



Advies: inrichting van meetstations voor atmosferische depositie, verdamping en grondwateraanvulling in kustduinen

KWR 2021.008

Datum

28-01-2021

Opdrachtgever

DPWE bedrijven

Meer informatie

ir. A. (Arnaut) van Loon (KWR),

T +31 30 606 9550

E Arnaut.van.Loon@kwrwater.nl

Auteur

prof. Dr. P.J. (Pieter) Stuyfzand

ir. M.L. (Martin) van der Schans

Dr. ir. A. (Arnaut) van Loon

Opdrachtnummer

402635/011

Pagina

1/15

Kwaliteitsborger

Dr. ir. A. (Arnaut) van Loon

Projectmanager

ir. M.L. (Martin) van der Schans,

Dr. E. (Edu) Dorland

SAMENVATTING

De lopende meetprogramma's van de DPWE bedrijven bevatten nauwelijks informatie over de invloed van atmosferische depositie en klimaatverandering op de grondwaterkwaliteit. Door gerichte monitoring kan deze informatie op voldoende detailniveau en tegen beperkte kosten worden verkregen, zodat doelgericht maatregelen kunnen worden getroffen.

Geadviseerd wordt om per bedrijf de grondwateraanvulling en atmosferische N-depositie te monitoren op ten minste één locatie middels een bulkneerslagmeter, een wet-only sampler met dry container en ten minste één peilbuis. Bij inrichting van meerdere locaties kan de wet-only sampler vervangen worden door de bemonstering van mossen indien aanwezig. Tevens kan overwogen worden om deze locaties te combineren met het depositienetwerk van RIVM – om de meetmethode te vergelijken. Voor een goede interpretatie is het minimaal noodzakelijk om het regenwater en het grondwater te analyseren op chloride, de ²H en ¹⁸O-isotopen van water en stikstofionen. Voor de interpretatie zijn standaard methoden beschikbaar, waaronder de Chloride Massa Balans (CMB), Isotopen Massa Balans (IMB), Chloride Peak Matching (CPM) en Stikstof Massa Balans (NMB). Het meetnet is ook geschikt voor analyse op persistente stoffen zoals PFAS, maar wel dient vooraf gecontroleerd te worden of er interactie plaatsvindt tussen deze stoffen en het materiaal van de neerslagmeter.

Overzicht metingen en kosten per meetstation (CAPEX eenmalig, OPEX/jaar)

Informatiebehoefte	Meetlocatie	Parameter	Frequentie aantal/jaar	CAPEX (k€)	OPEX (k€/jaar)	Wie?
neerslag	1 bulk- regenmeter	Volume, Cl, EGV, pH	24	2	** 2-3	HWL
		¹⁸ O, ² H			0.5	TUD
bulk depositie OMP*		PFAS,			***	HWL
Natte N-depositie	1 wet-only sampler	NO ₃ , NO ₂ , NH ₄ NH _{4-org}	24	****±15	1	HWL
Droge N-depositie	1 dry container	NO ₃ , NO ₂ , NH ₄ NH _{4-org}	24	****±10	1	HWL
Totale N-depositie	moslaag	Ntot	1		0,5	HWL
Verdamping	1 -4 peilbuizen	niveau, Cl, EGV, pH	6	±3	** 1 - 3	HWL
		¹⁸ O, ² H			0.2-0.4	TUD
totale N-depositie		NO ₃ , NO ₂ , NH ₄ , NH _{4-org}			1-2	HWL
grondwateraanvulling OMP*		PFAS,			***	HWL
TOTAAL				±30	7.2–9.5	

(*) OMP = Organic Micro Pollutants ; (**) inclusief monsternamen (NB: nog checken met HWL door waterbedrijven
(***) kosten afhankelijk van analysepakket; (****) pers. Mededeling Bert Broekhuizen, CN Rood, distributeur van Eigenbrodt, dd 14-7-2020

1 Inleiding

1.1 Belang

De thema's N-depositie en verdroging door klimaatverandering staan momenteel hoog op de politieke agenda en zijn van invloed op de natuur en waterkwaliteit in de duinen. Met gerichte monitoring kan meer en betere informatie over de omvang en bronnen van atmosferische depositie worden verkregen en kan adequaat gehandeld worden om ongewenste situaties te voorkomen.

1.2 Beperkingen van huidige monitoring

Uit een inventarisatie van Stuyfzand et al. (2018) voor de DPWE bedrijven blijkt dat de waterbedrijven in het verleden (20e eeuw) veel gegevens verzamelden over verdamping (met kleine en zeer grote lysimeters) en atmosferische depositie (met bulk regenvangers), maar dat enige huidige monitoring op deze aspecten volledig ontbreekt. Uit het overzicht in Tabel 1-1 blijkt dat regenvangers de enige lopende monitoring vormen van DPWE bedrijven zelf, die de monitoring van verdamping en depositie kan helpen ondersteunen. Wel hebben deze als beperking dat ze niet geschikt zijn voor waterkwaliteitsonderzoek. In het landelijke en provinciale meetnet grondwaterkwaliteit zitten enkele waarnemingsputten, maar de filters zitten te diep (10 m-MV) en zijn te lang (2 m) voor het monitoren van verdamping en depositie. Dit geldt ook voor de recent geplaatste waarnemingsputten in de Luchterduinen voor het DPWE ontkalkingsonderzoek.

