



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

Onderzoek naar de herkomst van neergedaald stof en stoffen in de lucht in de IJmond regio

RIVM-rapport 2021-0216

J. Elberse et al.



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

Onderzoek naar de herkomst van neergedaald stof en stoffen in de lucht in de IJmondregio

RIVM-rapport 2021-0216

Colofon

© RIVM 2021

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

Het RIVM hecht veel waarde aan toegankelijkheid van haar producten. Op dit moment is het echter nog niet mogelijk om dit document volledig toegankelijk aan te bieden. Als een onderdeel niet toegankelijk is, wordt dit vermeld. Zie ook www.rivm.nl/toegankelijkheid

DOI 10.21945/RIVM-2021-0216

J.E. Elberse (auteur), RIVM
D. Mooibroek (auteur), RIVM
S. Teeuwisse (auteur), RIVM
M.G. Mennen (auteur), RIVM
R. Hoogerbrugge (auteur), RIVM

Contact:
J.E. Elberse
Centrum Veiligheid
Janneke.Elberse@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van de Provincie Noord-Holland, de gemeenten Velsen, Beverwijk en Heemskerk in het kader van het gezondheidsonderzoek in de IJmond

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

Publiekssamenvatting

Onderzoek naar de herkomst van neergedaald stof en stoffen in de lucht in de IJmondregio

Inwoners van de IJmond zijn bezorgd over de stoffen die ze inademen en over stofdeeltjes die ze in hun omgeving zien liggen. Ze willen graag weten waar deze stoffen vandaan komen, vooral op dagen dat zij de luchtkwaliteit als ongezond ervaren. De provincie Noord-Holland heeft, samen met de IJmondgemeenten, het RIVM gevraagd onderzoek te doen naar de bronnen.

Voor de stoffen in de lucht is informatie gebruikt uit het luchtmeetnet in de IJmond en over de uitstoot van stoffen in de milieujaarverslagen en de Emissieregistratie. Voor de stoffen op de grond is eerder onderzoek van het RIVM hierover in de leefomgeving rond het terrein van Tata Steel (metalen en PAK) gebruikt. Al deze informatie geeft een indruk welke bronnen bijdragen aan de stoffen in de lucht en op de grond. Het lijkt erop dat bronnen op het terrein van Tata Steel een belangrijke bijdrage leveren aan onder meer fijnstof, metalen en PAK in de IJmondregio.

Uit analyse blijkt dat PAK en metalen in het neergedaalde stof voor een aanzienlijk deel afkomstig zijn van verschillende processen voor de staalproductie. Ook komen ze van op- en overslag van materialen op het terrein van Tata Steel, die worden gebruikt bij de staalproductie. Deze analyses geven niet genoeg informatie over de precieze bijdragen van deze en andere bronnen aan de PAK en metalen in de stofdeeltjes.

Ook blijkt uit berekeningen met een verspreidingsmodel dat de gemeten en berekende bijdrage door Tata Steel aan de hoeveelheid fijnstof in de leefomgeving goed met elkaar overeenkomen. Maar de gemeten hoeveelheden metalen en PAK zijn (veel) hoger dan was verwacht op basis van berekeningen met data van de milieujaarverslagen, respectievelijk de Emissieregistratie. Deze gegevens over de uitstoot lijken niet volledig te zijn aangeleverd. Om hier goed inzicht in te krijgen beveelt het RIVM aan om de informatie over de uitstoot van bronnen op het terrein van Tata Steel te verbeteren en deze op een transparante manier te ontsluiten.

Ten slotte blijkt van de PAK en metalen in het fijnstof, gemeten in de IJmond, dat een aanzienlijk deel afkomstig is van activiteiten op het terrein van Tata Steel. Dit volgt uit een analyse van de samenstelling van het fijnstof. Fijnstof is een mengsel van meerdere stoffen. Bronnen stoten deze stoffen in verschillende verhoudingen uit. Aan de hand van de verschillende verhoudingen kon het RIVM twee categorieën van bronnen relateren aan het terrein van Tata Steel.

Kernwoorden: IJmond, bronnen, Tata Steel, fijnstof, depositie, PAK, metalen, luchtmeetnet, Emissieregistratie

Synopsis

Investigation into sources of deposited substances and particulate matter in air in the IJmond region

IJmond residents are concerned about the substances they are inhaling and about particulate matter visibly deposited in their environment. They would like to know where these substances are coming from, particularly on days when they feel that the air quality is unhealthy. The Province of North Holland has asked the National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) to investigate the sources of these substances.

To acquire a better understanding of the sources, information was used from the air quality monitoring network (*luchtmeetnet*) for IJmond, the Pollutant Release and Transfer Register, and previous research carried out by RIVM on the substances (metals and PAH) deposited on the ground in the environment around Tata Steel.

The data on the composition and distribution of the deposited substances were subjected to further analysis. The analysis showed that PAH and metals in these particles stem from, among other things, various processes as well as storage and trans-shipment of raw materials on Tata Steel's site that form part of the steel production activities. However, the analyses did not yield sufficient information to determine the extent of the role played by each of these and other sources. Nevertheless, the results corroborate the previous conclusion that a significant proportion of the metals and PAH in coarse particulates originate from Tata Steel's site, particularly in Wijk aan Zee.

Calculations using the Pollutant Release and Transfer Register data reveal close correspondence between the measured and calculated quantities of particulate matter in the living environment. However, the measured quantities of metals and PAH (highly) exceed the levels expected by calculations. Therefore, the data on emissions of metals and PAH seem to be incomplete. Acquiring a solid understanding of the emissions and their impact on the local area will be important. Therefore the RIVM recommends acquiring a more complete overview of metal-emitting and PAH-emitting sources on Tata Steel's site. This information should be made accessible in a transparent way.

Finally, the investigation looked at whether the sources of particulate matter can be identified based on their chemical composition. Particulate matter is a mixture of multiple substances emitted in different ratios by different sources. The local air quality monitoring network measures the chemical composition. This information has enabled RIVM to identify source profiles and contributions to particulate matter by factor analysis. Two of these profiles relate to sources on Tata Steel's site.

Keywords: IJmond, sources, Tata Steel, particulate matter, deposition, PAH, metals, air quality monitoring network, Pollutant Release and Transfer Register

Inhoudsopgave

Samenvatting — 9

1	Inleiding — 17
1.1	Aanleiding — 17
1.2	Fijnstof en grof stof — 18
1.2.1	Blootstelling en gezondheidsrisico's — 18
1.2.2	Verspreiding en depositie — 19
1.2.3	Samenstelling en bronnen — 20
1.2.4	Bepaling van de herkomst van stoffen — 20
1.3	Opzet van het onderzoek naar herkomst van stoffen — 24
2	Herkomst neergedaald stof in de IJmondregio — 27
2.1	Inleiding — 27
2.2	Aanpak analyse herkomst PAK en metalen in neergedaald stof — 28
2.2.1	Windrozen — 30
2.3	Analyse herkomst PAK-depositie — 32
2.3.1	Gegevens literatuur en Emissieregistratie — 32
2.3.2	Verspreidingspatroon gemeten PAK-depositie — 33
2.3.3	Analyse PAK-profielen — 37
2.3.4	Samenvatting analyse herkomst PAK — 39
2.4	Analyse herkomst depositie metalen — 40
2.4.1	Gegevens literatuur en Emissieregistratie — 40
2.4.2	Verspreidingspatroon metalendepositie — 41
2.4.3	Ander onderzoek samenstelling neergedaald stof in de IJmond — 47
2.4.4	Samenvatting analyse herkomst metalen — 49
3	Verspreidingsberekeningen van concentraties in de IJmond op basis van emissies uit de Emissieregistratie — 51
3.1	Inleiding — 51
3.2	Opzet en uitvoering — 51
3.2.1	Emissieregistratie data e-MJV als basis — 52
3.2.2	Selectie van stoffen, ligging emissiepunten en rekenjaren — 53
3.2.3	Model verspreidingsberekeningen — 60
3.2.4	Selectie meetstations luchtkwaliteit — 60
3.2.5	Berekening bijdrage — 61
3.3	Resultaten: berekende en gemeten concentraties — 62
3.3.1	Fijnstof — 62
3.3.2	Metalen — 64
3.3.3	PAK — 68
3.4	Conclusie en discussie — 70
3.4.1	Conclusie — 70
3.4.2	Discussie — 71
4	Analyse luchtmeetnetgegevens met Positive Matrix Factorization — 75
4.1	Inleiding — 75
4.1.1	Profielen — 75
4.2	Aanpak — 76
4.2.1	Dataset — 76
4.2.2	Bijdrage aan PM ₁₀ — 77

4.2.3	Blanco's — 80
4.2.4	Behandeling van ontbrekende data — 82
4.2.5	PMF-data-analyse — 83
4.2.6	Ruimtelijke analyses — 85
4.2.7	Onzekerheden — 86
4.3	Resultaten — 86
4.3.1	Profiel: zeezout — 91
4.3.2	Profiel: industrie — 93
4.3.3	Profiel: remstof/verkeer — 94
4.3.4	Nitraatrijk en sulfaatrijk profiel — 95
4.3.5	PAK-profiel — 96
4.3.6	Profiel: bodemstof — 97
4.3.7	Onzekerheden — 98
4.4	Discussie — 100
4.4.1	Vergelijking met JOAQUIN — 100
4.5	Conclusies en aanbevelingen — 101
4.5.1	Conclusies — 101
4.5.2	Aanbevelingen — 102
5	Conclusie, discussie en aanbevelingen — 103
5.1	Conclusies — 103
5.1.1	Depositie — 103
5.1.2	Vergelijken gemeten en gemodelleerde concentraties — 104
5.1.3	Positive Matrix Factorization — 105
5.1.4	Samenvattend — 105
5.2	Aanbevelingen — 105
	Dankwoord — 107
	Referenties — 109
	Bijlage 1 Nadere analyse van de profielen en onzekerheden — 119

Samenvatting

Inleiding

De IJmond heeft te maken met milieubelastende activiteiten, zoals verkeer, scheepvaart en zware industrie. Vooral de emissies en verspreiding van stoffen en stofdeeltjes afkomstig van het Tata Steel terrein veroorzaken overlast bij omwonenden en roepen vragen op over de invloed op de gezondheid. Inwoners van de IJmond zijn bezorgd over de stoffen die ze inademen en over stofdeeltjes die ze aantreffen in hun leefomgeving.

De onderzoeksvraag die centraal staat in dit rapport is 'Waar komen deze stoffen in de lucht en in de depositie vandaan?' Deze vraag is met name relevant voor dagen waarop de luchtkwaliteit als ongezond wordt ervaren. Hoewel dit een logische vraag is om te stellen, is het geen eenvoudige vraag om te beantwoorden. Op de stofdeeltjes zit immers geen label van de afzender, wat het vaststellen van de precieze bron complex maakt. In de lucht bevindt zich een mengsel van verschillende gassen en stofdeeltjes. De stofdeeltjes bestaan op hun beurt uit verschillende stoffen. Deze stoffen zijn afkomstig van verschillende bronnen die op verschillende afstanden liggen. Daarnaast verandert het mengsel continu onder invloed van wisselende weersomstandigheden en emissies.

Fijnstof, metalen en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK) kunnen mogelijk gezondheidseffecten veroorzaken en we weten uit eerder onderzoek dat deze in verhoogde mate voorkomen in de IJmond. In dit onderzoek ligt de focus daarom op de aanwezigheid van fijnstof, metalen en PAK in de lucht, en metalen en PAK in neergedaald stof (depositie).

In dit rapport beschrijven we een drietal wetenschappelijke analyses en de resultaten hiervan. Een deel van de gebruikte technieken voor deze analyses heeft een experimenteel karakter, waardoor niet op voorhand kan worden voorspeld in hoeverre de bijdrage van verschillende bronnen aan de concentraties van stoffen in de lucht en aan het neergedaalde stof in de omgeving exact kan worden vastgesteld. De analyses stellen ons wel in staat een betere indicatie te krijgen over de bijdragen van verschillende emissiebronnen in en rond de IJmond, in het bijzonder die van Tata Steel. De volgende analyses zijn uitgevoerd:

1. Depositie. Analyses van de gemeten hoeveelheden PAK en metalen in neergedaald stof op 19 locaties in de IJmond op basis van patroonherkenning, data uit de Emissieregistratie en wetenschappelijke literatuur.
2. Vergelijken van gemeten concentraties in de lucht op het luchtmeetnet met waarden berekend met het Operationele Prioritaire Stoffen (OPS) verspreidingsmodel op basis van emissies uit de milieujaarverslagen zoals opgenomen in de Emissieregistratie.
3. Bron- en patroonherkenning op basis van gemeten concentraties stoffen in de lucht in de IJmond met behulp van Positive Matrix Factorization. Hiervoor wordt gebruikgemaakt van gegevens uit het luchtmeetnet in de IJmond van de jaren 2017, 2018 en 2019.

Depositie

Om inzicht te krijgen in de herkomst van de PAK en metalen in neergedaald stof in de IJmond zijn de meetgegevens van het depositieonderzoek uit het najaar van 2020 nader bestudeerd. Daartoe zijn patronen in de meetgegevens geanalyseerd in combinatie met weersomstandigheden en data uit de Emissieregistratie. Ook is gebruikgemaakt van resultaten van recent onderzoek naar de samenstelling en mineralogische structuur van neergedaald stof in de IJmond, en van wetenschappelijke literatuur naar PAK en metalen in de leefomgeving en bodem in de omgeving van ijzer- en staalfabrieken.

