*, Volume 321, April 2023.
[Advanced drinking water production by 1 kDa hollow fiber nanofiltration – Biological activated carbon filtration \(HFNF – BACF\) enhances biological stability and reduces micropollutant levels compared with conventional surface water treatment - ScienceDirect](#)
29. Aa, L.T.J. van der, Kolpa, R.J., Rietveld, L.C., en Dijk, J.C. van (2012): 'Improved removal of pesticides in biological granular activated carbon filters by pre-oxidation of natural organic matter', *Journal of Water Supply: Research and Technology – Aqua*, volume 61, issue 3, pages 153 – 163.
[Improved removal of pesticides in biological granular activated carbon filters by pre-oxidation of natural organic matter | Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua | IWA Publishing](#)
30. Aa, L.T.J. van der, Rietveld, L.C., en Dijk, J.C. van (2011): 'Effects of ozonation and temperature on the biodegradation of natural organic matter in biological granular activated carbon filters', *Drinking Water Engineering and Science*, volume 4, issue 1, pages 25 – 35.
[DWES - Effects of ozonation and temperature on the biodegradation of natural organic matter in biological granular activated carbon filters \(copernicus.org\)](#)
31. Graveland, A. (1996): 'Application of biological activated carbon filtration at Amsterdam water supply', *Water Supply*, volume 14, issue 2, pages 233 – 241.
32. Hoek, J.P. van der, Hofman, J.A.M.H., Graveland, A. (1999): 'The use of biological activated carbon filtration for the removal of natural organic matter and organic micropollutants from water', *Water Science and Technology*, volume 40, issue 9, pages 257 – 264 (proceedings of the 1999 IAWQ-IWSA International Conference on 'Removal of Humic Substances from Water').
[The use of biological activated carbon filtration for the removal of natural organic matter and organic micropollutants from water - ScienceDirect](#)
33. Heijman, S.G.J., en Sterk, R. (1999): 'Regeneratie- en vervangingscriteria actieve-koolfiltratie "Kralingen"', rapport SWI 99.129, Kiwa Onderzoek en Advies in opdracht van Waterbedrijf Europoort, Nieuwegein.
34. Hijnen, W.A.M., Kooij, D. van der, Veer, A.J. van der, en Heijman, S.G.J. (2000): 'Verlaging van de regeneratiefrequentie van de actieve kool bij Waterbedrijf Europoort; Invloed op de biologische stabiliteit van het drinkwater', rapport SWI 99.206, Kiwa Onderzoek en Advies in opdracht van Waterbedrijf Europoort, Nieuwegein.
35. Siegers, W., en Heijman, B. (2001): 'Onderzoek naar het regeneratiemoment van Actieve-koolfilters; Pompstation De Punt Waterbedrijf Groningen', rapport BTO 2001.115 (c), Kiwa Onderzoek en Advies, Nieuwegein.

36. Hofman-Caris, R. (2014): 'In situ regeneratie van actieve kool', rapport KWR 2014.055, KWR Watercycle Research Institute in opdracht van Evides Waterbedrijf, Nieuwegein.
37. Hofman-Caris, C.H.M., Korevaar, M.W., Siegers, W.G., Vries, D., en Wols, B.A. (2018): 'Doorbraakcurves voor het vaststellen van reactivatiecriteria voor actieve kool', rapport BTO 2018.087, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
38. Palmen, L. (2013): 'Actief-koolfilters: operatie geslaagd, dokter overleden?', rapport BTO 2013.239(s), KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
39. Beerendonk, E.F. (1998): 'Verbetering actieve-koolfiltratie door voorafgaande nanofiltratie; Proefinstallatie-onderzoek verwijdering bestrijdingsmiddelen', rapport SWO 98.187, Kiwa Onderzoek en Advies, Nieuwegein.
40. Meerkerk, M.A. (1998): 'Rendementsverbetering actieve-koolfiltratie door voorafgaande nanofiltratie (laboratoriumonderzoek)', rapport SWI 98.202, Kiwa Onderzoek en Advies, Nieuwegein.
41. Siegers, W.G. (1999): 'Rendementsverbetering actieve-koolfiltratie door voorafgaande NOM-verwijdering; LMWCO-ultrafiltratie en anionenwisselaar', rapport SWI 99.142, Kiwa Onderzoek en Advies, Nieuwegein.
42. Hofman-Caris, R., Wols, B., Vries, D., Korevaar, M., en Siegers, W. (2021): 'Voorspelling en validatie van de verwijdering van organische microverontreinigingen uit water; deel 4: filtratie over actieve kool', rapport BTO 2021.050, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
43. Hofman-Caris, R. (2019): 'Actieve kool op basis van lignine', rapport KWR 2019.081, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
44. Hofman-Caris, R., Siegers, W.G., Veggel, M. van, en Ridder, D. de (2025): 'Effecten van chemische reactivatie van actieve kool op doorbraak van OMVs', rapport onderzoeksprogramma Waterwijs, KWR Water Research Institute, Nieuwegein (in voorbereiding).
45. Wetering, S. van de, en Kruijs, J. van de (2021): 'Anaerobe actiefkoolfiltratie op een verontreinigde grondwaterinput', H₂O-Online, 12 november 2021.
Anaerobe actiefkoolfiltratie op een verontreinigde grondwaterinput
46. Ridder, D. de (2023): 'Vergelijking adsorptieprestaties van TL830 en ROW actief kool voor de verwijdering van 2-MIB, Geosmine en PFAS', AntroS-023-013-OZR.
47. Hofman-Caris, R., en Siegers, W.G. (2021): 'Granulaire actieve kool en (zware) metalen; Aanwezigheid in en uitloging van (zware) metalen uit GAC', rapport KWR 2021.065, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.