De waterbedrijven zijn door het stopzetten van eigen depositiemetingen sterk afhankelijk van metingen elders of berekeningen van derden. Bovendien is het huidige meetnet van derden ontoereikend om onderscheid te maken tussen de omvang van de atmosferische depositie van stikstof in relatie tot de eutrofiëring van de kustduinen. Dit onderscheid is belangrijk omdat het inzicht biedt in hoeverre de depositie kan worden teruggedbracht middels bronmaatregelen aan land. Het enige kuststation waar de atmosferische depositie nog gemeten wordt is gesitueerd aan de binnenduinrand bij de Zilk, maar hier wordt alleen de natte depositie gemeten (niet de bulkdepositie = droog + nat) en zijn de stikstofverbindingen samen met de macroparameters sedert 2013 geschrapt. Het Meetnet Ammoniak in Natuurgebieden (MAN) voorziet niet in de behoefte omdat (i) er geen stikstofoxiden gemeten worden, en (ii) concentraties in lucht moeilijk te vertalen zijn in depositiecijfers. RIVM meet bij De Zilk wel de NO_x concentratie in lucht, maar de vertaling ervan naar depositie kent diverse onzekerheden.

1.3 Recente meetinitiatieven

Inmiddels voeren RIVM en PWN gesprekken over de inrichting van een meetpunt voor droge depositie van ammoniak in het Noordhollands Duinreservaat bij Heemskerk. Met deze monitoring zal de totale omvang van de stikstofdepositie rond dat meetpunt vollediger in beeld worden gebracht, en wordt een indruk daarvan verkregen voor vergelijkbare duingebieden.

Daarnaast voert KWR thans een aantal meetrondes voor stikstofgehalten in mossen uit met als doel de effecten van de stikstofdip als gevolg van de Corona-lockdown vast te kunnen stellen. Het toepassing van mossen als bemonsteringsmethode en de daar bij behorende methodes zijn onderdeel van het internationale ICP Vegetation programma (Harmsen et al. 2014, WGE 2014). Ze geven een goede indruk van de natte stikstofdepositie over de

ca. laatste 2 groeijaren van de mossen. Deze monitoring is echter niet structureel vorm gegeven en beperkt in aantal locaties.

1.4 Doel monitoring

Het **doel** van deze rapportage is de waterbedrijven te adviseren over de wijze van **inrichting van eigen meetstations voor de monitoring van (1) grondwateraanvulling en (2) de totale stikstofdepositie**. Het vaststellen van de meetlocaties maakt geen onderdeel van deze rapportage.

Het uiteindelijke doel is meer inzicht te krijgen in de historische en toekomstige ontwikkeling van met name de N-depositie en verdamping. Het te verkrijgen inzicht dient beter gefundeerde keuzes t.a.v. natuurbeheer (en waterbeheer) mogelijk te maken. Daarnaast dienen de N-depositiegegevens het beleid te ondersteunen in stikstofbeperkende maatregelen.

Tabel 1-1: Inventarisatie van lopend en in verleden uitgevoerd monitoring en onderzoek naar stikstofdepositie en verdamping. WLB = meting uitgevoerd door waterleidingbedrijf.

	PWN				Waternet	Dunea			Evides	
	Bergen	Castricum	Wijk a/z	Kennemerduinen		Berkheyde	Meijendel	Solleveld	Ouddorp	Haamstede
Regenvangers kwantiteit WLB	1	1	1	1	8?	-	-	-	-	-
Regenvangers kwaliteit WLB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stikstof MAN-meetnet #	-	-	-	3x	4x	-	4x	-	-	4x
Landelijk meetnet Lucht \$	-	-	Wijk a/z	-	De Zilk	-	-	-	-	-
Landelijk meetnet Regenw \$\$	-	-	-	-	De Zilk	-	-	-	-	-
Peilbuizen kwaliteit WLB	-	a	b	-	-	-	-	-	-	-
Landelijk/Prov. meetnet	19A354,356	-	19C813,814	25A1362	24H468	-	30G573	30D174	-	-
Lysimeters WLB	-	verlaten	-	-	-	-	-	-	-	-
Bijzondere studies	-	-	-	A	B	-	-	-	C	-
Bodemchemie	-	1	-	-	2	-	3	-	4	-

#: <https://man.rivm.nl/#detailpopup>

\$: <https://www.lml.rivm.nl/meetnet/index.php>

\$\$: <https://www.lml.rivm.nl/gevalideerd/index.php>

a,b = enkele meetpunten jaarlijks op Cl, HCO₃, zuurstofisotoop tbv verspreiding infwater

A,B,C = intensief kwaliteitsonderzoek ondiep duingrondwater gedurende 1 of meerdere jaren

1-4 = meetraaien ontkalkingsonderzoek

2 Meetstrategie en parameters

2.1 Neerslag (m.b.v. regenmeter)

Voor het meten en bemonsteren van de neerslag wordt een eenvoudige neerslagmeter geadviseerd.

Parameters: De te meten parameter is de hoeveelheid water (ml) die in een periode van 2 weken wordt opgevangen met de neerslagmeter.

2.2 Verdamping (CMB, IPM en CPM)

Uit een in 2018 uitgevoerde verkenning voor de DPWE-bedrijven (Stuyfzand et al. 2018) blijkt dat de Chloride Massa Balans methode (CMB) geschikt is voor het inschatten van de evaporatie en grondwateraanvulling in kustduinen met lage begroeiing. De CMB omvat het meten van de hoeveelheid regenval, de Cl-concentratie in regen- en grondwater en een schatting van de droge depositie van Cl. Met deze metingen kan vervolgens een massabalans worden opgesteld voor chloride (of een andere conservatieve tracer) (o.a. Allison et al. 1985, Appelo & Postma 2005), waaruit de grondwateraanvulling en evapotranspiratie volgen:

$$P Cl_P + D = R Cl_R \quad (\text{eq 2-1})$$

$$E = P - R = P - \frac{P Cl_P + D}{Cl_R} \quad (\text{eq 2-2})$$

waarin: Cl_P = naar P gewogen gemiddelde Cl concentratie in bulkneerslag [mg/L];

Cl_R = gemiddelde Cl concentratie in grondwater [mg/L];

D = extra droge Cl depositie van het terrein t.o.v. een altijd open (bulk) regenvanger [$\text{mg}/\text{m}^2/\text{d}$];

R = netto grondwateraanvulling [mm/j];

P = bruto neerslag [mm/j];

E = evapotranspiratie [mm/j].