Op basis van deze analyses onderschrijven we de conclusie uit het eerder gepubliceerde depositieonderzoek, dat een aanmerkelijk deel van de PAK en een aantal metalen in het neergedaalde stof afkomstig zijn van Tata Steel. Vooral op de meetlocaties dicht bij het terrein van Tata Steel is daardoor de depositie van PAK, ijzer, mangaan, vanadium, chroom, aluminium, magnesium en calcium sterk verhoogd vergeleken met het achtergrondniveau. Ook de depositie van lood, cadmium, nikkel, zink, barium en koper in de IJmond is structureel verhoogd.

We hebben een indicatie dat de PAK-depositie vooral is toe te schrijven aan de productie van cokes en verwaaiing van (grof) stofdeeltjes uit op- en overslagen van steenkool en eerder neergedaald stof van het Tata Steel terrein.

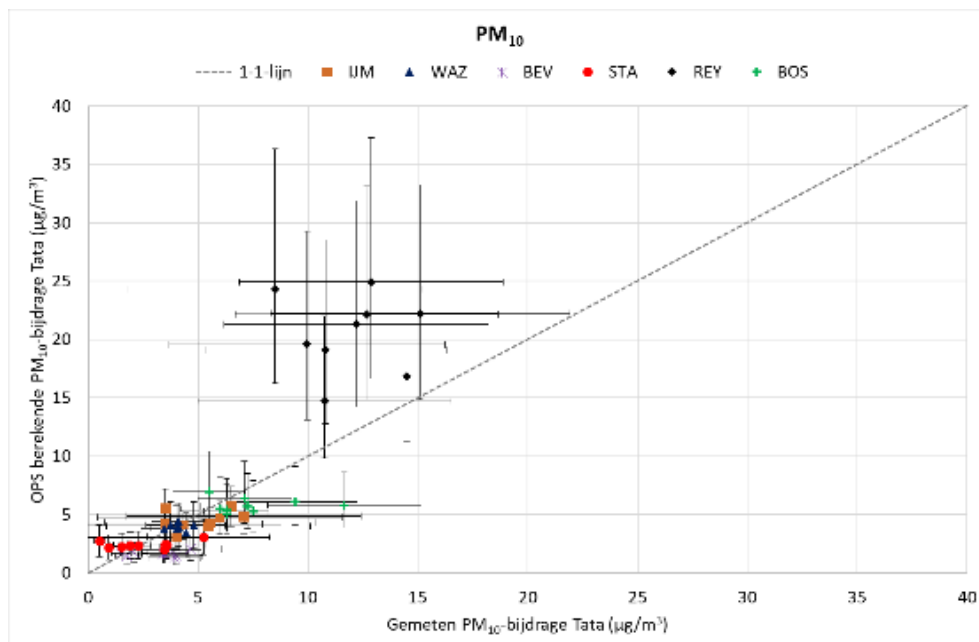
De verhoogde hoeveelheden van een groot aantal metalen in het neergedaalde stof zijn ten dele afkomstig van de productie van pellets, sintererts en cokes. Ook verwaaiing van (grof) stofdeeltjes uit op- en overslagen van ijzererts, steenkool, kalksteen en andere grondstoffen en opwaaien van eerder neergedaald stof van het bedrijfsterrein dragen hieraan bij. Dit wordt nog eens bevestigd door recent onderzoek naar de samenstelling en mineralogische structuur van neergedaald stof in circa 30 omgevingsmonsters in de IJmond. We kunnen niet uitsluiten dat ook emissies van de bedrijven Harsco Metals en Pelt & Hooykaas, die op het terrein van Tata Steel liggen, hebben bijgedragen.

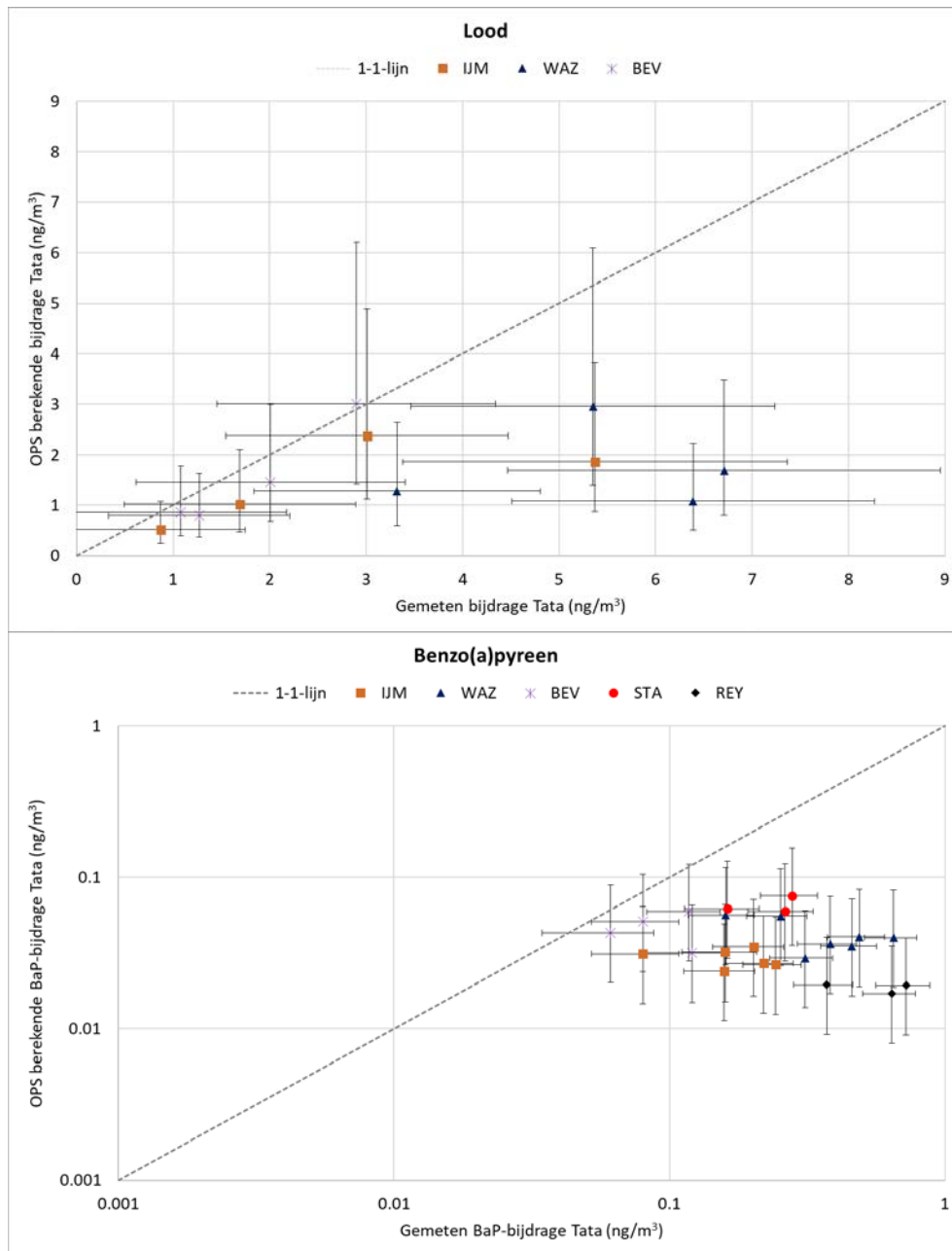
Het verspreidingspatroon van lood vertoont een variabel beeld, zowel tussen de meetlocaties als tussen de drie meetperioden. Hoewel duidelijk is dat Tata Steel relatief veel lood uitstoot, is de precieze bijdrage van deze en andere bronnen aan de looddepositie in de IJmond daardoor niet goed te bepalen.

Het is bekend dat PAK en diverse metalen ook kunnen vrijkomen uit andere bronnen dan de staalindustrie. Te denken valt aan andere industriële bronnen, scheepvaart, trein- en wegverkeer, houtstook, elektriciteitsopwekking en natuurlijke bronnen, zoals opwaaiend bodemstof en zand. Stofdeeltjes afkomstig van bouwmaterialen, vuurwerkresten en 'historische' bodemverontreiniging kunnen eveneens bijdragen aan de depositie. Op grond van onze analyses naar de herkomst van de depositie kan geen onderscheid worden gemaakt in de afzonderlijke bijdragen van deze verschillende bronnen.

Vergelijking gemeten en berekende concentratiebijdragen met gegevens van het luchtmeetnet en emissies uit de Emissieregistratie

Voor dit deelonderzoek zijn gegevens gebruikt van het luchtmeetnet in de IJmond en twee achtergrondstations over stoffen in de lucht. Tevens is gebruikgemaakt van brongegevens op het Tata Steelterrein zoals opgenomen in hun jaarlijkse milieuarverslag. Op basis van data uit de milieuarverslagen is door middel van het Operationele Prioritaire Stoffen-model (OPS) de verwachte concentratiebijdragen van fijnstof, metalen en PAK berekend voor de jaren 2012-2020 in de IJmond. Deze concentratiebijdragen zijn vergeleken met de gemeten concentraties op het luchtmeetnet waarbij de concentratiebijdrage door Tata Steel is bepaald door de concentraties gemeten op achtergrondstations af te trekken van de concentraties gemeten op de stations in het IJmondgebied. Figuur S.1 toont de berekende concentratiebijdragen uitgezet tegen de gemeten concentratiebijdragen voor fijnstof (PM_{10}), lood en benzo[a]pyreen. Uit de figuur blijkt dat de berekende fijnstofconcentratie redelijk tot goed overeen komt met de gemeten concentratiebijdrage. De berekende concentratiebijdragen metalen zijn voor de meeste metalen lager dan de gemeten metaalconcentratiebijdragen. De onderschatting kan, voor de stof koper, oplopen tot een factor 50. Voor PAK zijn de verschillen tussen de berekende en gemeten concentratiebijdragen nog groter. De onderschatting van de berekende PAK-concentratiebijdragen kan oplopen tot een factor 1000.





Figuur S.1 Berekende versus gemeten PM_{10} -concentratiebijdrage ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (boven), loodconcentratiebijdrage (ng/m^3) (midden) en benzo[a]pyreen (BaP) concentratiebijdrage (ng/m^3) (**onder, let op:** x- en y-as zijn beide logaritmisch opgemaakt voor BaP) door Tata Steel (2012-2020)

De onderschatting van de berekende bijdragen van Tata Steel aan de concentraties metalen en PAK heeft geen consequenties voor de eerdere gezondheidskundige analyses in de IJmond. Deze laatste zijn immers gebaseerd op luchtkwaliteitsmetingen.

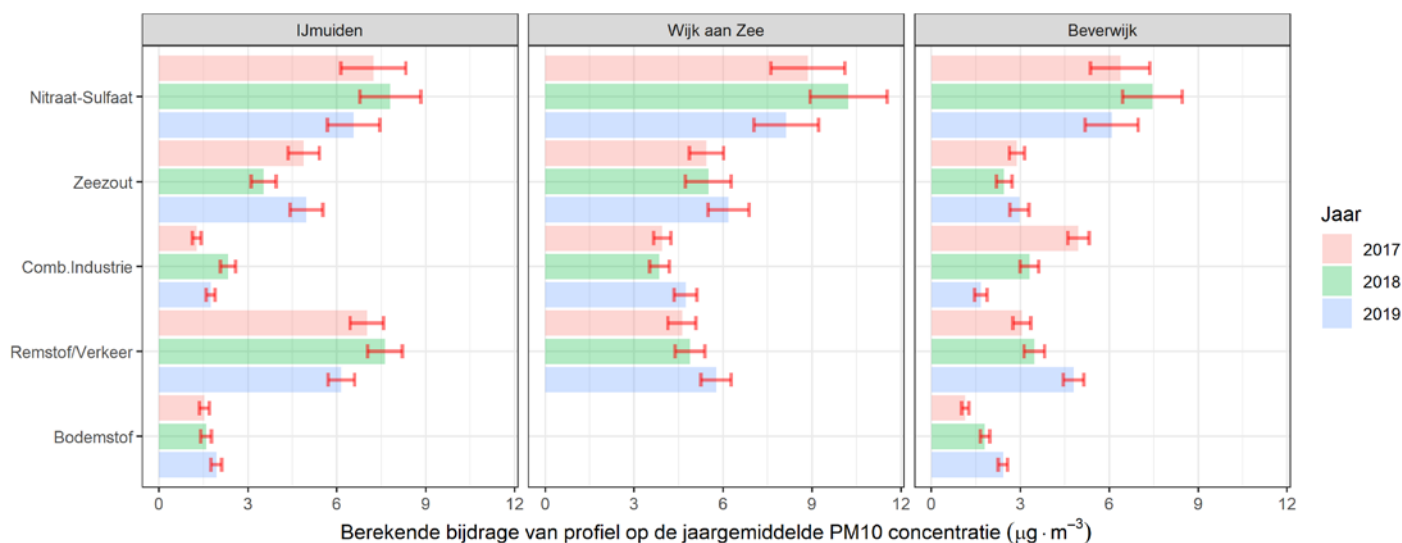
De onderschatting van de op de Emissieregistratie gebaseerde berekeningen geeft aan dat de door het bedrijf aangeleverde informatie over de bronnen zoals opgenomen in de Emissieregistratie geen compleet beeld geeft van de bronnen op het Tata Steelterrein. Betere

broninformatie geeft meer inzicht in de emissies, concentraties in de lucht (ook buiten de meetpunten) en mogelijk ook de effectiviteit van potentiële maatregelen. Het RIVM beveelt dan ook aan om de broninformatie te verbeteren en daarbij speciale aandacht te besteden aan de bijdrage van diffuse en/of lage bronnen aan de uitstoot van metalen en PAK.