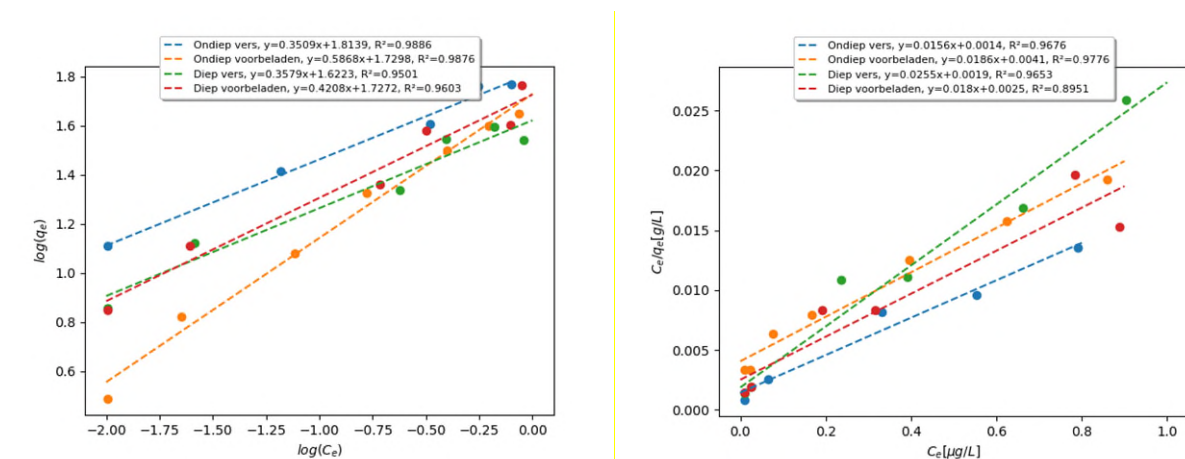
I Begrippen met bijbehorende omschrijving en afkortingen inclusief acroniemen met bijbehorende betekenis

adsorptiecapaciteit

De maximale capaciteit van een actieve kool om een doelstof te kunnen adsorberen, uitgedrukt in mg doelstof/kg actieve kool.

adsorptie-isotherm

Een adsorptie-isotherm (van bijvoorbeeld Freundlich of Langmuir) is een isotherme adsorptiecurve waarmee een verband wordt gelegd tussen de evenwichtsconcentratie van een opgeloste stof op het oppervlak van een adsorbens en de concentratie van de oplossing waarmee dit adsorptie-oppervlak in contact staat. Het geeft met andere woorden de beladenheid van een adsorptie-oppervlak weer, zie webpagina [Vergelijking van Freundlich - Wikipedia](#). In *Figuur 2* zijn twee veelgebruikte soorten isothermen als voorbeeld weergegeven.



Figuur 2 Voorbeelden van respectievelijk een Freundlich en een Langmuir isotherm van bentazon met twee verschillende typen grondwater en verse en voorbeladen actieve kool.

bedexpansie

Verhoging van het koolbed doordat er wordt teruggespoeld of doordat er tegenstrooms (van beneden naar boven) wordt gefiltreerd zoals bijvoorbeeld bij gesuspenderde actieve-koolfiltratie.

belading

Actuele hoeveelheid van een doelstof die is geadsorbeerd door de actieve kool, uitgedrukt in mg doelstof/kg actieve kool.

drukfilter

Filter dat onder druk (bijvoorbeeld door een pompfase) wordt bedreven.

gravitatiefilter

Filter dat onder zwaartekracht wordt bedreven.

inlopen

Het koolbed wordt voor gebruik doorstroomd met voedingswater onder gecontroleerde condities, waarbij het filtraat meestal separaat wordt afgevoerd.

joodgetal

Het joodgetal geeft de porositeit van de actieve kool aan en wordt gedefinieerd als de hoeveelheid jodium die door 1 g koolstof op mg-niveau wordt geadsorbeerd. Het joodgetal kan met goede precisie worden gebruikt als benadering voor het oppervlak en de microporositeit van actieve kool.

nanodeeltjes

Deeltjes met afmetingen in de orde van 1 – 100 nm [Wikipedia].

nanoplastics

Nanodeeltjes van plastic.

retentietijd

zie '(schijnbare) contacttijd'

(schijnbare) contacttijd

De tijd dat het water erover doet om één leeg bedvolume van actieve kool te passeren (schijnbare verblijftijd in een filter, ook wel EBCT genoemd).

standtijd

Actuele maximale filterlooptijd, uitgedrukt in aantal jaren of BV.

terugspoeling

Het opwaarts spoelen van het koolbed om vervuilingen te verwijderen die vooral bovenin het koolbed zijn achtergebleven tijdens de filtratieperiode. Meestal wordt hier een specifiek protocol gevolgd.

vrijboord

Verschil tussen de bovenkant van het filterbed tot de overstortrand (bewerkt van [18])

waterdebiet

Toegepaste volumestroom van het water in m³/h of l/h.