De extra droge depositie (D) is afhankelijk van het terrein en is een fractie (f_D) van de depositie gemeten met een bulkneerslagmeter. Deze fractie is door Stuyfzand (2018) geschat op 5% voor kaal terrein, 30% voor laag grasland, 50% voor hoog grasland. Vegetatie zorgt dus voor extra invang t.o.v. een bulkregenvanger. Herschrijven van vergelijking 2-2 met f_D levert de volgende vergelijking (Stuyfzand 2018):

$$E = P - \frac{(1+f_D) \cdot P Cl_P}{Cl_R} \quad (\text{eq 2-3})$$

waarin: f_D = fractie extra depositie van chloride t.o.v. een de bulkneerslagmeter [mg/L].

Een goede toepassing van vergelijking 2-1 vereist dat het input signaal (de linker termen) wordt gecorrigeerd voor de ouderdom van het bemonsterde grondwater. Wij stellen voor om de ouderdom te bepalen door Chloride Peak matching (CPM). Daarbij wordt een bijzondere piek of dal in een Cl-tijdreeksop vaste diepte gerelateerd aan de verantwoordelijke piek of dal in het regenwater. De tijdsverschuiving om pieken of dalen te laten overlappen is een maat voor de reistijd van het grondwater sinds de laatste blootstelling aan de lucht.

De zuurstof isotopen ^2H en ^{18}O kennen, net als chloride een seizoensverloop. Het meten van deze extra parameter maakt het mogelijk om, naast de CPM, isotopen peak matching (IPM) uit te voeren als extra controle. De combinatie van metingen leidt tot een grotere betrouwbaarheid van de resultaten. ^2H en ^{18}O zijn bovendien vrij goedkoop om te analyseren.

Parameters: De te meten parameters zijn de grondwaterstanden en de chemische samenstelling van het water in de ondiepe peilbuis (Cl, ^2H en ^{18}O) en de hoeveelheid en samenstelling van het neerslagwater (zie hieronder).

2.3 Stikstofdepositie (m.b.v. auto-samplers en mossen)

Atmosferische stikstofdepositie omvat NO_x , NH_v , NO_3 , NO_2 , NH_4 en NH_4 -organisch. Daarnaast kan N_2 fixatie optreden. Depositie vindt zowel plaats door neerslag (wet) als tijdens droge perioden (droog).

In het verleden is de stikstofdepositie gemeten met bulk regenvangers. Inmiddels is echter bekend dat bulk regenvangers geen representatieve schatting van de stikstofdepositie geven. Dit komt o.a. doordat een fractie van de droge depositie wordt ingevangen, omzetting in het voorraadvat en verontreiniging met andere bronnen zoals vogeluitwerpselen. Daarom adviseert het RIVM om de natte depositie te meten met wet-only samplers met koelvoorziening. Voor het monitoren van de droge depositie wordt thans gewerkt aan de inrichting van een meetpunt in het duingebied bij PWN. Tevens zijn de wet-only samplers sinds kort uit te breiden met een dry container voor het bemonsteren van de droge depositie. De betrouwbaarheid van deze dry containers is echter nog niet goed bekend pers. Mededeling Bert Broekhuizen, CN Rood, distributeur van Eigenbrodt, dd 14-7-2020. Vanwege de hoge kosten van de auto-samplers en de beperkte toepasbaarheid in de praktijk (een stroomvoorziening is noodzakelijk) adviseren wij parallel ook de stikstofdepositie op basis van mos-analyses (Harmens e.a., 2014) uit te breiden en structureel vorm te geven. Deze methode geeft een goede schatting van de totale stikstofdepositie. Deze totale depositie kan met isotopenanalyses uitgesplitst worden naar natte en droge depositie, zodat directe vergelijkingen met depositiemetingen mogelijk is.

Naast de bovenstaande meetmethodes voor directe depositiemeting stellen wij voor om de depositie ook te meten aan de hand van de Nitrogen (stikstof) Mass Balance (NMB) in ondiepe peilbuizen of minifilters. De depositiefactor (fD) kan voor stikstof namelijk aanzienlijk hoger zijn dan voor chloride door het aantrekken van NO_x en NH_y in de bodem, afhankelijk van de pH (Stuyfzand 1993) en chloride depositie (zouter regenwater en vocht aan maaiveld werken hydroscopisch). De depositie van NO_x en NH_y wordt hierdoor immers zelfs met een automatische samplers onderschat. Daarbij speelt dat deze zure/zuurvormende gassen door kalkrijk duinzand a.h.w. worden aangetrokken (en daardoor extra depositie ondervinden), omdat zij kalk oplossen en daarbij a.h.w. nieuwe gasabsorptie mogelijk maken (Stuyfzand 1993, par. 6.8). N_2 fixatie kan ook nog een rol van betekenis spelen, vooral indien er cyanobacteriën en symbiotische bacteriën aanwezig zijn zoals in de wortelknollen van duindoorn (Stuyfzand 1993 p.206 en 256). Met deze N-depositie verhogende factoren wordt in het RIVM-meetnet geen rekening gehouden.