Bronherleiding op basis van het vaststellen van profielen door PMF

Om inzicht te krijgen in de herkomst van de PAK en metalen in fijnstof in de IJmond zijn bestaande samenstellingsmetingen van de luchtmeetnetstations geanalyseerd. Voor deze analyse is een patroonherkenningstechniek gebruikt. De aanname bij deze techniek is dat elke type bron een eigen profiel heeft, samengesteld uit verschillende bijdrages van stoffen. Als in een bijzondere periode het monster maar door één type bron wordt beïnvloed, dan zal het berekende profiel op die dag identiek zijn aan het profiel van de bron en is daardoor makkelijk te herkennen. In de praktijk zijn er bijdragen van meerdere bronnen en dus bronprofielen en is een multivariate statistische techniek nodig om de profielen te ontrafelen. Voor dit vraagstuk is een internationaal erkende techniek, Positive Matrix Factorization (PMF), gebruikt. De meetdata van drie luchtmeetstations in het IJmondgebied (Wijk aan Zee, IJmuiden en Beverwijk) zijn gebruikt om deze techniek toe te passen. Hiervoor zijn de jaren 2017, 2018 en 2019 meegenomen in de analyse.

Bij de analyse van de meetdata leverde de meetstrategie van het luchtmeetnet een aantal uitdagingen op. De meetstrategie voor de samenstellingsmetingen is primair gericht op de berekening van jaargemiddelde concentraties van stoffen (elementen) die voor de gezondheid relevant zijn. Hierbij worden filters van verschillende dagen samengevoegd bij de analyse. Dit maakt de meetdata suboptimaal voor bronherkenning. Daarnaast is het gebruikte filtermateriaal minder geschikt voor het meten van een aantal elementen zoals natrium en silicium. Tot slot konden de data van de diverse stations niet gezamenlijk worden geanalyseerd met PMF, waardoor drie afzonderlijke analyses zijn uitgevoerd met enigszins verschillende profielen. Deze afzonderlijke analyses waren noodzakelijk vanwege de verschillen in tijdsresoluties tussen de verschillende metingen. Desondanks is op elke locatie een vijftal profielen geïdentificeerd op basis van zowel de chemische samenstelling als van het verloop in de tijd. Een profiel is een combinatie van chemische stoffen die kunnen worden vergeleken met bekende bronprofielen om de identiteit vast te stellen. Het verloop in de tijd, in combinatie met de heersende windrichting, geeft de mogelijkheid om de identiteit te verifiëren en de locatie van de bron vast te stellen.



Figuur S.2 Berekende bijdrage in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, van de gevonden profielen, aan de gemiddelde fijnstofconcentraties voor 2017-2019. In Wijk aan Zee is geen bodemstoffactor gevonden. Die bijdrage is verdeeld over de andere factoren. Voor de presentatie zijn twee industrie gerelateerde profielen op Wijk aan Zee gecombineerd

Figuur S.2 toont de bijdrage van de diverse profielen voor de diverse meetjaren en de drie meetlocaties. Doordat de profielen van de drie locaties niet zijn gekoppeld, is de samenstelling niet exact hetzelfde. Dit komt waarschijnlijk doordat er meer brontypen zijn dan dat er profielen kunnen worden ontsloten. Vooral de bronnen die, vanuit het meetpunt, in dezelfde richting liggen, kunnen in dat meetpunt in één profiel belanden.

De gemeten fijnstofconcentraties van 20 tot 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ worden verdeeld over de gevonden profielen. Er zijn drie lokale profielen gevonden. Deze lokale profielen bevatten het grootste deel van de gemeten metalen en de PAK. Er is een *verkeer/remstof*-profiel gevonden, met veel koper, met een geschatte bijdrage van ongeveer 3 en 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aan het fijnstof. Het verloop in de tijd wijst op een dominante bijdrage vanaf het Tata Steelterrein. Er is een *industrie*-profiel gevonden, met veel ijzer en mangaan, met een geschatte bijdrage van ongeveer 1 tot 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aan het fijnstof. De industriebijdrage in IJmuiden is lager dan op de andere twee locaties. In Wijk aan Zee en Beverwijk lijkt de bijdrage vanaf het Tata Steelterrein dominant; toch is het niet uitgesloten dat in Wijk aan Zee een deel van deze bijdragen niet rechtstreeks van dat terrein komt. In Wijk aan Zee is een tweede industrie-profiel gevonden dat naast andere componenten vrijwel alle PAK bevat. Op de overige locaties zijn de bijdragen van PAK verdeeld over verschillende profielen. In IJmuiden en Beverwijk is een *bodemstof*-profiel gevonden, met aluminium en silicium, dat voor het hele profiel gemiddeld ongeveer 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bijdraagt aan het fijnstof.

Naast deze lokale profielen zijn ook twee profielen gevonden zonder of met een kleine bijdrage van lokale (menselijke) bronnen. Dit zijn het *nitraat-sulfaat*-profiel, dat wordt geassocieerd met bronnen op grote afstanden (buitenland), en een *zeezout*-profiel. Deze twee laatste

profielen zijn samen goed voor ongeveer de helft van de fijnstofconcentraties in Wijk aan Zee, IJmuiden en Beverwijk.

Conclusie en aanbevelingen

Tata Steel rapporteert in het e-MJV voor emissies van metaal en PAK naar de lucht alleen emissies uit emissiepunten. Andere bronnen van metaal en PAK, bijvoorbeeld diffuse emissies, zijn niet als zodanig benoemd in het milieujaarverslag. Met de emissies uit de jaarverslagen die worden opgenomen in de Emissieregistratie worden in modelberekeningen de bijdragen van Tata Steel aan metaal- en PAK-concentraties in fijnstof in het algemeen onderschat ten opzichte van metingen. De op metingen gebaseerde bronherkenning (PMF) wijst op een aanzienlijke bijdrage van lage/diffuse bronnen en mogelijk verwaaiing. Ook de depositiemetingen in het IJmondgebied wijzen op een grote bijdrage van diffuus en verwaaiend fijnstof én grof stof. Uit de verschillende analyses blijkt dat de grootste bron(nen) van metalen niet per se de grootste bron(nen) van de PAK is (zijn), zowel qua depositie als concentraties in de lucht.

Het RIVM beveelt aan om te zorgen voor een completer overzicht van metaal en PAK emitterende bronnen op Tata Steel terrein en deze informatie op een transparante manier te ontsluiten. Aanbevolen wordt dan ook om aandacht te besteden aan lage en diffuse bronnen, zoals de bijdrage van fijnstof en grof stof aan de uitstoot van metalen en PAK. Op basis van deze broninformatie kan dan – met behulp van rekenmodellen – beter worden vastgesteld waar stoffen vandaan komen en ontstaat er een beter beeld van de emissies, concentraties in de lucht – ook buiten de meetpunten – en mogelijk van de effectiviteit van potentiële maatregelen.

Indien een nauwkeurigere bronherkenning is gewenst, wordt aanbevolen om identiek te meten voor alle componenten en locaties, en om metingen te registreren per dag, en de monsters niet bij elkaar te voegen. Met een dergelijke meetaanpak is het ook mogelijk om een relatie te leggen met bijvoorbeeld incidenten met bijzondere emissies. Naast fijnstof spelen er in het IJmondgebied andere issues die hinder veroorzaken, zoals geur en wellicht grof stof. Als die simultaan worden gemeten, kunnen ze mogelijk ook in de bronherkenning worden meegenomen.

Om het effect van emissiebeperkende maatregelen in relatie tot depositie te monitoren, is het aan te bevelen om na invoering van maatregelen gedurende enkele jaren de hoeveelheid depositie van PAK en metalen in de IJmond te meten. Dit geeft inzicht in de trends van de hoeveelheden stofdepositie.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De IJmond heeft te maken met milieubelastende activiteiten, zoals verkeer, scheepvaart en zware industrie. Vooral de emissies en verspreiding van stoffen en stofdeeltjes afkomstig van het Tata Steelterrein veroorzaken overlast bij omwonenden en roepen vragen op over de invloed op de gezondheid. Inwoners van de IJmond zijn bezorgd over de stoffen die ze inademen en over stofdeeltjes die ze aantreffen in hun leefomgeving. Ook stankoverlast en geluidsoverlast en mogelijke effecten hiervan op de gezondheid zijn reden tot bezorgdheid.¹ Niet alle bewoners in de IJmond hebben zorgen over de emissies van het Tata Steelterrein. Een deel vindt dat er al veel is verbeterd. Tegelijkertijd hecht de samenleving er steeds meer waarde aan dat de leefomgeving schoon en prettig is, en verwacht men in toenemende mate dat overheden en bedrijven verantwoordelijkheid nemen voor een gezonde leefomgeving.

In 2019 heeft het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), in opdracht van provincie Noord-Holland, een beperkt depositieonderzoek gedaan naar de grafietregens in Wijk aan Zee (Geraets en Schulpen, 2019). Tijdens dit Grafietregenonderzoek is gebleken dat er bij omwonenden van Tata Steel verschillende vragen en zorgen leefden, onder meer op gebied van neergedaald stof, luchtkwaliteit en gezondheid. Naar aanleiding daarvan heeft het RIVM met inbreng van de klankbordgroep, bestaande uit omwonenden en onafhankelijke experts, een inventarisatie opgesteld van openstaande vragen en op basis daarvan acht onderzoeksoplossingen geformuleerd. Het RIVM heeft geadviseerd om als eerste onderzoek uit te voeren naar drie van deze oplossingen:

- depositie (uitgebreider onderzoek naar neerslag van stof in de leefomgeving);
- luchtkwaliteit en inhaleerbare fractie op ervaren (on)gezonde dagen;
- acute gezondheidsklachten.

De provincie Noord-Holland en de IJmondgemeenten Heemskerk, Beverwijk en Velsen hebben het RIVM opdracht gegeven om deze onderzoeken uit te voeren. In het in april 2021 gepubliceerde briefrapport 'Tussentijdse resultaten Gezondheidsonderzoek in de IJmond' (Elberse et al., 2021) is een uitgebreidere toelichting gegeven op dit proces en zijn de resultaten van de deelonderzoeken 'Luchtkwaliteit en inhaleerbare fractie' en 'Acute gezondheidsklachten' beschreven. Het onderzoek naar Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK) en metalen in neergedaald stof, en de gezondheidsrisico's door langdurige continue blootstelling aan dit stof, staan beschreven in het rapport 'Depositieonderzoek IJmond 2020' (Mennen et al., 2021).

De vraag die centraal staat in dit onderzoek is: 'Waar komen stoffen in de lucht en in de depositie vandaan?'. Qua stoffen in de lucht is deze vraag met name relevant met betrekking tot dagen waarop de luchtkwaliteit als

¹ <https://www.ggdkenemerland.nl/professionals/onderzoek/gezondheidsmonitor-volwassenen-en-ouderen>

ongezond wordt ervaren. Hoewel dit een logische vraag is om te stellen, is het geen eenvoudige vraag om te beantwoorden.

Een dag die als ongezond wordt ervaren kan verschillende oorzaken hebben. Het kan voor mensen benauwd aanvoelen, wat kan worden veroorzaakt door hogere niveaus fijnstof of door specifieke stoffen in de lucht. Ook meteorologische omstandigheden, bijvoorbeeld op dagen dat de lucht zich minder goed kan verspreiden, kunnen ertoe leiden dat een dag als ongezond wordt ervaren. Het kan stinken, waardoor mensen misselijk of onpasselijk worden. Er kan veel rook te zien zijn in de omgeving, wat met een slechte luchtkwaliteit kan worden geassocieerd.

In de lucht bevindt zich een mengsel van verschillende gassen, zoals stikstofoxiden, zwaveldioxide en koolmonoxide, en stofdeeltjes. De stofdeeltjes bestaan op hun beurt uit verschillende stoffen en ze verschillen in grootte. Deze stoffen zijn afkomstig van verschillende bronnen die op verschillende afstanden liggen. Daarnaast verandert het mengsel continu onder invloed van wisselende weersomstandigheden en emissies. In dit rapport ligt de focus op de aanwezigheid van fijnstof, metalen en PAK in de lucht, en op metalen en PAK dat is neergedaald (depositie).

1.2 Fijnstof en grof stof

Dit onderzoek is vooral gericht op PAK en metalen in stofdeeltjes in de lucht, en op stofdeeltjes die neerkomen (depositie). Stofdeeltjes in de lucht verschillen in grootte, type en samenstelling. Als deeltjes groter zijn dan 10 micrometer noemen we dit grof stof. Fijnstof zijn stofdeeltjes kleiner dan 10 micrometer (PM₁₀). Ook voor fijnstof is er onderscheid te maken tussen de deeltjes op basis van de grootte. Naast PM₁₀ zijn deeltjes met een grootte kleiner dan 2,5 micrometer van belang (PM_{2,5}) en ook die deeltjes worden fijnstof genoemd. Als stofdeeltjes kleiner zijn dan 0,1 micrometer wordt dit ultrafijnstof genoemd.

Bij onderzoek naar stofdeeltjes is het onderscheid tussen fijnstof en grof stof van belang, omdat ze onderling verschillen in eigenschappen. Die verschillen hebben gevolgen voor zowel de verspreiding en depositie van de stofdeeltjes als op de wijze waarop mensen eraan worden blootgesteld en gezondheidseffecten kunnen ondervinden.