Afkortingen

De volgende afkortingen komen voor in deze praktijkcode, inclusief de betekenis:

- AKF Actieve-KoolFiltratie
- BAKF Biologische Actieve-KoolFiltratie
- BV BedVolume
- DOC 'Dissolved Organic Carbon', in water opgelost organisch koolstof (< 0,45 µm)
- EBCT 'Empty Bed Contact Time', zie hierboven '(schijnbare) contacttijd'
- GAC 'Granular Activated Carbon', granulaire actieve kool
- IUPAC 'International Union of Pure and Applied Chemistry'
- LCA LevensCyclus Analyse
- LMWCO 'Low Molecular Weight CutOff', typering van een membraan met een kleine poriegrootte
- MWCO 'Molecular Weight CutOff', de poriegrootte van een membraan
- NF NanoFiltratie
- NOM Natuurlijk Organisch Materiaal

- PFAS Per- en polyFluorAlkylStoffen
- RVS RoestVastStaal
- TOC 'Total Organic Carbon', in water opgelost totaal organisch koolstof (inclusief deeltjes > 0,45 µm)
- UC 'Uniformity Coefficient'
- UF UltraFiltratie

II Opbrengsten inventarisatie actieve-koolinstallaties in Nederland (2024)

Aan het einde van 2023 is een lijst naar de deelnemers aan de begeleidende projectgroep gestuurd met vragen over de actieve-koolfiltratie-installatie(s) van de verschillende drinkwaterbedrijven. Het ging om de volgende punten:

- Drinkwaterbedrijf
- Drinkwaterproductielocatie (ook geplande nieuwbouwlocaties)
- Doel van de actieve-koolfiltratie (verwijdering van ...)
- Plaats in de zuivering (aan het einde van de zuivering of volgt er nog een zuiveringsstap)
- Aantal filters normaliter in gebruik
- Filters worden in serie of parallel gebruikt
- Leverancier en type actieve kool
- Druk- of gravitatiefilters
- Afmetingen en vorm (diameter en hoogte filterbed bij ronde filters, oppervlak en hoogte filterbed bij rechthoekige filters)
- Gemiddeld waterdebiet per filter (m^3/h , eventueel minimaal en maximaal indien sterk afwijkend)
- Volume kool per koolfilter
- Gewenste/toegepaste contacttijd (min, gem, max)
 - Is invloed van contacttijd gemeten op doorbraak van (indicatie) parameters?
- Reactivatie frequentie criterium
 - Standtijd in jaar
 - Reactivatie o.b.v. aantal BedVolumina (BV)
 - Eventuele indicatie parameter voor vaststellen reactivatie
 - Reactivatie protocol door leverancier
- Criteria voor keuze standtijd
- Terugspoelprotocol (frequentie en wijze van spoelen, wel of geen luchtspoeling)
 - Spoelcriterium (druk, tijd, accumulatief debiet, doorslag)
 - Opbouw spoelprogramma? Tijd/op-aframpen¹¹/snelheid – aflat/lucht/water
 - Bedexpansie
 - Spoelsnelheid gecorrigeerd naar watertemperatuur?
- Inloopprocedure gereactiveerde koolfilters en hieraan gekoppelde maatregelen (bijvoorbeeld zuurwassen, spoelen met onthard water, etc.).
- Worden filters stilgezet?

¹¹ Oprampen is de snelheid en tijdsduur waarmee bij de start van de spoeling de spoelwatersnelheid toeneemt (m/h of m^3/h) tot de gewenste constante spoelsnelheid wordt bereikt (behorend bij de gespecificeerde koolbedexpansie en watertemperatuur). Dit kan een lineaire toename zijn of in een zaagtandbeweging. Het laatste is bedoeld om het (dichte) koolfilterbed eerst te breken en zo uitspoeling van filtermedia te voorkomen. Een zaagtandbeweging wordt wel toegepast als er geen luchtspoeling aanwezig is.

Aframpen is de snelheid en tijdsduur waarmee je na de 'constante spoelsnelheid fase' de spoelwatersnelheid weer laat afnemen. Afhankelijk van het type kool kan dit belangrijk zijn om de koolkorrels goed 'te laten zetten / te stapelen' om direct na een spoeling een goed filterend vermogen te realiseren. Ook kan je aan het einde van de aframpfase een ETSW toepassen (Extended Terminated Subfluidization Wash). Op het einde van de aframping wordt bij een lage spoelsnelheid ('de omgedraaide gemiddelde filtersnelheid') de spoelfase verlengd met circa 10 – 20 min. Dit verbetert de geleidelijke en betere stapeling c.q. zetting van het filterbed, de poriën tussen de filterkorrels worden kleiner en de 'eerste filtraatpiek na spoelen' wordt doorgaans lager en korter. Dit zou je kunnen zien als een alternatief voor de 'eerste filtraat afvoer' na spoelen.