Het meetsysteem omvat dus een bulk regenvanger, een wet-only sampler met dry container of een bemonsterbare moslaag en één of meer peilbuizen (minimum is 1; 4 is wenselijk i.v.m. statistische significantie). Ter verificatie en verbetering van de representativiteit van de mosmethode adviseren wij om ook bij de wet-only sampler met dry container de moslaag te bemonsteren.

Een wet-only sampler vangt alle neerslag en natte depositie op in een reservoir. De dry container vangt de droge depositie op in een reservoir. De inhoud (ml) en chemische samenstelling (stikstof) van beide containers wordt regelmatig gemeten. Wij adviseren een meetfrequentie van één keer per maand; frequenter is te duur, minder frequent ongewenst i.v.m. omzetting NH_4 . De natte depositie kan vervolgens berekend worden als de opgevangen hoeveelheid water maal de concentratie gedeeld door het oppervlak van het meetinstrument. De netto toevoer richting grondwater wordt verkregen door de depositie te vermenigvuldigen met de indamping (vandaar dat het belangrijk is om de meting te combineren met de CMB en ^{18}OMB).

De NMB-meting in ondiepe peilbuizen of minifilters omvat het regelmatig (tweemaandelijks is optimaal) bemonsteren en analyseren van de samenstelling van het ondiepe grondwater. De depositie kan worden berekend door de waargenomen stikstofconcentratie te vermenigvuldigen met de grondwateraanvulling. Het verschil tussen de aldus berekende atmosferische output via ondiep grondwater en de waargenomen input in de auto-samplers of mossen vormt een schatting van de extra droge depositie (extra t.o.v. een bulk regenvanger).

De ondiepe peilbuizen worden geplaatst in ondiep grondwater dat onder kaal duinzand of grasland aantoonbaar geen denitrificatie heeft ondergaan en waar bodemvorming of –afbraak en opslag in of mobilisatie vanuit vegetatie en bodemleven geen (zo min mogelijk) invloed uitoefenen.

NMB omvat de extra depositie die optreedt door invang in de lage begroeiing (ook wel aangeduid als interceptiedepositie; c.f. Stuyfzand et al 2019) én de extra depositie van NO_x en NH_y plus enige N_2 -fixatie. Om de stikstofdepositie voor een geheel duingebied vast te stellen, is het nodig om op meerdere plots (met verschillende begroeiing) te meten. Dat vergt vooral extra peilbuizen onder verschillende vegetatietypen, omdat de atmosferische N-depositie die wordt gemeten met auto-samplers minder variatie vertoont dan die in het bovenste grondwater. Een dergelijke uitbreiding vergt echter veel aanvullend onderzoek naar geschikte locaties en de invloed van vegetatieafhankelijke processen.

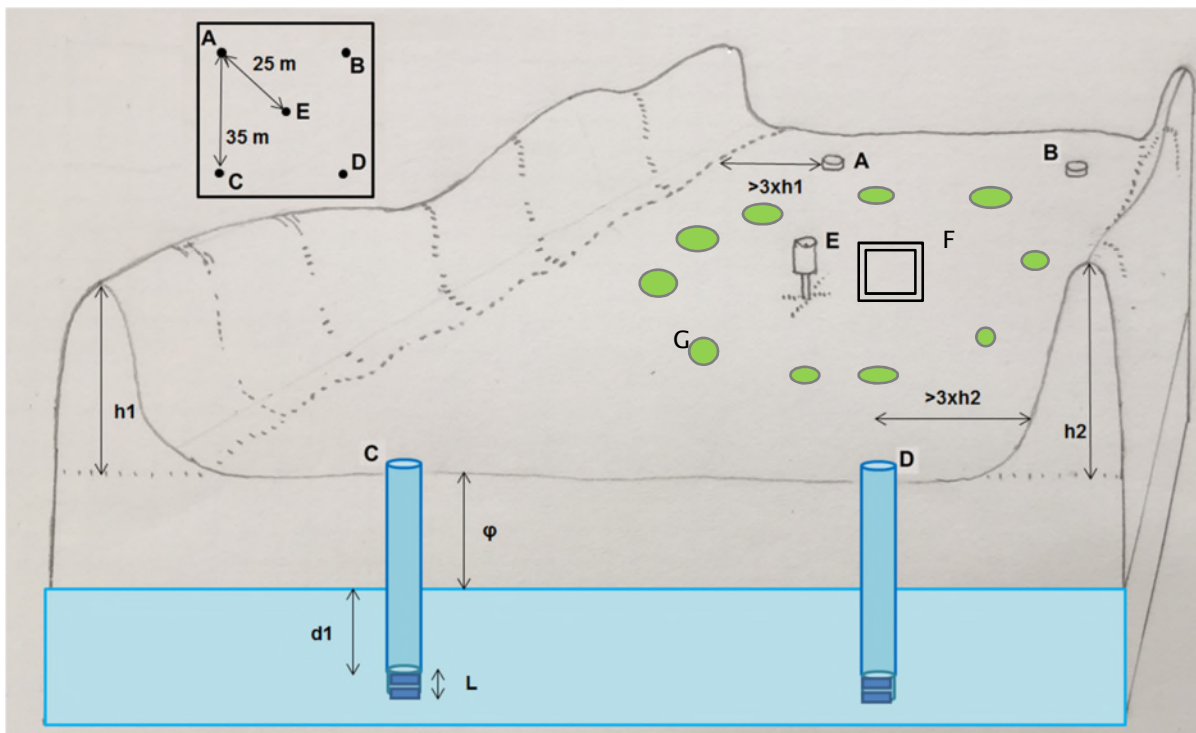
Parameters: De te meten parameters zijn de grondwaterstanden en de chemische samenstelling van het water in de ondiepe peilbuizen (NO_3 , NO_2 , NH_4 en NH_4 -organisch) en in de regenmeter.