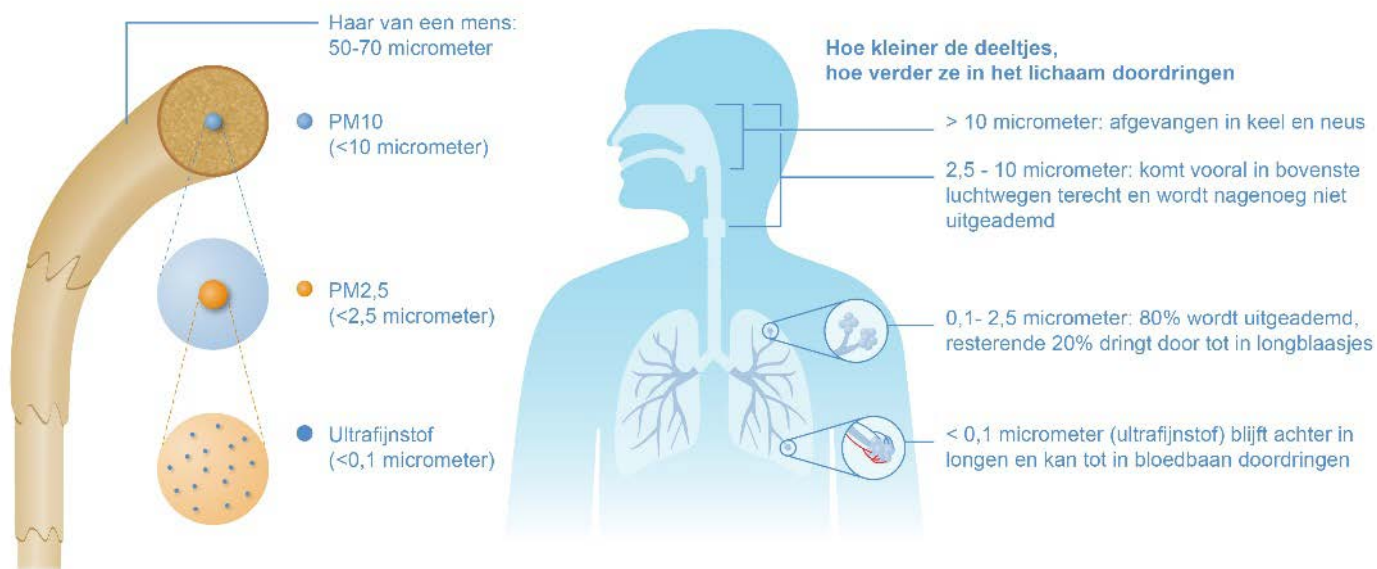
1.2.1 *Blootstelling en gezondheidsrisico's*

Grof stof adem je over het algemeen niet in. Fijnstof wel. Fijnstof komt terecht in de neus, de bovenste en onderste luchtwegen en in de longen. Hoe kleiner de diameter van het stof, hoe dieper dit de longen binnendringt. PM₁₀ kan bij inademen binnendringen tot in de bovenste luchtwegen, PM_{2,5} tot in de diepere luchtwegen, en ultrafijnstof kan tot in de longblaasjes binnendringen en hier in het bloed worden opgenomen (zie Figuur 1.1).² Zowel langdurige als kortdurende blootstelling aan fijnstof kan gezondheidseffecten teweegbrengen. Vanuit een gezondheidsperspectief wordt ervoor gepleit de fijnstofniveaus omlaag te brengen (Gezondheidsraad 2018, WHO, 2021). In het Schone Lucht

² <https://www.rivm.nl/ggd-richtlijn-medische-milieukunde-luchtkwaliteit-en-gezondheid/gezondheidseffecten-luchtverontreiniging/luchtkwaliteit-fijn-stof>

Akkoord^{3,4} heeft de Rijksoverheid met een aantal gemeenten en provincies afgesproken extra maatregelen te nemen om de gezondheidsschade door luchtvervuiling verder te verminderen. Afspraak is de luchtkwaliteit permanent te verbeteren en te streven naar de WHO-advieswaarden uit 2005. Verbeteren van de gezondheid is daarbij leidend. Recent zijn de WHO-advieswaarden aangescherpt. Er is geen grens waaronder luchtverontreiniging veilig is en elke verbetering leidt tot gezondheidswinst. Binnen het Nederlandse luchtkwaliteitsbeleid wordt het advies van de Gezondheidsraad om hoog-risicogroepen extra te beschermen verder uitgewerkt (Gezondheidsraad, 2018).

Hoewel grof stof over het algemeen niet wordt ingeademd, kun je er wel aan worden blootgesteld en kan het hinder ('een gevoel van vervuiling') en stress veroorzaken. Blootstelling aan neergedaald grof stof op de grond (depositie) kan via contact met de huid en inslikken na handmondgedrag leiden tot blootstelling. Deze beide routes zijn meegenomen in de risicobeoordeling in het depositieonderzoek IJmond (Mennen et al., 2021).



Figuur 1.1 Verschillende groottes fijnstof (Afbeelding Gezondheidsraad, 2018)

1.2.2

Verspreiding en depositie

Stofdeeltjes variëren sterk in grootte en samenstelling. Ook kunnen ze in de lucht nog chemische en fysische veranderingen ondergaan. Sommige fijnstofdeeltjes ontstaan in de lucht door chemische reacties van gassen, bijvoorbeeld ammoniumsulfaat dat wordt gevormd uit ammoniak en zwaveldioxide; dit wordt ook wel secundair aerosol genoemd.

De grootte van een stofdeeltje bepaalt in sterke mate de verspreiding via de lucht. Fijnstof en ultrafijnstof worden over (zeer) grote afstanden met de lucht meegevoerd, voordat ze door zogenoemde droge depositie of door neerslag (natte depositie) op de bodem of andere oppervlakken

³ <https://www.schoneluchtakkoord.nl>

⁴ <https://www.rivm.nl/lucht/sla>

neerkomen. In Nederland is een aanzienlijk deel van het fijnstof afkomstig uit het buitenland (lange afstand) (Hoogerbrugge et al., 2021).

Grof stof daarentegen daalt sneller en kan op relatief korte afstanden van de bron in de omgeving terecht komen. Ter illustratie: bij een windsnelheid van 5 m/s en een bronhoogte van 10 meter legt een fijnstofdeeltje van 2,5 µm gemiddeld genomen een afstand van ruim 50 kilometer af voordat het op de bodem komt, terwijl een grof stofdeeltje van 50 µm op ruim 100 meter van de bron neerdaalt. Bij de verspreiding spelen weersomstandigheden een belangrijke rol, vooral de windrichting, windsnelheid en de hoeveelheid neerslag. Daarnaast kunnen lokale terreinkarakteristieken van invloed zijn. In heuvelig terrein, zoals het duingebied in de IJmond, kunnen bijvoorbeeld lokaal extra wervels ontstaan, waardoor minder goed voorspelbaar is waar het stof precies neerkomt. Ook gebouwen en obstakels kunnen voor lokale effecten op de verspreiding en depositie zorgen. Daarnaast kan ook de overgang tussen zee en land effect hebben op de verspreiding.

1.2.3 *Samenstelling en bronnen*

Fijnstof in de lucht bestaat uit vele verschillende bestanddelen. Bijvoorbeeld ammoniumsulfaat en ammoniumnitraat, zeezout, bodemstof, metalen, koolstof en koolstof-houdende stoffen zoals PAK. Deze bestanddelen (stoffen) komen uit verschillende soorten bronnen. Typische bronnen van fijnstof zijn industriële processen, weg- en treinverkeer, scheepvaart, hout- en afvalverbranding, energieopwekking uit fossiele brandstoffen, bouwwerkzaamheden, slijtageprocessen en natuurlijke bronnen zoals bodemstof, zand en zeezout. Het fijnstof dat op een bepaalde locatie in de lucht wordt gemeten is over het algemeen een mengsel van stoffen uit zowel lokale als ver weg gelegen bronnen.

Neergedaald stof bestaat uit deeltjes van verschillende omvang, maar vooral uit grof stof (10 tot 100 µm of nog groter). Dat komt omdat grof stofdeeltjes groter en zwaarder zijn dan fijnstofdeeltjes. Ook grof stof bestaat uit verschillende bestanddelen, afkomstig van verschillende bronnen (veelal dezelfde soorten als de bronnen van fijnstof) die op verschillende afstanden liggen. Over het algemeen zijn dit echter bronnen die relatief dicht bij de plek liggen waar het stof neerkomt. Ten opzichte van fijnstof bevat grof stof een groter aandeel opwaaiend stof uit natuurlijke bronnen zoals bodemstof en zand, of opslagen van materialen bijvoorbeeld ertsen, steenkool, kalksteen en andere soorten grondstoffen.

1.2.4 *Bepaling van de herkomst van stoffen*

In verschillende studies is eerder onderzoek gedaan naar bronnen van fijnstof, metalen en PAK in het IJmondgebied. Zo heeft DCMR in 2010 de bijdrage van lokale bronnen op fijnstofconcentraties in de IJmond berekend (Molenaar, 2010).

In de periode april 2013 - mei 2014 zijn op vijf West-Europese locaties PM₁₀-filters bemonsterd en geanalyseerd in het Joint Air Quality Initiative (JOAQUIN) project, met als doel verschillende profielen te herkennen in het fijnstof. Hierbij was Wijk aan Zee een van de meetlocaties (Staelens et al., 2015, Nijhuis et al., 2015, Mooibroek 2016a). In dit onderzoek zijn verschillende lokale profielen gevonden en is met behulp van

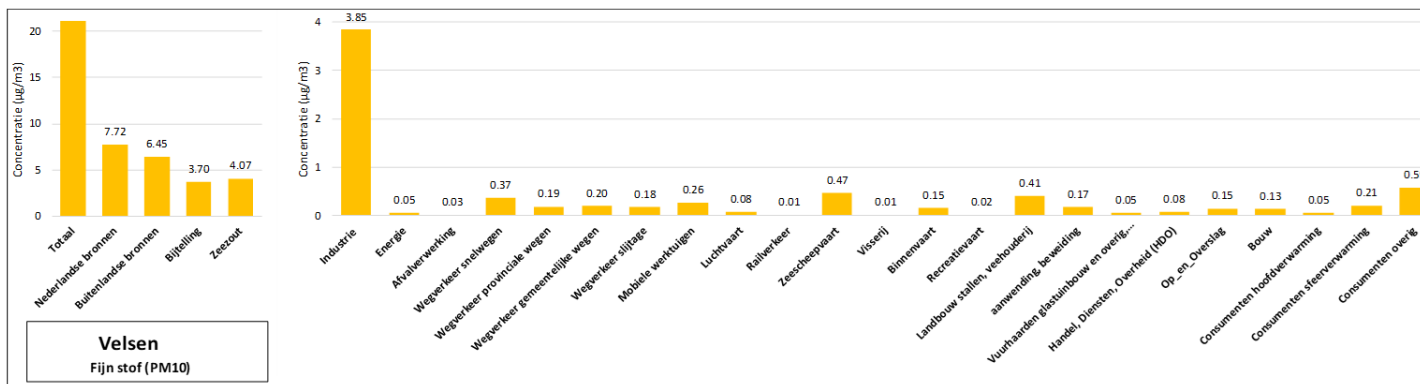
pollutierozen de invloed van bronnen in het industriegebied op concentraties metalen in de lucht vastgesteld.

De academische werkplaats MMK heeft op basis van gegevens van GCN (Grootschalige concentratiekaarten Nederland⁵) beschikbare concentratie informatie verder ontsloten.⁶ Per gemeente kan worden bekeken hoe groot de bijdrage is van verschillende sectoren op de concentratie fijnstof. Voor de gemeenten Velsen, Beverwijk en Heemskerk is op basis van de gegevens uit 2018 de verdeling van fijnstof weergegeven in Figuren 1.2.a tot en met 1.2.c.

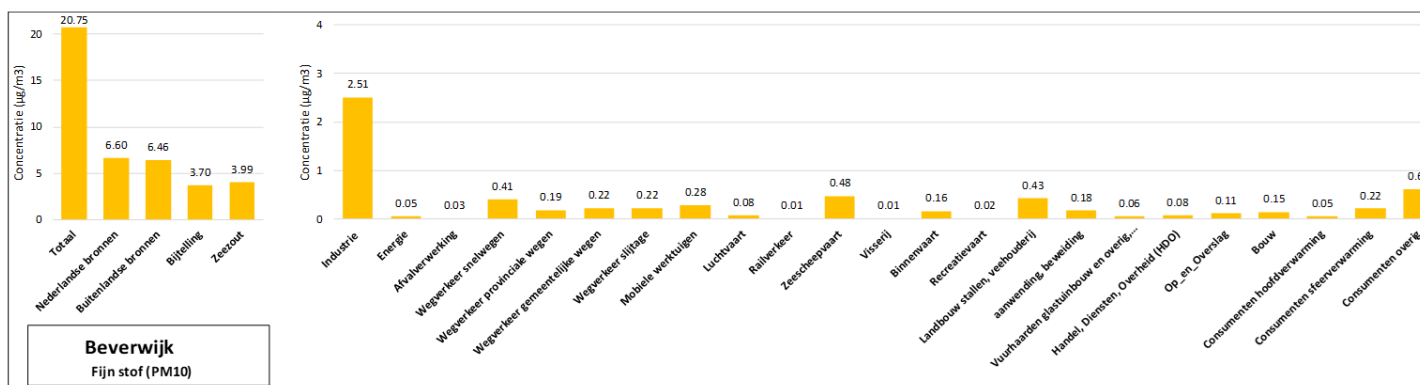
In 2020 zijn in opdracht van Tata Steel verspreidingsberekeningen uitgevoerd voor Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS) (Erbrink Stacks Consult, 2020). Dit onderzoek geeft een beeld van blootstelling via de lucht voor verschillende stoffen.