- ja/nee
- Reden stilstand
- Tijdsduur
- Periode van het jaar
- Wordt het filter anaeroob tijdens stilstand, ja/nee?
- Procedure voor stilstand (indien regelmatig van toepassing)
- Schatting kosten (€/m³ geproduceerd drinkwater) inclusief reactivatie
- Regelmatig voorkomende storingen of andere negatieve ervaringen
- Aanpassingen (nabije) toekomst (bijvoorbeeld plaatsing nieuwe filters, gebruik ander type actieve kool, wijziging contacttijd, wijziging reactivatiefrequentie etc.)
- Lopend proefinstallatie onderzoek of plannen hiervoor
- Kwantificering in de afgelopen periode van (indien gemeten)
 - Zuurstofverbruik
 - Zuurgraadverandering
 - DOC-verwijdering (adsorptief/biologisch)
 - Biologische stabiliteit filtraat
 - Kleurverwijdering
- Ruimte voor eventuele opmerkingen/ervaringen over de kool-toepassing die in de vragenlijst niet aan bod komen, bijvoorbeeld biologische activiteit in de filters

In de eerste maanden van 2024 zijn de ingevulde lijsten verzameld en gebundeld, en vastgelegd in het Excel bestand behorend bij deze bijlage.

Onderzoek op het gebied van actieve-koolfiltratie

Met betrekking tot toekomstige plannen of onderzoek wordt door drinkwaterbedrijf Oasen gemeld dat de actieve-koolfiltratie op een aantal drinkwaterproductielocaties wordt vervangen door volstroom RO. Bij Dunea wordt de mogelijkheid van de inzet van actieve-koolfiltratie onderzocht voor de verwijdering van PFAS voor de infiltratie in de duinen. Evides Waterbedrijf onderzoekt verdergaande verwijdering van organische microverontreinigingen, verbetering van de biologische stabiliteit en koppeling met NF of RO en in serie geschakelde actieve-koolfiltratie. Vitens meldt nieuwbouwplannen voor de drinkwaterproductielocatie Groenekan en uitbreiding van 'Vechterweerd'. Waternet onderzoekt de doorslag van PFAS op een beperkt aantal filters en bij dat bedrijf worden alternatieve koolsoorten onderzocht. Drinkwaterbedrijf WML meldt nieuwbouw voor actieve-koolfiltratie op de drinkwaterproductielocatie Grubbenvorst.

Tot nu toe wordt bij waterbedrijf Pidpa geen actieve-koolfiltratie toegepast. Wel wordt er onderzoek uitgevoerd naar de verwijdering van PFAS (meer in detail de EFSA-4: PFOA, PFNA, PFHxS en PFOS), in de ruwwaterstroom van een van de grondwaterwinningen van drinkwaterproductielocatie Westerlo. Dit kadert in de potentiële omzetting van de streefwaarde van EFSA-4 in het Vlaamse Drinkwaterbesluit van 2023 naar een normwaarde in de komende jaren.

III In deze praktijkcode genoemde en daarvoor relevante normen

NEN-EN 12499:2003: 'Inwendige kathodische bescherming van metalen constructies', 1 februari 2003

NEN-EN 12873-3:2019: 'Invloed van materialen op water bestemd voor menselijke consumptie – Invloed als gevolg van migratie – Deel 3: Beproevingsmethode voor ionenwisselaar- en adsorptieharsen', 1 maart 2019

NEN-EN 12902:2004: 'Materialen voor de behandeling van water bestemd voor menselijke consumptie – Anorganische filterhulp- en filtermaterialen – Beproevingsmethoden', 1 december 2004

NEN-EN 12915-1:2009: 'Materialen voor de behandeling van water bestemd voor menselijke consumptie – Actieve koolstof in korrelvorm – Deel 1: Onbewerkte actieve koolstof in korrelvorm', 1 april 2009

NEN-EN 12915-2:2009: 'Materialen voor de behandeling van water bestemd voor menselijke consumptie – Actieve koolstof in korrelvorm – Deel 2: Gereactiveerde actieve koolstof in korrelvorm', 1 april 2009

IV Overzicht van overige KIWA/Kiwa/KWR-documenten/publicaties op het gebied van adsorptie

Algemeen

1. SWO 83.202 Ontwerpgegevens voor het verwijderen van trichlooretheen en tetrachlooretheen dmv beluchting en filtratie over actieve kool
2. SWO 93.335 Technische specificaties actieve kool; inventarisatie koolleveranciers
3. BTO 2013.056 Compactief Kool - Een technische economische evaluatie
4. BTO 2021.030 Ca-adsorptie op Granulaire Actieve Kool; Effecten op pH van inloopwater en adsorptiecapaciteit van GAC
5. KWR 2022.048 Hergebruik van actieve kool voor OMV verwijdering uit afvalwater

Reactivatie criteria, bedrijfsvoering

6. SWI 98.211 Kwantificering van de effecten van actieve-kool-regeneratie; Een laboratoriumonderzoek
7. KWR 09.088 Bruikbaarheid van uitloogtest NEN-EN 12902 voor silicazand, silicagrind, antraciet, actieve kool, poederkool en granaatzand

Effecten voorbehandeling op looptijd

8. SWI 97.164 Rendementsverbetering van actieve-koolfiltratie door voorafgaande ozonisatie Beerendonk, E.F., Hopman, R., Bonn  , P.A.C., en Hoek, J.P. van der (1997): 'Rendementsverbetering van actieve-koolfiltratie door voorafgaande ozonisatie', rapport SWI 97.164, Kiwa Onderzoek en Advies, Nieuwegein.
9. SWI 98.205 Oxidatie-actieve-koolfiltratie voor verwijdering organische microverontreinigingen Meijers, R.T., Heijman, S.G.J., Beveren, J. van, en Hopman, R. (1999): 'Oxidatie/actieve-koolfiltratie voor verwijdering organische microverontreinigingen; *Maatwerkonderzoek 'Looptijdverlenging kool'*'; rapport SWI 98.205, Kiwa Onderzoek en Advies, Nieuwegein.
10. SWI 99.236 Invloed van XAD-voorbehandeling op VBM door AKF, laboratoriumonderzoek
11. BTO 2001.138 (s) Adsorptieve looptijdverlenging actieve-koolfiltratie door preoxidatie Siegers, W.G. (2001): 'Adsorptieve looptijdverlenging actieve-koolfiltratie door pre-oxidatie; Laboratoriumonderzoek', rapport BTO 2001.138(s), Kiwa Onderzoek en Advies, Nieuwegein.