3 Eisen t.a.v. ligging van meetlocaties (depositieplots)

De metingen vinden plaats op depositieplots met 1 centrale bulk regenvanger en omringende ondiepe peilbuizen (waarnemingsputten; bijvoorbeeld 4 i.v.m. verwachte ruimtelijke variaties binnen het depositieplot). Daarnaast wordt op de depositieplot een wet-only sampler met dry container geplaatst, of worden de mossen op 5-10 subplots bemonsterd. De belangrijkste standplaatseisen voor de hele plot zijn als volgt:

- Vlak duinterrein.
- Voldoende grote afstand van omringende duinruggen of vegetatietoppen. Dit om te voorkomen dat de regenvanger en autosamplers beïnvloed worden door turbulenties tgv hoogtes in het landschap (duintoppen of bomen). Als vuistregel voor “voldoende afstand” geldt 3x de hoogte.
- Geen of uniforme begroeiing door mossen en/of grassen. Laag struweel liever niet om diverse complicaties te vermijden
- Geen begrazing (uitsluiting van vee en herten) om complicaties te voorkomen.

- > 1000 m afstand van de zeereep.
- Geen oppervlakkige aan- of afvoer van regenwater, geen inundatie.
- Gemiddelde diepte tot grondwaterspiegel 2-4 m beneden maaiveld (m-mv).
- Geen sterke laterale grondwaterstromingscomponent.
- Makkelijk bereikbaar maar voldoende uit het zicht van duinbezoekers, of in gebied verboden voor bezoekers.
- Bovenste grondwater in jong of oud duinzand, boven (niet in) de laag met strandschelpen rond NAP.
- Bodemprofiel zonder veenlagen, zand moet over hele diepte geelbruin gekleurd zijn.



Figuur 3-1 Ontwerp van een 'Depositieplot' voor meting van de atmosferische depositie van zeezout (Cl), stikstofionen (NH_4 , NO_3 , NO_2) en isotopen van het watermolecuul (^2H en ^{18}O), en de concentraties hiervan in ondiep duingrondwater. Figuur niet op schaal.

A-D = peilbuizen waar diepte tot grondwater (φ) 2-3 m-MV, diepte bovenkant filter (d_1) 1 m – GW, en filterlengte (L) 0.25 m. E = bulk regenvanger. F= wet-only sampler met dry container. G = 5-10 bemonsteringslocaties mossen, samen te voegen tot een mengmonster

4 Eisen aan meetapparatuur

4.1 Bulk regenmeter

Meting van neerslaghoeveelheid geschiedt met een bulk collector in het vrije veld. Een geschikte regencollector is de KNMI bulkcollector (zie Figuur 4-1), met een effectief trechteroppervlak van 390 cm² (doorsnede ~22.3 cm) en plaatsing op 1.5 meter boven maaiveld. Het opgevangen regenwater draineert in een 6L PE fles die gehuisvest is in een van licht afgesloten ruimte om chemische reacties door licht te voorkomen. Een zaagtandkraag dient om vogels te weren.



Figuur 4-1: De KNMI bulk regenvanger zoals gebruikt in het kervenonderzoek in de Noordwestkern van de Kennemerduinen.

4.2 Wet-only sampler met dry container

Voor de monitoring van stikstofdepositie adviseren wij een wet-only sampler met dry container en/of door bemonstering van de moslaag. Vanwege de hoge kosten van een wet-only sampler stellen wij voor om dit apparaat selectief in te zetten, bijvoorbeeld bij 1 van de 3 plots, en de moslaag bij elke plot te bemonsteren en analyseren op Ntot.

Bij een wet-only sampler (Figuur 4-2) wordt het opvangreservoir enkel geopend bij regen, zodat droge depositie wordt uitgesloten van de meting. De UNS 130/E is een goede kandidaat (<https://www.eigenbrodt.de/en/>), maar is wel 1,5 hoog. Dit apparaat vereist de beschikbaarheid van elektriciteit voor de regensensor, het openen en stuiten van het deksel en koeling van het regenmonster.