⁵ <https://www.rivm.nl/gcn-gdn-kaarten>

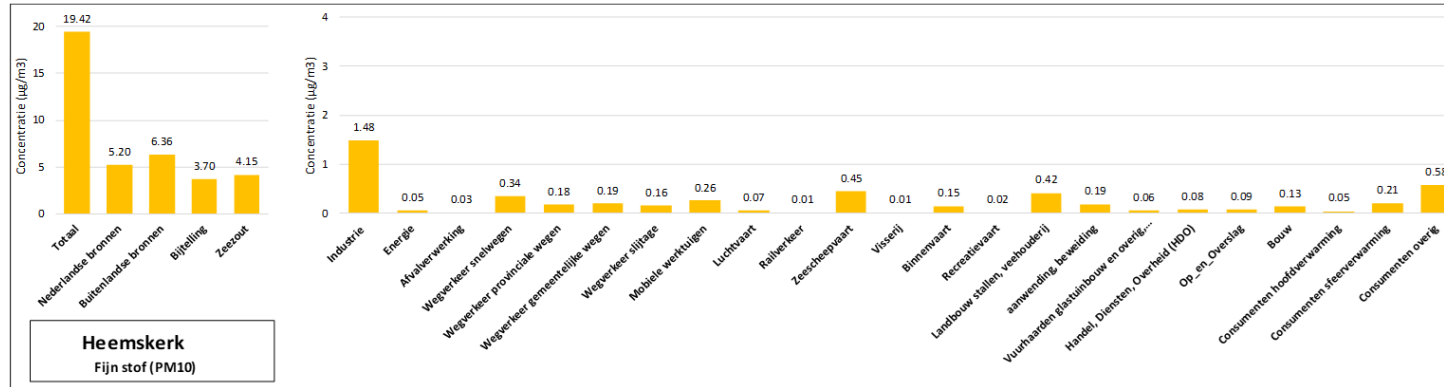
⁶ https://www.academischewerkplaatsmmk.nl/projecten/afgeronde_projecten/2020/routinematig_beschikbaar_maken_van_gcn_gegevens_voor_lokaal_gebruik



Figuur 1.2.a Verdeling herkomst van fijnstof PM₁₀ (in µg/m³) in de gemeente Velsen over verschillende sectoren op basis van de GCN-gegevens van 2018



Figuur 1.2.b Verdeling herkomst van fijnstof PM₁₀ (in µg/m³) in de gemeente Beverwijk over verschillende sectoren op basis van de GCN-gegevens van 2018



Figuur 1.2.c Verdeling herkomst van fijnstof PM₁₀ (in µg/m³) in de gemeente Heemskerk over verschillende sectoren op basis van de GCN-gegevens van 2018

1.2.4.1 Invloed van factoren op de herkomst van stoffen

Er zijn vele factoren die van invloed zijn op de verspreiding en het gedrag van stofdeeltjes. Dit maakt het complex om de precieze bronnen van fijnstof in de lucht en neergedaald stof aan te wijzen. De factoren zijn hieronder nogmaals samengevat:

- Fijnstof en grof stof bestaan uit een mengsel van verschillende bestanddelen afkomstig van verschillende bronnen.
- Verschillende bronnen stoten deels dezelfde bestanddelen uit en er is geen specifieke stof waarmee slechts één bron kan worden aangetoond.
- Emissies van stoffen uit bronnen kunnen variëren in de tijd. Sommige emissies zijn min of meer continu, andere treden incidenteel op.
- Stofdeeltjes kunnen in de lucht chemische en fysische veranderingen ondergaan, waardoor de vorm en samenstelling veranderen.
- De verspreiding van stofdeeltjes wordt bepaald door weersomstandigheden en door de invloed van gebouwen, obstakels en terreinkarakteristieken. Ook de bronhoogte en snelheid waarmee de uitstoot plaatsvindt zijn van invloed op de verspreiding van stofdeeltjes.
- Sommige fijnstofdeeltjes worden naast dat ze direct worden uitgestoten door verschillende bronnen in de lucht gevormd door reacties van gassen.
- Fijnstofdeeltjes kunnen zich over (zeer) grote afstanden verplaatsen.
- Stofdeeltjes kunnen oplossen in of worden meegevoerd door regendruppels, waardoor ze uit de lucht verdwijnen. Dit wordt natte depositie genoemd.
- Bij verwaaing van stof uit opgeslagen materialen spelen ook factoren als de vochtigheid van het materiaal een rol.

Met andere woorden, op de stofdeeltjes zit geen label van de afzender, wat het vaststellen van de precieze bron complex maakt.

Aan de andere kant zijn voor de situatie in de IJmond verschillende gegevens beschikbaar:

- een groot aantal meetdata van verschillende stoffen in de lucht, waaronder PAK en metalen, op meerdere locaties in de IJmond en achtergrond meetstations;
- gegevens over emissies uit verschillende bronnen, via de Emissieregistratie;
- resultaten van het depositieonderzoek IJmond in het najaar van 2020 (Mennen et al., 2021).

Dit biedt handvatten om met een aantal technische benaderingen analyses te verrichten om te onderzoeken of de vraag over de herkomst van de stoffen, in het bijzonder PAK en metalen, (deels) kan worden beantwoord op basis van beschikbare kennis.

1.3 Opzet van het onderzoek naar herkomst van stoffen

In dit rapport beschrijven we de wetenschappelijke analyses, de verschillende stappen die we daarvoor hebben genomen en de resultaten van de analyses. Een deel van de gebruikte technieken voor deze analyses heeft een experimenteel karakter, waardoor niet op voorhand kan worden

voorspeld in hoeverre de bijdrage van verschillende bronnen aan de concentraties van stoffen in de lucht en aan het neergedaalde stof in de omgeving exact kan worden vastgesteld. De analyses stellen ons wel in staat een betere indicatie te krijgen over de bijdragen van verschillende emissiebronnen in en rond de IJmond, in het bijzonder die van Tata Steel.

Zoals gezegd was de aanleiding van dit onderzoek de vraag: 'Waar komen de stoffen waaraan inwoners in de IJmond worden blootgesteld vandaan?'. Het gaat hierbij zowel om stoffen – in het bijzonder PAK en metalen – in de lucht die mensen kunnen inademen als om stoffen in neergedaalde stofdeeltjes waarmee mensen in aanraking kunnen komen.

Om meer duidelijkheid te krijgen over de herkomst van deze stoffen, zijn verschillende soorten analyses uitgevoerd:

1. Analyses van de gemeten hoeveelheden PAK en metalen in neergedaald stof op 19 locaties in de IJmond. De meetgegevens zijn afkomstig uit het depositieonderzoek dat is uitgevoerd in het najaar van 2020 (Mennen et al., 2021). Deze gegevens zijn, in combinatie met de weersomstandigheden tijdens de meetperioden, toegepast om op basis van patroonherkenning een indicatie te krijgen van de bijdragen van bronnen. Daarbij is ook gebruikgemaakt van data uit de Emissieregistratie en wetenschappelijke literatuur, resultaten van ander recent onderzoek naar de hoeveelheden en samenstelling van neergedaald stof in de IJmond (met een andere techniek), en van gegevens uit onderzoek naar bodemverontreiniging in de omgeving van ijzer- en staalfabrieken (zie hoofdstuk 2).
2. Vergelijken van gemeten concentraties in de lucht op het luchtmeetnet met waarden berekend met het Operationele Prioritaire Stoffen (OPS) verspreidingsmodel op basis van emissies uit de emissiejaarverslagen zoals opgenomen in de Emissieregistratie (zie hoofdstuk 3).
3. Bron- en patroonherkenning op basis van gemeten concentraties stoffen in de lucht in de IJmond met behulp van Positive Matrix Factorization (PMF). PMF is een multivariate factoranalyse, een techniek die veel wordt gebruikt voor de chemometrische evaluatie en modellering – waaronder bronherkenning – van datasets met luchtkwaliteitsmetingen. In deze studie wordt gebruikgemaakt van gegevens uit het luchtmeetnet in de IJmond van de jaren 2017, 2018 en 2019 (zie hoofdstuk 4).

In dit onderzoek maken we gebruik van data uit het meetnet van de Provincie Noord-Holland dat wordt beheerd door GGD Amsterdam, en van data van Omgevingsdienst Noordzeekanaalgebied (gegevens uit de Emissieregistratie). Zowel de Omgevingsdienst als GGD Amsterdam heeft geregeld vragen van het RIVM beantwoord om meer inzicht te geven in data.

Met dit rapport wordt het Gezondheidsonderzoek in de IJmond, waarvoor de provincie Noord-Holland en de IJmondgemeenten Heemskerk, Beverwijk en Velsen het RIVM in 2020 opdracht hebben gegeven, afgesloten.

2 Herkomst neergedaald stof in de IJmondregio

Auteurs:

M.G. Mennen, RIVM

J.E. Elberse, RIVM

2.1 Inleiding

Onder bewoners van de IJmondregio leven zorgen en vragen over het neergedaalde stof dat mensen aantreffen in hun leefomgeving, zowel buiten als binnenshuis. Er zijn vragen over wat er in het stof zit, welke gezondheidsrisico's het met zich meebrengt en waar het stof vandaan komt. Na twee eerdere (kleinere) onderzoeken naar stofdepositie (Geraets en Schulpen, 2019; RIVM, 2020) is een grootschaliger onderzoek gedaan naar de depositie en samenstelling van stof in de IJmondregio. Dit onderzoek is uitgevoerd van 5 oktober tot en met 26 november 2020. Het doel hiervan was om beter inzicht te krijgen in de hoeveelheden stof en de daarin aanwezige PAK en metalen⁷ waaraan bewoners van de IJmond over langere tijd kunnen worden blootgesteld, en welke gezondheidsrisico's dat met zich meebrengt. In dit grootschaliger onderzoek is in Wijk aan Zee, Beverwijk, Velsen-Noord, IJmuiden en Heemskerk de depositie onderzocht. Ook zijn er enkele referentielocaties meegenomen buiten de IJmond. Er zijn zowel buiten als in een aantal woningen metingen verricht van de hoeveelheden PAK en metalen in het neergedaalde stof.

De resultaten van de depositiemetingen zijn gebruikt om een risicobeoordeling uit te voeren op basis van een opgesteld blootstellingsscenario voor spelende kinderen in de leeftijd van 1 tot en met 12 jaar. De conclusie van die risicobeoordeling is dat voor jonge kinderen de geschatte langdurige blootstelling aan PAK en lood in neergedaald stof ongewenst is voor de gezondheid (Mennen et al., 2021).

De resultaten van het depositieonderzoek geven ook inzicht in de verspreiding van stof en daarin aanwezige PAK en metalen in de leefomgeving rondom het terrein van Tata Steel. Geconstateerd werd dat in alle woongebieden rondom het terrein een verhoogde depositie van PAK en metalen is gemeten vergeleken met achtergrondlocaties. De hoogste waarden werden gevonden in Wijk aan Zee en bij het meetstation Reyndersweg. De gemiddelde depositie is daar meer dan tien keer zo hoog als het achtergrondniveau: voor PAK, ijzer, mangaan, vanadium en chroom zelfs 20 tot 100 keer. Deze resultaten geven een indicatie dat emissies afkomstig van het terrein van Tata Steel een aanmerkelijke bijdrage leveren aan de depositie in Wijk aan Zee en mogelijk ook in andere gemeenten in de IJmondregio (Mennen et al., 2021).

In dit onderzoek zijn de bevindingen van het depositieonderzoek meer in detail geanalyseerd, om daarmee beter inzicht te krijgen in de herkomst

⁷ In dit onderzoek is neergedaald stof geanalyseerd op een groot aantal metalen en andere elementen, die strikt genomen niet tot de metalen worden gerekend, zoals fosfor. Met het oog op de leesbaarheid wordt in dit rapport verder gesproken over metalen, ook waar andere elementen worden bedoeld.

(bronnen) van de PAK en metalen in het neergedaalde stof. Voor de consistentie zijn in dit rapport verschillende stukken tekst uit Mennen et al.(2021) overgenomen.

2.2 Aanpak analyse herkomst PAK en metalen in neergedaald stof

De resultaten van het depositieonderzoek, dat uitvoerig is beschreven in Mennen et al. (2021), worden gebruikt als basis voor de analyse om beter inzicht te krijgen herkomst van de stoffen in de depositie. Anders gezegd: om antwoord te vinden op de vraag van inwoners van de IJmond: 'Waar komen de PAK en metalen in het neergedaalde stof waaraan inwoners worden blootgesteld vandaan?'

Zoals beschreven in paragraaf 1.2, is de depositie – en de hoeveelheid en de samenstelling ervan – afhankelijk van een groot aantal factoren. Daar komt bij dat niet altijd bekend is hoeveel grof stof er van verschillende (ook natuurlijke) bronnen vrijkomt, wanneer dat gebeurt en wat de samenstelling daarvan is. Ook kan grof stof opwaaien en zich opnieuw verspreiden. Om deze redenen is het niet mogelijk om de depositie van grof stofdeeltjes en daarin aanwezige PAK en metalen in de IJmond te berekenen met behulp van een verspreidingsmodel en emissies uit bronnen, en ook niet om de bijdragen van verschillende bronnen te kwantificeren.