Effecten watermatrix en OMV op looptijd

12. SWO 90.317 Verwijdering van ETU uit grondwater van pompstation Noordwijk met behulp van actieve koolfiltratie Hopman, R., en Kruithof, J.C. (1990): 'Verwijdering van ETU uit grondwater van pompstation Noordwijk met behulp van actieve koolfiltratie; Haalbaarheidstudie', rapport SWO 90.317, KIWA Hoofdafdeling Speurwerk, Nieuwegein.
13. SWI 93.112 Oriënterend onderzoek naar de verwijdering van bromaat door toepassing van actieve kool en reducerende middelen
14. SWI 93.117 Onderzoek naar de verwijdering van bentazon door actieve koolfiltratie op pompstation Crezeepolder Beerendonk, E.F. (1994): 'Onderzoek naar de verwijdering van bentazon door actieve koolfiltratie op pompstation Crezeepolder; Praktijkonderzoek naar de bentazonverwijdering volgens het pseudo-moving-bed principe', rapport SWI 93.117, Kiwa Onderzoek en Advies, Nieuwegein.

15. SWI 93.118 Proefinstallatie-onderzoek naar verwijdering van bentazon uit oevergrondwater door verschillende soorten actieve kool
16. SWO 95.258 Verwijdering van chloroform uit water door middel van actieve koolfiltratie
17. SWO 94.211 Verwijdering van enkele slecht oxideerbare bestrijdingsmiddelen uit water met behulp van actieve-koolfiltratie
18. KOA 98.071 Bentazonverwijdering door middel van actieve-kool-filtratie bij pompstation De Laak van WZHO NV
19. SWI 98.150 Bestrijdingsmiddelenadsorptie aan actieve kool
20. H2O [1998] Relatief doorbraakmoment: een snelle indicatie van de adsorptie-eigenschappen van bestrijdingsmiddelen bij actieve-koolfiltratie. S.G.J. Heijman, W.G. Siegers, R. Hopman H2O 23.1998 p40-42
21. H2O [1999] Ozon/waterstofperoxide verdubbelt looptijd kool; WMN oefent met nieuw zuiveringsconcept met actieve kool; Laboratoriumonderzoek zorgt voor efficiëntere proefinstallatie. G. Zweere, R. Kolpa, R. Meijers, W. Siegers H2O 19.1999 p41-43
22. H2O [1999] Nanofiltratie vóór actieve-koolfiltratie verbetert rendement verwijdering bestrijdingsmiddelen. R. Hopman, W. Siegers, M. Meerkerk, J. van Paassen H2O 14/15.1999 p19-21
23. KOA 00.078 Verwijdering dichlobenil en BAM door middel van actievekoolfiltratie - Pompstation Ellecom
24. H2O [2003] Worden hormoonverstorende stoffen (EDC's) door bestaande drinkwaterzuiveringen verwijderd? W. Siegers, E. Beerendonk, G. Ijpelaar H2O 5.2003 p15-16
25. KWR 09.024 Robuustheid Zuiveringen DPW-bedrijven 2008; Proefinstallatie onderzoek 2008
26. KWR 09.074 Overzicht resultaten robuustheidstesten zuiveringen DPW-bedrijven
27. BTO 2014.060 Adsorptie aan actieve kool en UV of UVH2O2 geven onvoldoende verwijdering van fullerenen
28. KWR 2017.060 Verwijdering van GenX met behulp van filtratie over actieve kool

Effecten van microbiologie

29. SW-216 Bacteriologische aspecten van de waterbehandeling met behulp van filtratie door granulaire actieve kool (1979)
30. BTO 2009.011 Verwijdering van MS2 fagen, E. coli, Clostridium sporen en (oo)cysten van Cryptosporidium en Giardia door actief koolfiltratie
31. KWR 2017.010 Biomassa in een GAC filter. Effecten van filtratie en terugspoelen

Effecten AK op biologische stabiliteit

32. KWR 2015.076 Rol van leeftijd en historie actieve kool op de biologische stabiliteit van het water bij de proefinstallatie van ps Andijk
33. KWR 2016.079 TKI BTO Advies Rol van actieve kool op de biologische stabiliteit van het water bij ps Andijk. Metingen 2014 en 2015

Voorspelling doorbraak OMV's door modellering

34. SWI 96.241 Modelleren van bestrijdingsmiddel adsorptie aan actieve kool, evaluatie van de EBC methode
35. SWI 98.150 Bestrijdingsmiddelen adsorptie aan actieve kool; Voorspellen van doorbraakcurven door middel van flessenexperimenten