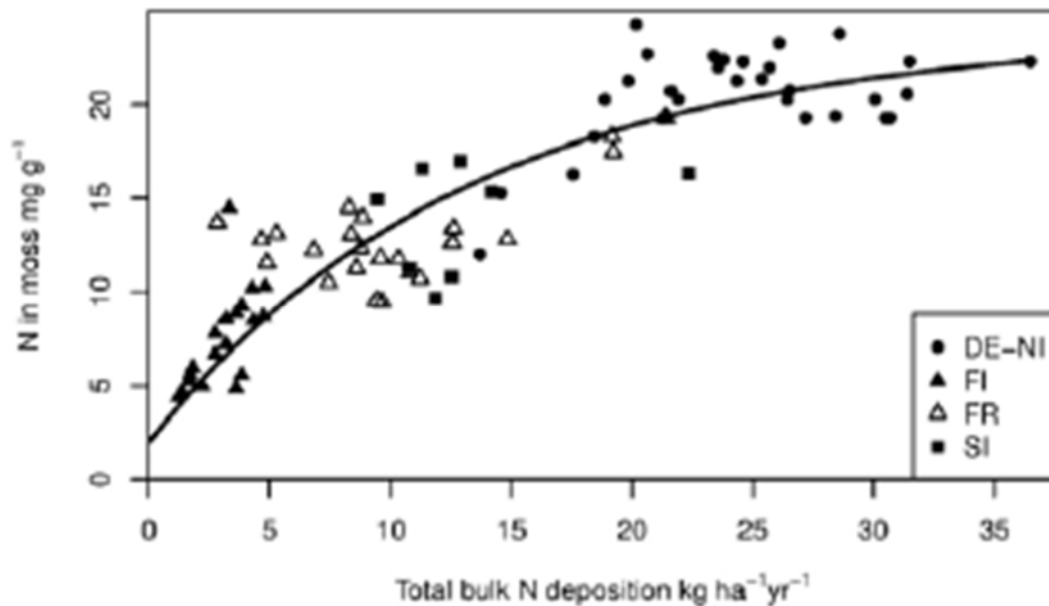


Figuur 4-2: Wet-only sampler

De wet-only sampler kan sinds kort tegen relatief geringe kosten (10 k€) uitgebreid worden met een dry container (pers. Mededeling Bert Broekhuizen, CN Rood, distributeur van Eigenbrodt, dd 14-7-2020). Het is nog onbekend hoe representatief het bemonsterde volume is voor de droge depositie als geheel. Wij adviseren om ervaring met deze uitbreiding op te doen en referentiemetingen te verzamelen door mossen te bemonsteren en de totale depositie uit grondwatermeetpunten af te leiden.

4.3 Stikstofgehalte van mossen

Uit recent wetenschappelijk onderzoek blijkt dat het totaal stikstofgehalte van mossen een eenduidige relatie vertoont met de bulk stikstofdepositie tot ongeveer 25 kg N/ha/jr (Figuur 4-3; Harmens e.a., 2014). Bij hogere depositiegehalten treedt N-verzadiging van de mossen op, zodat deze methode niet meer geschikt. Tegenwoordig ligt de meeste duingebieden de N-depositie onder de het N-verzadigingsniveau, zodat mossen een goede indicatie geven van de bulk depositie over een langere periode (max twee groeiseizoenen).



Figuur 4-3: Relatie tussen bulk stikstofdepositie en het stikstofgehalte in mossen (Harmens e.a., 2014)

4.4 Peilbuizen

De 1-4 peilbuizen ($\phi 33$ mm) worden geplaatst volgens het VKB-protocol 2001 “plaatsen van handboringen en peilbuizen, maken van boorbeschrijvingen, nemen van grondmonsters en waterpassen.” Hierbij wordt op de volgende punten afgeweken van voornoemde protocol:

- Gebruik een verbuisde boormethode om de hoeveelheid werkwater te minimaliseren. Werkwater verstoort namelijk de metingen.
- Filterlengte 25 cm. Dit om heel gericht van een bepaalde diepte te bemonsteren
- Bovenkant filter 50 cm beneden de minimale grondwaterstand (om droogval te voorkomen)
- Boorgat aanvullen met uitgekomen materiaal tot 50 cm-mv. Bovenste 50 cm zwelklei.

5 Eisen aan monstername

5.1 Monstername Bulk regenmeter (2-wekelijkse bemonstering)

Error! Reference source not found. toont diverse algemene problemen met regenwaterbemonstering. In het voorliggende meetplan zijn maatregelen opgenomen om deze problemen op relatief eenvoudige wijze op te lossen.

De standtijd van de vangster kan voor ^2H en ^{18}O niet langer genomen worden dan de aanbevolen 2 weken, omdat verdamping vanuit het opvangvat de concentraties kunnen beïnvloeden. Bovendien maakt een langere standtijd een groter trechteroppervlak en groter opvangvat noodzakelijk. Dit betekent dat de regenvanger tweewekelijks bemonsterd en gelegeerd dient te worden.

Verpakkingen en bemonsteringsprocedure:

- Neem 1 grote PE-fles (ca. 6 L) mee na omspoelen met demi-water. Neem ook mee: 1 aparte fles (0,5-1 liter) met demiwater om de trechter van de regenvanger in het duin schoon te spoelen, plus een spons om trechter van regenvanger te kunnen schoonmaken indien nodig.
- Haal de fles uit de regenvanger en doe de bijbehorende dop (ook in regenvanger aanwezig) erop. Indien dop vuil is, dan deze eerst omspoelen met demiwater.
- Check of het etiket fles overeenkomt met het monsterpunt en andere meta-data.
- Noteer eventuele bijzonderheden op formulier
- Spoel trechter schoon en gebruik eventueel spons om trechter schoon te krijgen. Spoel dan na met demiwater. Laat daarbij het water gewoon vrij naar beneden weglopen (niet opvangen).
- Zet lege fles met juiste etiket in de regenvanger met dop eraf. Berg dop op in regenvanger.
- Sluit vanger af om fles donker te laten staan.
- Weeg de 6 L fles met inhoud zonder dop, en noteer gewicht op formulier (Gewicht-vol)
- Zet voor meegenomen monster 3-4 schone (!) flesjes apart en codeer deze afhankelijk van datum met watervaste stift als aangegeven op formulier. De 4 flesjes bestaan uit 2 HWL-flesjes van 100 cc (voor chloride en eventueel andere stoffen) en 2 identieke kleine buisjes (lijkend op reageerbuis; inhoud ca 12 cc) voor TUD i.v.m. analyse isotopen.
- Afhankelijk van eventuele aanvullende lab-wensen: Vul de 4 flesjes helemaal met het bijbehorende regenwater uit de grote fles na (!) filtratie over 0.45 µm. Filtratie via filtratiespuit met opgezet membraanfilter, na (!) voorspoelen ervan met regenwatermonster (vul spuit voor ¼, spuit dit door filter heen en gooi dit filtraat weg). Na voorspoelen pas echt filtreren, waarbij filtraat in 4 flessen op te vangen. Sluit flesjes na vullen goed af met bijbehorende dop. Bij weinig water vul reageerbuisjes eerst, dan pas grotere flesjes.
- Afhankelijk van eventuele aanvullende lab-wensen: Meet in een bekeerglas het elektrisch geleidingsvermogen (EGV), pH, en watertemperatuur (Temp). Gebruik gefiltreerd water uit grotere flesje.
- Ledig de grote regenwaterfles en weeg deze nu leeg (na uitlekken van water) zonder dop (Gewicht-leeg).
- Spoel de grote fles om met demiwater. Als er sprake is van een aanslag op de fles, probeer deze dan eerst met sop en warm kraanwater en/of borstel schoon te krijgen. Daarna 2x goed met demiwater spoelen.