Om toch beter inzicht te krijgen in de herkomst van de PAK en metalen in de depositie zijn de meetresultaten en andere beschikbare gegevens vanuit verschillende benaderingen bestudeerd. Er is gebruikgemaakt van:

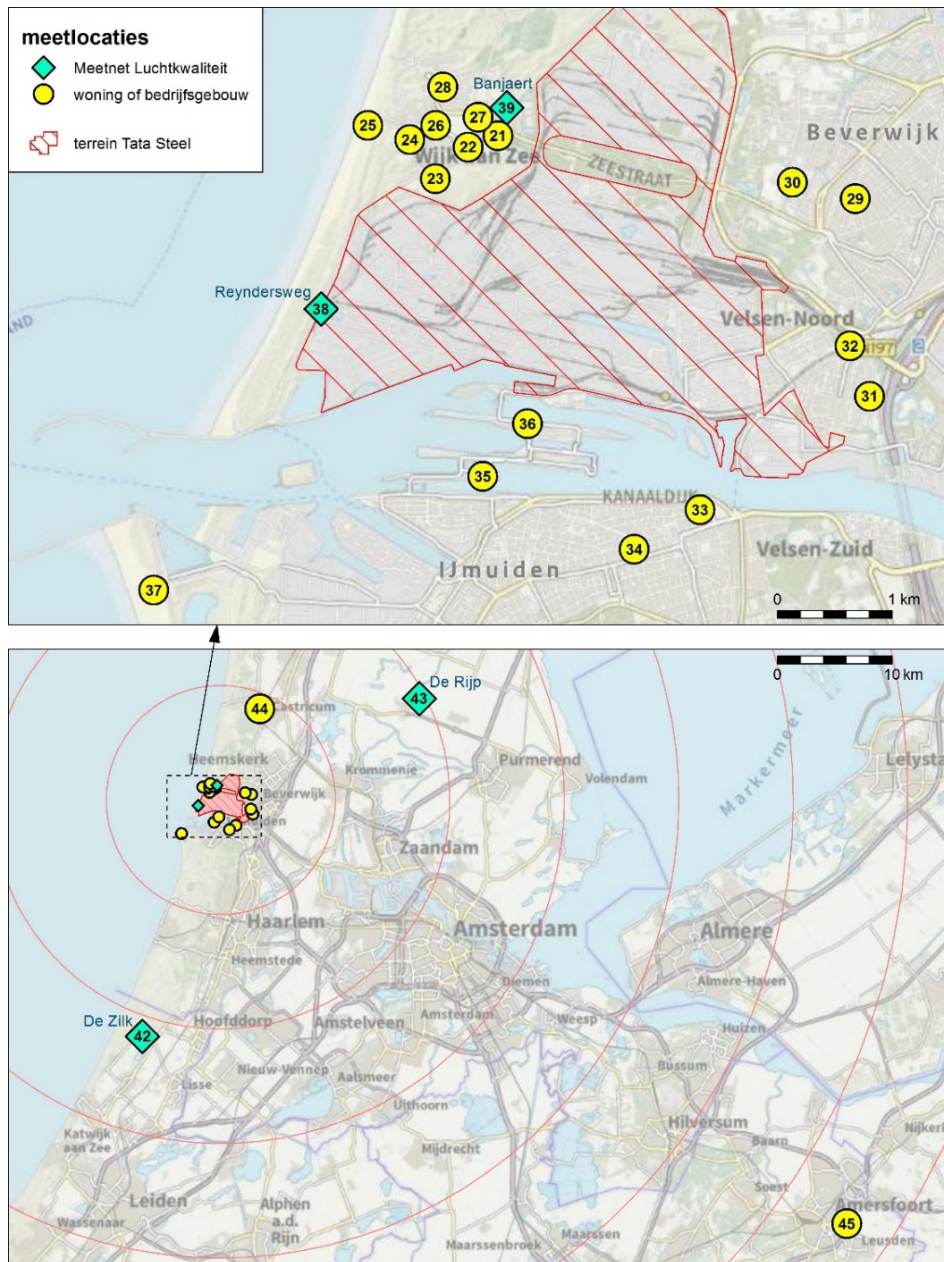
- 1) data uit de Emissieregistratie en wetenschappelijke literatuur over emissies van de staalindustrie;
- 2) patroonherkenning op basis van de typen stoffen en de gemeten hoeveelheden op verschillende locaties rondom het terrein van Tata Steel in relatie tot de weersomstandigheden;
- 3) twee wetenschappelijke artikelen betreffende recent onderzoek naar de samenstelling en mineralogische structuur van neergedaald stof in de IJmond (in dit onderzoek zijn alleen metalen bestudeerd en geen PAK);
- 4) wetenschappelijke literatuur over bodemverontreiniging als gevolg van emissies en depositie in de omgeving van ijzer- en staalfabrieken.

Voor patroonherkenning en gemeten hoeveelheden maken we gebruik van de metingen die zijn gedaan met de PDT-sombakmethode⁸ (zie Mennen et al., 2021, voor een beschrijving van de methoden die zijn gebruikt in het depositieonderzoek). Met deze methode is van 5 oktober tot en met 26 november 2020 in drie opeenvolgende meetperiodes de totale depositie aan PAK en metalen bepaald. De metingen die met de PDT-standaardmethode⁸ zijn verricht zijn minder bruikbaar, omdat hiermee alleen de depositie is gemeten die overblijft na afspoelen door neerslag, bijvoorbeeld regen. Bovendien zijn met die methode alleen metingen verricht in Wijk aan Zee en Heemskerk, dus niet in alle richtingen rondom het terrein van Tata Steel.

⁸ De methoden die zijn gebruikt in het depositieonderzoek zijn uitvoerig beschreven in Mennen et al., 2021.

In het depositieonderzoek zijn ook metingen in woningen verricht. De PAK-depositie binnen is gemiddeld genomen 100 maal lager dan buiten, en het verspreidingspatroon van de PAK-depositie binnen is vergelijkbaar met de buiten gemeten waarden. Daarom zijn in het huidige onderzoek naar het herleiden van de bron alleen de buiten gemeten waarden gebruikt.

In Figuur 2.1 zijn de 23 locaties weergegeven waar metingen zijn gedaan met de PDT-sombakmethode. De meetlocaties 21 tot en met 39 liggen alle in de IJmond, de meetlocaties 42 tot en met 45 zijn achtergrondlocaties, gelegen op 10 km afstand of meer van het IJmondgebied. In de figuur is onderscheid gemaakt tussen meetlocaties nabij een woning of bedrijfsgebouw enerzijds en meetlocaties naast een meetstation van het luchtmeetnet anderzijds. Voor meer details over de meetlocaties wordt verwezen naar paragraaf 2.4 van Mennen et al. (2021).



Figuur 2.1 Overzicht van de meetlocaties in de IJmond, waar is gemeten met de PDT-sombakmethode. De rode cirkels liggen op 10, 20, 30, et cetera km van het centrum van het terrein van Tata Steel

2.2.1 Windrozen

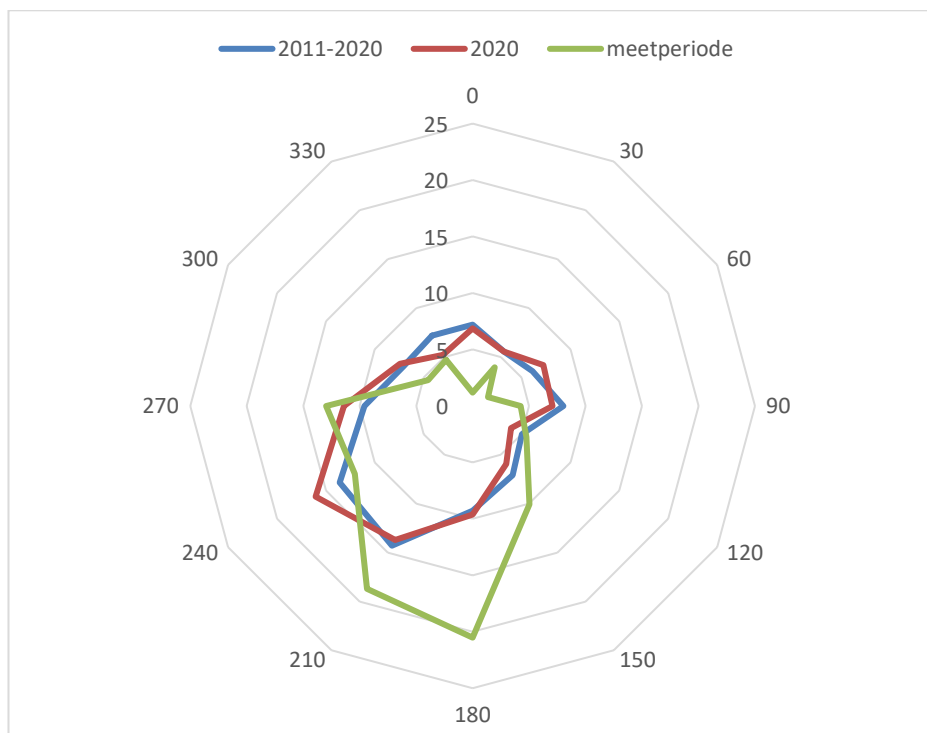
In het rapport van het depositieonderzoek is een overzicht gegeven van de weersomstandigheden tijdens het onderzoek, in het bijzonder van de windrichting, de windsnelheid en de hoeveelheid neerslag tijdens elk van de drie meetperioden.

Voor de analyse naar de herkomst van PAK en metalen in paragraaf 2.3 en 2.4 is met name gebruikgemaakt van de windrichtinggegevens.

Daarom zijn hieronder de windrozen en de toelichting daarbij overgenomen uit paragraaf 3.1 van Mennen et al. (2021).

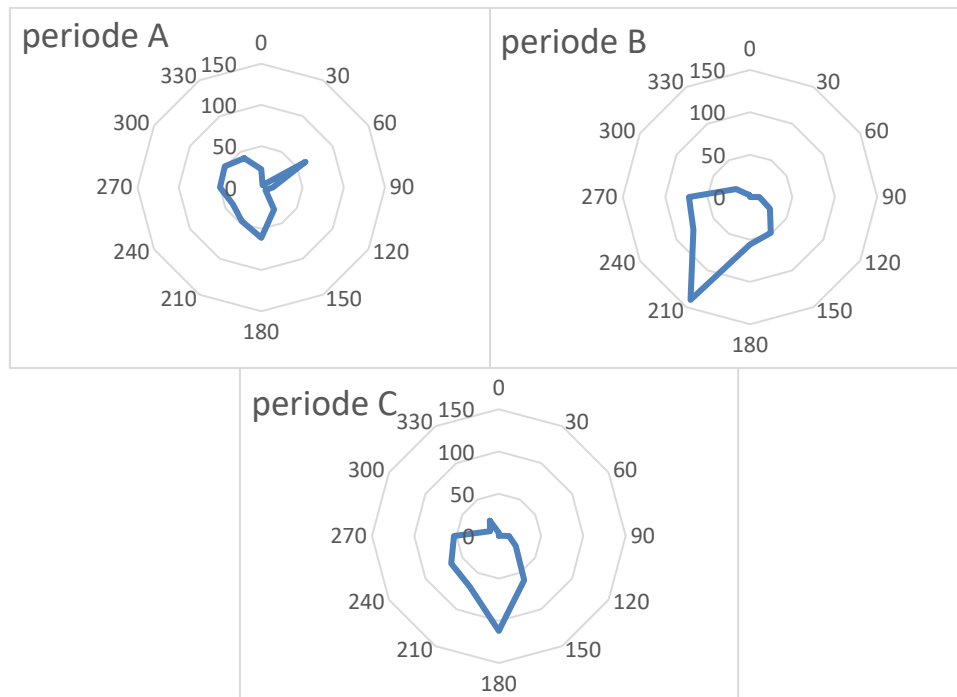
In Figuur 2.2 staat het percentage vóórkomen van de windrichting uitgezet per 30 graden. Hiervoor zijn meetgegevens van de windrichting van KNMI-meetstation 209 IJmond gebruikt. In de figuur staan de gegevens van meerdere jaren (2011 tot en met 2020), van het jaar 2020 en van de hele meetperiode van het depositieonderzoek (5 oktober tot en met 26 november 2020).

In deze figuur is te zien dat de heersende windrichting in de IJmond zuidwest is (210°-240°). Dat geldt overigens ook voor de rest van Nederland. Het beeld over meerdere jaren is vergelijkbaar met het beeld van heel 2020. In de hele meetperiode kwam de wind relatief vaker uit de richting 180°-210°, ofwel net iets zuidelijker dan gemiddeld. Wind uit noordelijke tot oostelijke richting kwam relatief weinig voor.



Figuur 2.2 Relatief aantal uren wind (% van het totaal) uit verschillende richtingen per sector van 30° over de jaren 2011-2020, het jaar 2020 en de hele meetperiode

Figuur 2.3 bevat de windrozen voor de drie opeenvolgende meetperiodes van het depositieonderzoek. In periode A (5 tot en met 22 oktober 2020) kwam de wind enkele dagen achter elkaar uit het noordoosten (60°) en op de andere dagen afwisselend uit het noordwesten, westen en zuidelijke richting. In de andere perioden, B (van 22 oktober tot en met 9 november 2020) en C (van 9 tot en met 26 november 2020) kwam wind uit noordwestelijke tot oostelijke richting vrijwel niet voor. Periode B werd gekenmerkt door veel wind uit het zuidwesten (210°) en dit was vaak een vrij krachtige tot soms stormachtige wind. In periode C was wind uit het zuiden dominant.