Gebruik van PAC

36. SWO 95.284 Onderzoek naar de verwijdering van atrazin, diuron, glyfosaat en AMPA door middel van additie van actieve-poederkool en actieve-koolvezels
37. KOA 98.048 Poeder- versus korrelkool DZH Scheveningen vanuit milieuoogpunt
38. SWI 99.272 Poederkool dosering versus korrelkoolfiltratie – Maatwerkonderzoek DZH
39. BTO 2018.034 Poederkool lijkt geschikt voor ondergrondse verwijdering van organische microverontreinigingen

Alternatieven voor AK

40. SWI 94.101 Toepassing van actieve-koolstof-vezels als alternatief adsorbens voor actieve kool
41. SWI 94.114 Onderzoek naar andere adsorbentia dan actieve kool voor de verwijdering van bestrijdingsmiddelen
42. SWI 94.505 Laboratoriumonderzoek actieve-koolvezels - Verwijdering van bestrijdingsmiddelen
43. SWI 96.199 Verwijdering glyfosaat en AMPA door adsorptie; onderzoek met actieve kool en alternatieven
44. SWI 97.128 Actieve-koolvezelfiltratie; een alternatief voor actieve-korrelkoolfiltratie?
45. SWI 97.153 Verwijdering van NP-bestrijdingsmiddelen door adsorptie - Onderzoek met actieve kool en actieve-koolvezels
46. SWI 98.188 Kwaliteit van actieve koolvezels - Overzicht van de kwaliteitsveranderingen
47. [BTO 2011.041](#) Prioritaire stoffen in grondwater; adsorptie en omzetting met behulp van metallisch ijzer
48. [BTO 2018.026](#) Verkenning selectieve technieken voor de verwijdering van microverontreinigingen uit drinkwater

Engelstalige publicaties voor NL en Vlaanderen (gezocht op “granular AND activated AND carbon AND drinking AND water AND treatment” in Scopus) van recent naar oud

49. Hofs, Bas; van den Broek, Wilbert; van Eeckevel, Andries; van der Wal, Albert (2022). Carbon footprint of drinking water over treatment plant life span (2025–2075) is probably dominated by construction phase. *Cleaner Environmental Systems Volume 5* June 2022
[Carbon footprint of drinking water over treatment plant life span \(2025–2075\) is probably dominated by construction phase - ScienceDirect](#)
50. Kramer O.J.I.; van Schaik C.; Dacomba-Torres P.D.R.; de Moel P.J.; Boek E.S.; Baars E.T.; Padding J.T.; van der Hoek J.P. (2021). Fluidisation characteristics of granular activated carbon in drinking water treatment applications. *Advanced Powder Technology Volume 32, Issue 9, Pages 3174 – 3188* September 2021
[Fluidisation characteristics of granular activated carbon in drinking water treatment applications - ScienceDirect](#)
51. Eschauzier, Christian; Beerendonk, Erwin; Scholte-Veenendaal, Petra; De Voogt, Pim (2011). Impact of treatment processes on the removal of perfluoroalkyl acids from the drinking water production chain. *Environmental Science and Technology Volume 46, Issue 3, Pages 1708 – 1715*
[Impact of Treatment Processes on the Removal of Perfluoroalkyl Acids from the Drinking Water Production Chain | Environmental Science & Technology \(acs.org\)](#)
52. Bertelkamp C.; Lekkerkerker-Teunissen K.; Knol A.H.; Verberk J.Q.J.C.; Van Dijk J.C.; Houtman C.J. (2010). Granular activated carbon filtration or ion exchange as pre-treatment option for the advanced oxidation process; advantages and limitations. *Water Quality Technology Conference and Exposition 2010* Pages 228 - 240
[2010 Water Quality Technology Conference and Exposition Granular activated carbon filtration or ion exchange as pre-treatment option for the advanced oxidation process; advantages and limitations | Request PDF \(researchgate.net\)](#)
53. Hijnen W.A.M., Suylen G.M.H., Bahlman J.A., Brouwer-Hanzens A., Medema G.J. (2010). GAC adsorption filters as barriers for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water treatment. *Water Research* Volume 44, Issue 4, Pages 1224 – 1234
[GAC adsorption filters as barriers for viruses, bacteria and protozoan \(oo\)cysts in water treatment - PubMed \(nih.gov\)](#)
54. Magic-Knezev A.; Wullings B.; Van Der Kooij D. (2009). Polaromonas and Hydrogenophaga species are the predominant bacteria cultured from granular activated carbon filters in water treatment. *Journal of Applied Microbiology Volume 107, Issue 5, Pages 1457 – 1467*
[Polaromonas and Hydrogenophaga species are the predominant bacteria cultured from granular activated carbon filters in water treatment - PubMed \(nih.gov\)](#)
55. De Ridder D.J.; McConville M.; Verliefde A.R.D.; Van Der Aa L.T.J.; ; Heijman S.G.J. Verberk J.Q.J.C.; Rietveld L.C.; Van Dijk J.C. (2009). Development of a predictive model to determine micropollutant removal using granular activated carbon. *Drinking Water Engineering and Science Volume 2, Issue 2, Pages 57 – 62*
[DWES - Development of a predictive model to determine micropollutant removal using granular activated carbon \(copernicus.org\)](#)