5.2 Monstername wet-only sampler

De monstername van de wet-only sampler verloopt op vergelijkbare wijze, behalve dat niet 4, maar 2 flesjes (voor HWL) gevuld moeten worden.

5.3 Bemonstering mossen

Het protocol van Harmens e.a. (2014) wordt thans aangepast om het tijdvenster van de bemonstering aan te scherpen tot een groeiseizoen. De werkwijze zal in 2020 door KWR gerapporteerd worden. Op hoofdlijnen worden op 5-10 subplots mossen verzameld en per plot samengevoegd tot één mengmonster. Bemonstering dient uitgevoerd te worden door een deskundige veldecoloog omdat de levende biomassa bemonsterd moet worden. Met Kjeldahl-methode wordt de totale stikstof bepaald. Eventueel kan op basis van stikstof- en zuurstofisotopen de totale stikstofdepositie opgesplitst worden in het aandeel droge en natte depositie.

5.4 Monstername peilbuizen

Peilbuizen worden voorgespoeld conform NTA 8017. Hierbij gelden de volgende aandachtspunten/ afwijkingen van het voornoemde protocol:

- Plaats de monstername slang in het peilbuisfilter
- Bij voorkeur slechts een geringe hoeveelheid (orde grootte 2 liter) verpompen met een laag debiet (<0.5 l/min).
- Het water wordt geloosd op >30 m afstand.

Afhankelijk van eventuele lab-wensen: Na schoonpompen wordt een watermonster genomen in 2 HWL-flesjes van 50-100 cc (voor HWL voor stikstof) en 2 identieke kleine buisjes (lijkend op reageerbuis; inhoud ca 12 cc voor TUD t.b.v isotopen). Alleen 1 vd TUD-buisjes dient met 0.45 um gefiltreerd water gevuld te worden.

5.5 Conservering en conserveringsstermijn:

- N-verbindingen dienen binnen 24-uur geanalyseerd te worden.
- Voor Isotopen, chloride en metalen geldt een maximale conserveringstermijn van 1-2 jaar.

6 Analysepakket

Een samenvatting van het meetprogramma met indicatieve jaarlijkse kosten van de analyses plus bemonstering staat in Tabel 6-1. In het 'Metals+' pakket zitten belangrijke aanvullingen die het mogelijk maken om belangrijke componenten van atmosferische depositie mee te nemen (PO₄-totaal als P, SO₄ als S, Na, K, Ca, Mg) en om de analyses te controleren (ionenbalans, 2x Cl). Dit pakket kan het beste samen met de isotopen via TUD lopen.

HWL moet rekening houden met zeer lage Cl-concentraties (0.5-1.0 oplopend tot 200 mg/L).

Tabel 6-1: Overzicht van het meetprogramma regen- en grondwater, met indicatieve analysekosten op jaarbasis.

	frequentie n/jaar	grondwa- terstand	Volume	pH, EC		Cl	NO ₃ , NO ₂ , NH ₄	² H, ¹⁸ O	Metals+ #
				HWL ongefiltreerd					
Kosten in €				100				10	30
Regenwater	26	nee	ja	ja	ja		ja	ja	?
Grondwater	6	ja	nee	ja	ja		ja	ja	?

#: Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Si, Cl, Br, S, P, 55 spore-elementen

	Frequentie (n/jaar)	Grondwater- Stand	Volume	pH	EC	Cl	NO ₃ , NO ₃ , NH ₄	Ntot	² H, ¹⁸ O	Metals+
			HWL ongefilterd						TUD ongefilterd	TUD Gefiltreerd
Kosten (€)			100					20	10	30
Regenwater	24	Nee	Ja	Ja	Ja	Ja	ja	Nee		
Grondwater	6	Ja	Nee	Ja	Ja	ja	Ja	nee		
Mossen	1	nee	nee	nee	Nee	nee	nee	Ja		

7 Interpretatie en evaluatie

De gegevens worden ten minste jaarlijks beoordeeld conform de in hoofdstuk 2 beschreven methode. Wij stellen voor om vervolgens na 2 jaar te evalueren wat de metingen toevoegen aan de bestaande datareeks en of er optimalisaties nodig zijn.

8 Raming van kosten

De kosten voor implementatie van het meetnet zijn als volgt:

- eenmalige aanschaf van een bulk regenmeter en wet-only sampler met dry container: ongeveer $2 + 15 + 10 = 27$ k€ per locatie. De autosamplers kunnen voor een deel vervangen worden door mosbemonstering.
- eenmalig boren en afwerken van 4 ondiepe waarnemingsbuizen: 4 k€ per locatie
- Tweemaandelijks monsternamen en analysekosten door HWL (pH, EC, Cl, NO₃, NO₂, NH₄, NH₄-organisch), en TUD (²H + ¹⁸O + metal+) 6-10 k€ per locatie.
- Jaarlijkse bemonstering van mossen (Ntot): 0.5 k€ per locatie

Deze kostenraming is niet meer dan een eerste inschatting, waaraan geen rechten ontleend kunnen worden.