Figuur 2.3 Aantal uren wind uit verschillende richtingen per sector van 30° over de drie meetperioden van het depositieonderzoek

2.3 Analyse herkomst PAK-depositie

2.3.1 Gegevens literatuur en Emissieregistratie

PAK ontstaan bij verbrandingsprocessen, met name bij onvolledige verbranding. PAK komen ook voor in steenkool en andere fossiele brandstoffen (Franke, 2013). Typische bronnen van PAK zijn industrie, houtstook, afvalverbranding, elektriciteitsopwekking zoals kolencentrales, weg- en scheepvaartverkeer, aangebrand voedsel en sigarettenrook.

Ook bij de productie van ijzer en staal komen PAK vrij, met name bij de productie van cokes (Ciaparra et al., 2009; Liberti et al., 2006; Khaparde et al., 2016; Stella et al., 2012) en door verwaaiing van stofdeeltjes uit steenkool en cokes.

Bij een aantal processen op het terrein van Tata Steel worden PAK uitgestoten. Volgens gegevens in de Emissieregistratie⁹ bedroeg de uitstoot van benzo[a]pyreen¹⁰ door Tata Steel in 2020¹¹ in totaal 35 kg. Deze uitstoot is voor het grootste deel afkomstig van de kooksfabrieken en daarnaast van de sinterfabriek en diverse verbrandingsprocessen. PAK kunnen ook voorkomen in (grof) stofdeeltjes die vrijkomen bij de productie van cokes, door verwaaiing uit op- en overslagen van steenkool (Franke, 2013) en in eerder neergedaald stof op het terrein dat opnieuw kan opwaaien door de wind of rijdend materieel.

⁹ Zie kader Toelichting op Emissieregistratie op pagina 53 voor meer informatie hoe deze gegevens in de Emissieregistratie tot stand komen. Kort samengevat is de belangrijkste bron de elektronisch Milieujaarverslagen die door Tata Steel worden ingediend in het kader van de E-PRTR regelgeving.

¹⁰ In de Emissieregistratie zijn emissies gerapporteerd van enkele PAK-verbindingen, maar niet van de totale hoeveelheid PAK of de som EFSA PAK8, die is gebruikt voor de risicobeoordeling door blootstelling aan het neergedaalde stof (Mennen et al., 2021).

¹¹ De emissiegegevens over 2020 zijn voorlopige cijfers, die nog formeel moeten worden vastgesteld.

Volgens het door Tata Steel ingediende e-MJV bedroeg in 2020 de totale emissie van grof stof (stofdeeltjes groter dan 10 µm) 1.125.500 kg. Dit grof stof komt voornamelijk van open en diffuse bronnen, zoals op- en overslagen van grondstoffen, mengvelden, transportbanden en wegen (opnieuw opwaaiend stof). Een aanzienlijk deel van de stofbronnen bevindt zich in het westelijke en zuidelijke deel van het terrein van Tata Steel (zie Figuur 3.2.5). Er zijn in de Emissieregistratie geen gegevens beschikbaar over de hoeveelheid PAK in het grof stof dat door Tata Steel wordt uitgestoten en verspreid in de omgeving. Ook zijn in de Emissieregistratie geen emissiegegevens van grof stof, PAK en andere stoffen beschikbaar van de bedrijven Harsco Metals en Pelt & Hooykaas, die zich op het terrein van Tata Steel bevinden.

Van alle lokale bronnen in het IJmondgebied waarvan gegevens worden vastgelegd in de Emissieregistratie, draagt Tata Steel het meest bij aan de emissies van PAK. Voor bijvoorbeeld benzo[a]pyreen bedraagt de emissie van Tata Steel 35 kg in 2020, van de scheepvaart op het Noordzeekanaal 0,2 kg/jaar en van andere lokale bronnen in het gebied minder dan 0,1 kg/jaar.¹² Het gaat hierbij voornamelijk om emissies van benzo[a]pyreen in fijnstofdeeltjes. In het e-MJV van Tata Steel zijn emissies als gevolg van incidenten gerapporteerd; onbekend is of alle emissies uit incidenten in beeld zijn¹³. Daardoor, en ook door het ontbreken van gegevens over emissies van PAK in grof stof, zal de geregistreerde emissie van benzo[a]pyreen – en ook die van andere PAK – onderschat zijn.

In de omgeving van diverse ijzer- en staalfabrieken zijn in de bodem verhoogde gehalten aan PAK gemeten (Rachwal et al., 2015; Xie et al., 2021), wat wijst op langdurige depositie van PAK afkomstig uit deze fabrieken. In 2009 heeft het RIVM een uitgebreide analyse gedaan van bodemonderzoeken in de IJmond en zijn omgeving (Lijzen, 2009). Hieruit werd geconcludeerd dat er tot op 3 km van het terrein van Tata Steel, met name in noordelijke richting, verhoogde gehalten aan PAK in de bodem voorkomen. Bodemstof met daarin verhoogde hoeveelheden PAK door deze 'historische verontreiniging' kan opwaaien en zich zo opnieuw verspreiden.

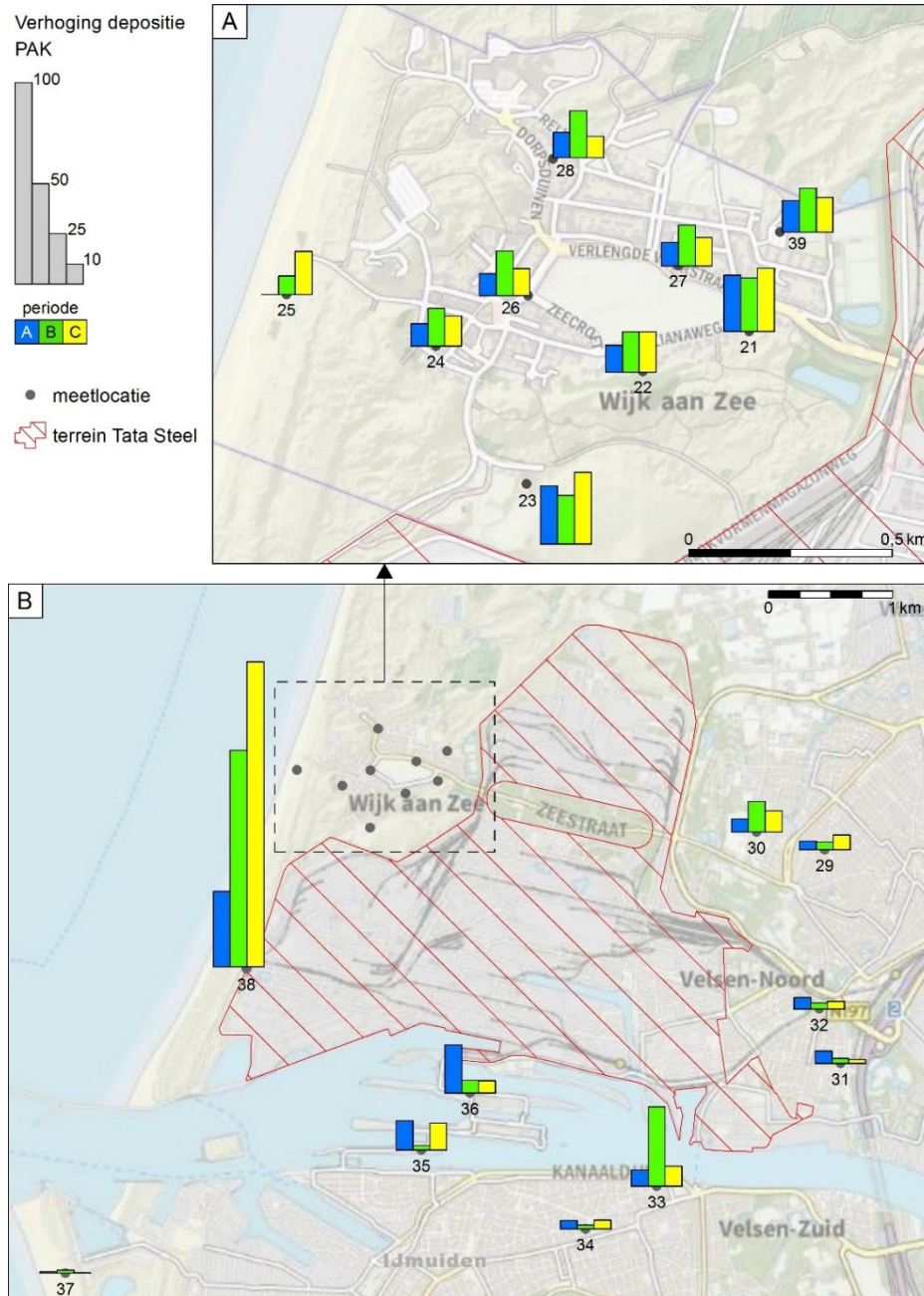
2.3.2 *Verspreidingspatroon gemeten PAK-depositie*

In het depositieonderzoek zijn de gemeten deposities aan PAK op de locaties in de IJmond gedeeld door de gemiddelde depositie op de achtergrondlocaties 42, 43 en 45. Op deze wijze is de *mate van verhoging* van de PAK-depositie in de IJmond bepaald. De PAK-depositie op locatie 44 (Castricum) was in de tweede en derde meetperiode veel hoger dan op de locaties 42, 43 en 45, en daarom is locatie 44 niet meegenomen in de berekening van de gemiddelde achtergronddepositie. De oorzaak van de verhoogde waarden op de locatie in Castricum wordt later in deze paragraaf besproken.

¹² <http://www.emissieregistratie.nl/erpubliek>

¹³ Emissies uit incidenten zijn onderdeel van het totaal aan gerapporteerde emissies. De rapportage van incidenten, en de autorisatie door het bevoegd gezag, zijn echter minder evident dan de standaardrapportages in het milieujaarverslag. De volledigheid van de incidentele emissies en de bijbehorende emissiekenmerken zijn daarmee minder zeker en gevoelig voor misverstanden.

In Figuur 2.4 is voor de som EFSA PAK¹⁴ de *mate van verhoging* (factor) van de PAK-depositie op de 19 meetlocaties in de IJmond weergegeven.



Figuur 2.4 Mate van verhoging (factor) van de PAK-depositie op de meetlocaties in de IJmond ten opzichte van de gemiddelde depositie op de achtergrondlocaties. De lengte van de balkjes linksboven geeft de factor verhoging aan

Een factor 100 betekent bijvoorbeeld dat de hoeveelheid PAK op deze locatie 100 keer zo hoog is als het gemiddelde van de waarden op de

¹⁴ De 'som EFSA PAK8' is de relevante dosismaat die is gebruikt in de risicobeoordeling in Mennen et al. (2021). Dit is de totale hoeveelheid van acht verschillende PAK-verbindingen: benzo[a]antracene, benzo[b]fluorantheen, benzo[k]fluorantheen, chryseen, benzo[a]pyreen, indeno[1,2,3-cd]pyreen, dibenzo[a,h]antracene en benzo[g,h,i]peryleen.

achtergrondlocaties. De drie staven bij elke meetlocatie geven de mate van verhoging aan in de drie opeenvolgende meetperioden.

In de figuur is duidelijk te zien dat de PAK-depositie op de meetlocatie Reyndersweg (meetlocatie 38) het hoogst is, namelijk een factor 40 (eerste meetperiode) tot 150 (derde meetperiode). Deze locatie ligt aan de westzijde van het terrein van Tata Steel, op korte afstand van de terreingrens. In het westelijk deel van het terrein bevinden zich binnen een afstand van 50 tot enkele honderden meters in oostnoordoostelijke tot zuidelijke richting meerdere open bronnen, zoals op- en overslagen en mengvelden van onder meer kolen. Ook liggen hier wegen, waar stofdeeltjes van kunnen opwaaien (zie Figuur 3.3). PAK houdende stofdeeltjes kunnen ook afkomstig zijn van de kooksfabrieken die op 300 tot 500 m ten oostzuidoostelijke richting van de meetlocatie Reyndersweg liggen. Een belangrijke aanwijzing is dat de PAK-depositie het hoogst was in de tweede en derde meetperiode. In deze perioden was de wind overheersend uit zuidwestelijke tot oostzuidoostelijke richting, waar zich een deel van de genoemde bronnen bevindt. Daarnaast bevinden zich in de nabijheid van meetlocatie Reyndersweg geen andere grote bronnen van PAK, zoals grootschalig wegverkeer, verbrandingsinstallaties en open haarden. Ook de bijdrage van de scheepvaart op het Noordzeekanaal is beperkt (zie paragraaf 2.3.1). Het is daarom aannemelijk dat een aanzienlijk deel van de PAK-depositie op deze locatie afkomstig is van bronnen van Tata Steel.

In Wijk aan Zee was de PAK-depositie met gemiddeld een factor 15 tot 20 verhoogd ten opzichte van de gemiddelde depositie op de achtergrondlocaties. Ook hier was de depositie het grootst tijdens de tweede en derde meetperiode, met overwegend wind uit zuidwestelijke tot zuidoostelijke richting. De hoogste waarden zijn gemeten op de locaties het dichtst bij het terrein van Tata Steel (locaties 21 tot en met 23). Deze bevinden zich op 1 tot 1,5 km ten noordnoordoosten van het deel van het terrein van Tata Steel, waar de kooksfabrieken en de meeste grof stof-bronnen zich bevinden. De andere locaties in Wijk aan Zee liggen op 1,5 tot 2,2 km afstand in ongeveer dezelfde richting. De gemeten verhoogde waarden duiden op een aanzienlijke bijdrage van bronnen op het terrein van Tata Steel. In Wijk aan Zee bevinden zich geen andere grote bronnen van PAK, zoals grootschalig wegverkeer en andere industrie. Het effect van scheepvaart is mede gezien de grote afstand tot het Noordzeekanaal (2,5 tot 3,5 km) beperkt. Voor zover bekend zijn er in de directe nabijheid van de meetlocaties geen open haarden aan geweest gedurende de meetperioden, maar een bijdrage van open haarden verspreid over Wijk aan Zee is niet uit te sluiten.