56. Van Der Horst W.; Ijpelaar G.F.; Scholte-Veenendaal P.; Rietveld L.C.; Van Dijk J.C. (2006). Occurrence and removal of pharmaceuticals and Endocrine Disrupting Compounds (EDCs) from drinking water. American Water Works Association - Water Quality Technology Conference and Exposition 2006: Taking Water Quality to New Heights Pages 1021 - 1039 Water Quality Technology Conference and Exposition 2006
57. Heijman B., Li, Sheng, Van Dijk J.C. (2006). Treatment concept for future drinking water production. American Water Works Association - Water Quality Technology Conference and Exposition 2006: Taking Water Quality to New Heights Pages 2978 – 2985
[Treatment concept for future drinking water production — TU Delft Research Portal](#)
58. Martijn, Bram J., Kruithof, Joop C., Welling, Martin (2006). UV/H₂O₂ treatment: The ultimate solution for organic contaminant control and primary disinfection. American Water Works Association - Water Quality Technology Conference and Exposition 2006: Taking Water Quality to New Heights Pages 1898 - 1912
59. Mohapatra P.K., Siebel M.A., Gijzen H.J., Van der Hoek J.P., Groot C.A. (2002). Improving eco-efficiency of Amsterdam water supply: A LCA approach. Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA Volume 51, Issue 4, Pages 217 – 227
[\(PDF\) Improving eco-efficiency of Amsterdam Water Supply: A LCA approach \(researchgate.net\)](#)
60. Heijman S.G.J., Siegers W., Sterk R., Hopman R. (2002). Prediction of breakthrough of pesticides in GAC-filters and breakthrough of colour in ion-exchange-filters. Water Science and Technology: Water Supply Volume 2, Issue 1, Pages 103 – 108
[Prediction of breakthrough of pesticides in GAC-filters and breakthrough of colour in ion-exchange-filters | Water Supply | IWA Publishing \(iwaponline.com\)](#)
61. Heijman S.G.J., Hopman R. (1997). Activated carbon filtration in drinking water production: Model prediction and new concepts. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects Volume 151, Issue 1-2, Pages 303 – 310 Proceedings of the 1997 International Conference on Interfaces against Pollution
[Activated carbon filtration in drinking water production: New developments and concepts - ScienceDirect](#)
62. Hopman R., Van Der Hoek J.P., Van Paassen J.A.M., Kruithof J.C. (1998). The impact of NOM presence on pesticide removal by adsorption: Problems and solutions. Water Supply Volume 16, Issue 1-2, Pages 497 – 501
[The impact of NOM presence on pesticide removal by adsorption: Problems and solutions | Request PDF \(researchgate.net\)](#)
63. Orlandini E., Siebel M.A., Graveland A., Schippers J.C. (1996). Pesticide removal by combined ozonation and granular activated carbon filtration. Water Supply Volume 14, Issue 2, Pages 99 - 108
64. Orlandini, Ervin, Gebereselassie, Tsegaye G., Kruithof, Joop C., Schippers, Jan C. (1996). Effect of ozonation on preloading of background organic matter in granular activated carbon filters. Water Science and Technology Volume 35, Issue 7, Pages 295 - 302 Proceedings of the 1996 1st International Specialized Conference on Adsorption in the Water Environment and Treatment Processes
[Effect of ozonation on preloading of background organic matter in granular activated carbon filters - ScienceDirect](#)
65. Hopman R., Siegers W.G., Kruithof J.C. (1995). Organic micropollutant removal by activated carbon fiber filtration. Water Supply Volume 13, Issue 3-4, Pages 257 - 261 Proceedings of the IWSA International Specialized Conference on Advanced Treatment and Integrated Water System Management into 21st Century
66. Hopman R., Meerkerk M.A., Siegers W.G., Kruithof J.C. (1994). The prediction and optimization of pesticide removal by GAC-filtration. Water Supply Volume 12, Issue 3-4, Pages 197 - 207 Proceedings of the IWSA Regional Conference on Rehabilitation
[\(PDF\) The prediction and optimization of pesticide removal by GAC-filtration \(researchgate.net\)](#)
67. Kruithof J.C., Hopman R., Meijers R.T., Hofman J.A.M.H. (1993). Presence and removal of pesticides in Dutch drinking water practice. Water Supply Volume 12, Issue 1-2, Pages 55 - 59 1994 Proceedings of the 19th International Water Supply Congress and Exhibition2
[Presence and removal of pesticides in Dutch drinking water practice — the University of Bath's research portal](#)
68. Boere J.A. (1992). Combined Use of Ozone and Granular Activated Carbon (GAC) in Potable Water Treatment; Effects on GAC Quality After Reactivation. Ozone: Science & Engineering Volume 14, Issue 2, Pages 123 - 137

69. Van Der Gaag M.A., Kruithof J.C., Puijker L.M. (1985). The influence of water treatment processes on the presence of organic surrogates and mutagenic compounds in water. *Science of the Total Environment*, The Volume 47, Issue C, Pages 137 – 153
[The influence of water treatment processes on the presence of organic surrogates and mutagenic compounds in water - PubMed \(nih.gov\)](#)
70. Kruithof, J.C., Hess, A.F., Manwaring, J.F., and Beville, P.B. (1985): 'Removal of organic contaminants from drinking water', *Aqua*, London, issue 2, pages 89 – 99.
71. Kool, H.J., Van Kreul, C.F (1984). Formation and removal of mutagenic activity during drinking water preparation. *Water Research* Volume 18, Issue 8, Pages 1011 – 1016
[Formation and removal of mutagenic activity during drinking water preparation - ScienceDirect](#)
72. Kruithof J.C., Nuhn P.A.N.M., Van Paassen J.A.M. (1982). Removal of trihalomethanes and precursors for trihalomethanes by granular activated carbon filtration. *H2O* Volume 15, Issue 11, Pages 277-283+255
73. Cromphout J.; Rogge W. (2002). Cost-effective water treatment of polluted surface water by using direct filtration and granular activated carbon filtration. *Water Science and Technology: Water Supply* Volume 2, Issue 1, Pages 233 – 240
[\(PDF\) Cost-effective water treatment of polluted surface water by using direct filtration and granular activated carbon filtration \(researchgate.net\)](#)