9 Literatuur

Harmens, H., Schnyder, E., Thoni, L., Cooper, D.M., Mills, G., Leblond, S., Mohr, K., Poikolainen, J., Santamaria, J., Skudnik, M., Zechmeister, H.G., Lindroos, A.-J., Hanus-Ilmar, A.H., 2014. Relationship between site-specific nitrogen concentrations in mosses and measured wet bulk atmospheric nitrogen deposition across Europe. *Environmental Pollution*, 50-59.

Meetnet luchtkwaliteit van RIVM: www.luchtmeetnet.nl

Stuyfzand, P.J. 1993. Hydrochemistry and hydrology of the coastal dune area of the Western Netherlands. Ph.D Thesis Vrije Univ. Amsterdam, published by KIWA, ISBN 90-74741-01-0, <http://dare.ubvu.vu.nl/handle/1871/12716>, 366 p.

Stuyfzand, P.J. 2018. Verkenning van de chloride massabalans methode ter inschatting van de verdamping, grondwateraanvulling en klimaatgebonden veranderingen in waterbalans. KWR rapport KWR 2018.101, 49p.

Stuyfzand, P.J. en S.M. Arens, 2015. Effecten van meteorologische condities, het kerven en kaalscheren van de zeereepzone op de samenstelling van regenwater, bodemvocht en grondwater in de Kennemerduinen. KWR-rapport BTO 2015.220(s), 170p. http://dt.natuurkennis.nl/uploads/bto_2015_220s_effect_kerven_zeereep_op_regen_bodemvocht_en_grondwater_kennemerduinen.pdf

Stuyfzand P.J., Aggenbach C.J.S. and Y. Fujita 2019. Ontkalking en verzuring van de Nederlandse kustduinen: status quo, toekomst en maatregelen. KWR-rapport KWR2019-045, 105p.

BIJLAGE 1: AANDACHTSPUNTEN PLAATSEN PEILBUIS

Het boren

- **Schoon werken:** Op de plek wordt zo schoon mogelijk gewerkt om het natuurlijke patroon/milieu niet te verstoren. Daarom wordt op de boorlocatie met een zeil gewerkt voor de opgeboorde grond, en met emmers voor opgepompt grondwater, indien dit water nog nodig is.
- **Overgebleven grond** wordt elders gedeponereerd (>30 m van de locatie, buiten de depositieplot).
- **Boormethode:** door het droge deel met een brede (ca 10 cm) Edelman, natte deel werken met casing en handpulsboor.
- **Werkwater:** Zo min mogelijk! Er wordt alleen werkwater toegevoegd als dat voor het pulsen echt nodig is. Grondwater dat met het pulsen meekomt wordt eventueel weer herbruikt, als werkwater nodig is.
- **Boorbeschrijving profiel:** textuur, kleur!, organische lagen, ontkalkingsdiepte met bruismethode, letten op H₂S geur

Plaatsing peilbuis en inrichting meetpunt

- **Peilbuis:** stijgleiding en filter van PVC of (HD)PE, ~1 duims inwendig. Verbinding filter met stijgbuis via lijmen of schroefdraad met omwikkeling met fitterstape. Filter omwikkelen met filterkous en dop aan onderzijde. Schroefdop met klein gaatje aan bovenzijde peilbuis.
- **Filterlengte:** 0.25 meter
- **Filterstelling:** Op elke locatie, bovenkant filter op 1,0 meter beneden de actuele grondwaterstand (dus onderkant filter op 1.25 m onder de actuele grondwaterstand)
- **Afwerking:** Terug storten uitgeboorde materiaal in zelfde volgorde als het er uit kwam. Zeer goed aanstampen met balk en voet. Afwerking liefst met beschermkoker + slot. Bentoniet kleiafdichting van 0.5 m vanaf grondwaterspiegel tot 0.5 m omhoog.
- **Inmeten:** Hoogte maaiveld en bovenkant buis met RTK GPS? Om ook de NAP hoogte nauwkeurig te hebben.

Waterstand, schoonpompen en bemonstering

- **Waterstand:** Na plaatsing van de peilbuis (>1 uur na plaatsing) wordt de grondwaterstand tov bovenkant peilbuis genoteerd. Voorafgaande aan elke reguliere bemonstering wordt de grondwaterstand gemeten.
- **Schoonpompen na boring:** Na meting grondwaterstand volgt het schoonpompen, zodanig dat met een laag debiet ongeveer 6x de inhoud van putfilter plus stijgleiding ververs is. Het water wordt geloosd op >30 m afstand. Voorbeeld: als inderdaad 1.25 m waterkolom in stijgbuis + filter, dan bedraagt het watervolume $\pi r^2(d+L) = 3.14 \times 1.25^2 \times 1.25 = 613 \text{ cc} = 0.6 \text{ L} \times 6 = 3.6 \text{ L}$.

Jaar van publicatie
2019

Meer informatie
ir. M.L. (Martin) van der Schans (KWR),
T +31 30 606 9537
E martin.van.der.schans@kwrwater.nl

Groningenhaven 7
Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein

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

KWR 2019.@@@ | 2 oktober 2019 ©KWR

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vervoelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevens bestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Keywords

atmosferische depositie, verdamping,
monitoring