V Het conditioneren van (gereactiveerde) actieve kool met kooldioxide

Bij drinkwaterbedrijf WMD Drinkwater conditioneert producent en leverancier Chemviron met kooldioxide. Een en ander kan als volgt worden toegelicht.

Verse en gereactiveerde actieve kool heeft een reducerend karakter, waardoor het verschillende componenten in het water kan reduceren (onder andere zuurstof). Het gevolg hiervan is dat zonder maatregelen (conditionering) het inloopwater lange tijd zuurstofloos kan zijn. Bijkomend nadeel van de deze omzetting is dat er OH^- wordt geproduceerd **(1)**¹², waardoor de zuurgraad van het water sterk zal oplopen (tot $\text{pH} = 12$). Dit pH-verhogend effect wordt nog versterkt door de zogenaamde onthardingsreactie als gevolg van CaO dat mogelijk op de kool aanwezig is na (re)activatie. Hierbij zal het gevormde ‘kalkmelk’ **(2)** met in water aanwezig waterstofcarbonaat verder reageren **(3)** tot calciumcarbonaat (CaCO_3). Dit gevormde CaCO_3 kan initieel op de kool neerslaan en optimale adsorptie van organische microverontreinigingen (tijdelijk) verslechteren. Overigens zullen ook andere op de kool aanwezige elementen (bijvoorbeeld aluminium en mangaan) kunnen reduceren en daardoor oplossen in het filtraat (= reinwater als actieve-koolfiltratie de laatste zuiveringsstap is). Dit is met name het geval bij gereactiveerde kool, maar ook zeker niet uitgesloten bij verse actieve kool.

WMD Drinkwater wenst dat de actieve kool relatief snel kan worden ingezet, zonder negatieve effecten op de waterkwaliteit en voor de kool. Concreet betekent dit dat actieve kool binnen 100 bedvolumes (= 5.000 m^3 inloopwater) moet kunnen worden ingezet. Bij een inloopdebiet van $50 \text{ m}^3/\text{h}$ duurt dit dus 100 uur (circa 4 dagen). In de tussentijd kunnen de (microbiologische) waterkwaliteitscontroles worden uitgevoerd.

Om de inzet binnen 100 bedvolumes te kunnen garanderen, is een goede conditionering nodig. Chemviron past hiervoor een behandeling met CO_2 (‘koudijs’) toe. Hierbij wordt tijdens het afvullen en transport CO_2 samengebracht met de ge(re)activeerde kool. Het principe is erop gebaseerd dat CO_2 (= in een waterige omgeving een zwak zuur) de elektronenbalans zodanig beïnvloedt dat tijdens de reactie geen OH^- wordt gevormd **(1)**, maar water **(4)**. De redoxpotentiaal (E_0) van reactie **(4)** is hoger (+1,23 V) dan die van reactie **(1)** met een waarde van +0,40 V. Hierdoor is reactie **(4)** preferent boven reactie **(1)**. Het welslagen van deze conditionering hangt af van de hoeveelheid CO_2 , de contactmogelijkheid met kool en de contacttijd. Chemviron heeft aangegeven dit zo optimaal mogelijk door te voeren. Hiervoor heeft Chemviron de kwaliteitsgegevens ontvangen van het reine water van drinkwaterproductielocatie Noordbargeres. Tijdens de inloop zullen de parameters zuurstof en pH kritisch worden gevolgd tot de gewenste waarden van respectievelijk $> 4 \text{ mg/l O}_2$ en $< 8,5$ (pH) zijn bereikt. Eveneens zullen de uitloogbare metalen worden gemonitord. Een deel van het benodigde inloopwater zal worden ingezet voor de uitspoeling van de fines. Na uitspoeling van de fines moet het filter direct op inlopen worden gezet om te voorkomen dat er reversibiliteit optreedt van de elektronenbalans (info van Chemviron). Het eventueel nog aanwezig CO_2 wordt in de waterfase opgelost tot het zwak zure H_2CO_3 en dit zuur kan een deel van het gevormde kalkmelk **(2)** neutraliseren **(5)**. Dit effect zal echter minimaal zijn. Eventueel gevormde scaling van CaCO_3 op de kool zal zeer waarschijnlijk relatief snel oplossen, omdat het nafiltraat van drinkwaterproductielocatie Noordbargeres een licht ‘kalkagressief’ karakter heeft (Saturatie Index (SI) < 0).

¹² Met ‘(1)’ tot en met ‘(5)’ wordt gerefereerd aan de verschillende stappen van de reactievergelijkingen helemaal onderaan deze bijlage.

Reactievergelijkingen (sterk vereenvoudigd):