In Beverwijk, Velsen-Noord en IJmuiden Oost was de PAK-depositie eveneens verhoogd, namelijk een factor 3 tot 10, afhankelijk van de meetperiode. Deze locaties liggen op grotere afstand dan Wijk aan Zee (3,5 tot 5 km in oostelijke tot zuidoostelijke richting) van het deel van het terrein van Tata Steel waar zich de kooksfabrieken en de meeste grof stof-bronnen bevinden. In elk van de drie meetperioden heeft de wind enige tijd uit westelijke richting gewaaid. Daarom is een deel van de verhoogde PAK-depositie vermoedelijk toe te schrijven aan emissies uit bronnen op het terrein van Tata Steel. Vanwege de grotere afstand en de relatief korte tijd dat de wind afkomstig was uit westelijke richting

is deze bijdrage lager dan in Wijk aan Zee en bij de meetlocatie Reyndersweg. Omdat de meetlocaties in Beverwijk, Velsen-Noord en IJmuiden Oost zich in stedelijk gebied bevinden, kunnen ook verkeer en andere bronnen hebben bijgedragen.

Een uitzondering vormt de hoge PAK-depositie (factor 20) in IJmuiden Oost in de tweede meetperiode. Deze is toe te schrijven aan een hoge meetwaarde op locatie 33 (op locatie 34 was de verhoging een factor 2). In deze meetperiode stond de wind voornamelijk uit westelijke tot zuidoostelijke richting, dus niet uit de richting van Tata Steel of het Noordzeekanaal. Het is niet bekend of de hoge waarde op locatie 33 is veroorzaakt door emissies van één of meer andere lokale bronnen.

Op de locaties IJmuiden sluizen (35 en 36) was de PAK-depositie verhoogd met een factor 20 in de eerste meetperiode en een factor 5 tot 10 in de tweede en derde meetperiode. Deze locaties liggen op 1 tot 1,5 km ten zuidoosten van het deel van het terrein van Tata Steel waar zich de kooksfabrieken en de meeste grof stof bronnen bevinden. In de eerste meetperiode is de wind een deel van de tijd westelijk tot noordwestelijk geweest, en hebben emissies van Tata Steel bijgedragen aan de hoge PAK-depositie. Ook de scheepvaart en andere lokale bronnen kunnen daar een rol in hebben gespeeld, maar die bijdrage is op basis van gegevens uit de Emissieregistratie (zie paragraaf 2.3.1) waarschijnlijk lager.

Tijdens beide andere meetperioden is er enige tijd wind uit westelijke richting geweest, maar was de windrichting overheersend zuid tot zuidwest. In deze perioden was de PAK-depositie op deze locaties minder verhoogd. Doordat beide meetlocaties in industrieel-stedelijk gebied liggen, kunnen ook andere bronnen hebben bijgedragen.

De hoge PAK-depositie op de meetlocatie in Castricum tijdens de tweede en derde meetperiode is mogelijk veroorzaakt door nabijgelegen open haarden (Mennen et al., 2021). Dit is gebaseerd op informatie die is verzameld met behulp van een vragenlijst aan deelnemers aan het onderzoek. Van open haarden is bekend dat er PAK kunnen vrijkomen die vanwege de lage bronhoogte (schoorsteen) in de nabije omgeving kunnen worden verspreid en gedeponeerd (zie onder meer Koppejan en De Bree, 2018; RIVM, 2021).

Het is onwaarschijnlijk dat deze depositie is toe te schrijven aan emissies van Tata Steel, omdat deze locatie op meer dan 10 km van het terrein ligt en omdat met name grof stof zich niet over zo'n grote afstand verspreidt. Ook is in periode A geen verhoogde PAK-depositie gevonden in Castricum, terwijl de wind in die periode regelmatig afkomstig was uit de richting van Tata Steel. Bovendien is de depositie in Castricum hoger dan in Wijk aan Zee, dat veel dichterbij het terrein van Tata Steel ligt in ongeveer dezelfde richting. Tot slot is de depositie van de meeste metalen in Castricum niet tot licht verhoogd, ook in de tweede en derde meetperiode (zie paragraaf 2.4.2). Als de sterk verhoogde PAK-depositie in Castricum tijdens deze perioden veroorzaakt zou zijn door emissies van Tata Steel, zou ook een sterk verhoogde depositie van metalen als ijzer en mangaan worden verwacht.

2.3.3 Analyse PAK-profielen

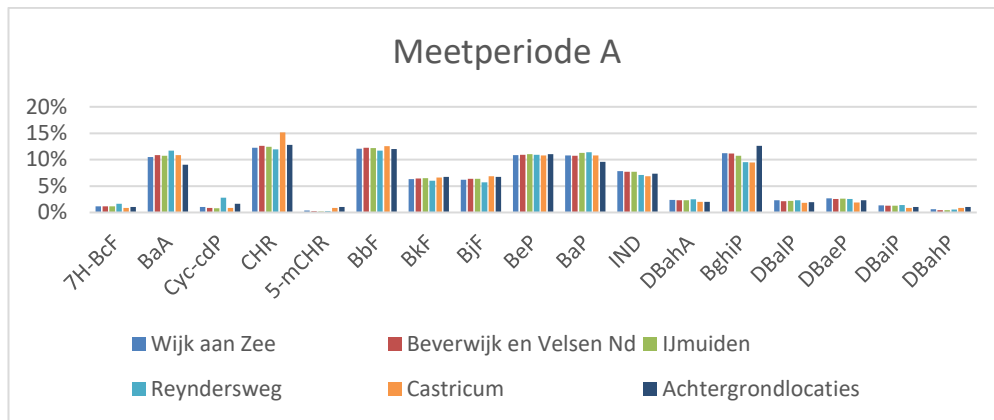
In het rapport van het depositieonderzoek (Mennen et al., 2021) is ervoor gekozen om niet voor alle 16 afzonderlijke PAK-verbindingen die zijn geanalyseerd¹⁵ de meetwaarden te presenteren. Een belangrijke reden hiervoor was dat de afzonderlijke PAK-verbindingen in alle monsters grofweg in ongeveer dezelfde verhoudingen bleken voor te komen. De meetwaarden voor benz[a]pyreen en 'som EFSA PAK8' gaven daarom een goed beeld van de PAK-depositie. Daarnaast is de 'som EFSA PAK8' een relevante dosismaat voor de beoordeling van gezondheidsrisico's. Deze is in het IJmondonderzoek gebruikt voor de risicobeoordeling door blootstelling aan het neergedaalde stof.

Om inzicht te krijgen in de herkomst van PAK in neergedaald stof kan het nuttig zijn om preciezer na te gaan of er verschillen zijn in de profielen (dat wil zeggen de onderlinge verhoudingen van afzonderlijke PAK-verbindingen), die kunnen worden gerelateerd aan bepaalde bronnen. Zo hebben bijvoorbeeld Masclet et al. (1986) aangetoond dat de PAK fluoranteen, chryseen en pyreen relatief veel voorkomen in uitlaatgassen van dieselmotoren. Uit onderzoek van Khalili et al. (1995) blijkt dat anthraceen, fenantreen en pyreen kenmerkend zijn voor emissies van houtverbranding, en dat hoge concentraties indeno(1,2,3-cd)pyreen, benzo[k]fluorantheen en chryseen vaak worden geassocieerd met de productie van cokes, ijzer en staal (Khaparde et al., 2016). In Kavindra et al. (2008) is een overzicht gegeven van verschillende profielen van PAK, die karakteristiek zijn voor een bepaald type bron, zoals verbrandingsgassen van diesel, benzine, hout, bruinkool en steenkool. Naast profielen wordt ook gebruikgemaakt van de verhouding tussen twee verschillende PAK, om daarmee bronnen te karakteriseren (Caricchia et al., 1999; Stella et al., 2012). Deze bevindingen zijn voornamelijk gebaseerd op metingen van PAK in fijnstof in de lucht. In de literatuur is geen informatie gevonden over profielen van PAK in (neergedaald) grof stof. Ook zijn de resultaten van verschillende onderzoeken waarin PAK-profielen aan bronnen worden gerelateerd niet altijd consistent. Dat kan onder meer te maken hebben met verschillen in gebruikte analysemethoden.

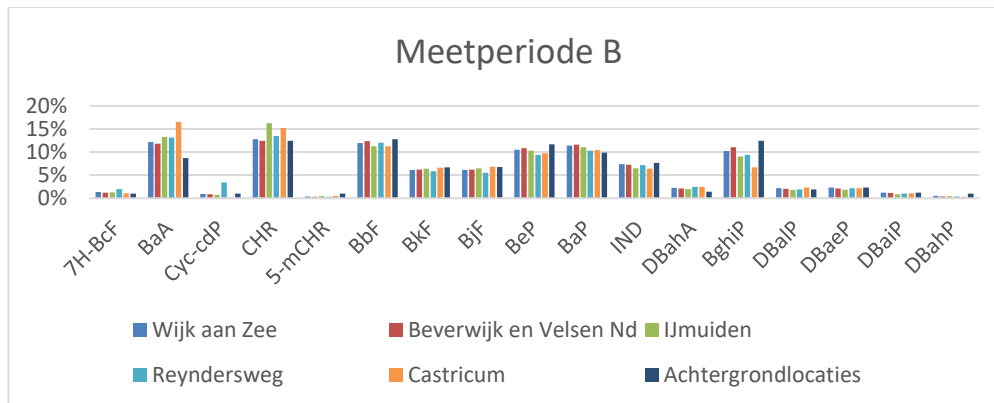
Ondanks de hierboven genoemde beperkingen met profielanalyses van PAK is onderzocht of er verschillen zijn in de profielen van de gemeten PAK-depositie tussen bepaalde (groepen) meetlocaties. Daarvoor zijn de metingen met de PDT-sombakmethode gebruikt (zie paragraaf 2.2). Per meetlocatie en meetperiode is berekend wat het percentage van elke afzonderlijke PAK is ten opzichte van de som van alle 16 PAK waarop is geanalyseerd. Ter illustratie zijn in de Figuren 2.4.a tot en met 2.4.c deze percentages weergegeven voor Wijk aan Zee (gemiddelde over alle meetlocaties)¹⁶, in Beverwijk en Velsen Noord (idem), IJmuiden (idem), Reyndersweg, Castricum en de drie achtergrondlocaties De Zilk, De Rijk en Amersfoort.

¹⁵ In het depositieonderzoek zijn alle veegmonsters op 16 verschillende PAK-verbindingen geanalyseerd. Dit zijn de zogenaamde EU PAK, die door de EU zijn vastgesteld als relevant in het kader van milieu- en gezondheidsbeleid.

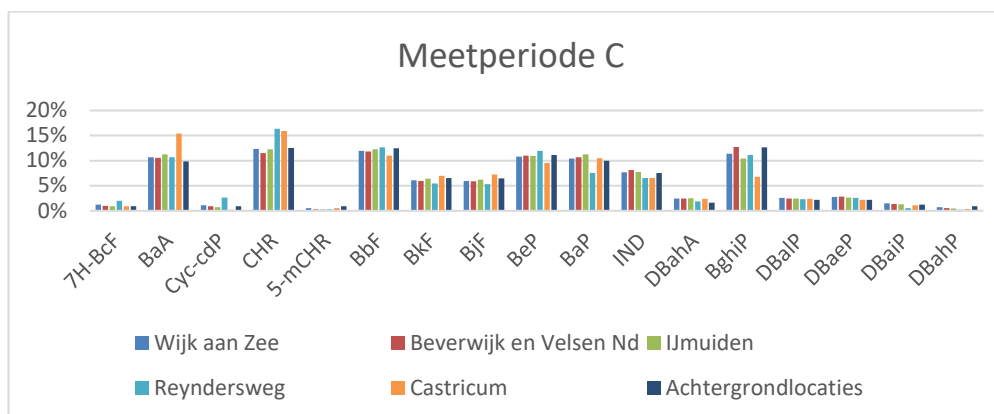
¹⁶ Er is voor gekozen om voor elke PAK het gemiddelde percentage over alle meetlocaties in Wijk aan Zee te nemen, omdat er nauwelijks verschillen tussen de percentages per meetlocatie binnen deze groep waren. Hetzelfde geldt voor de groep locaties in Beverwijk en Velsen Noord, de groep locaties in IJmuiden en de drie achtergrondlocaties.



Figuur 2.4.a Percentage van elke PAK ten opzichte van de som van de 16 PAK, gemiddeld per groep meetlocaties, voor meetperiode A



Figuur 2.4.b Percentage van elke PAK ten opzichte van de som van de 16 PAK, gemiddeld per groep meetlocaties, voor meetperiode B



Figuur 2.4.c Percentage van elke PAK ten opzichte van de som van de 16 PAK, gemiddeld per groep meetlocaties, voor meetperiode C

7H-BcF = 7H-benzo[c]fluoreen; BaA = benzo[a]antraceen; Cyc-cdP = cyclopenta(c,d)pyreen; CHR = chryseen; 5-mCHR = 5-methylchryseen; BbF = benzo[b]fluoranteen; BkF = benzo[k]fluoranteen; BjF = benzo[j]fluoranteen; BeP = benzo[e]pyreen; BaP = benzo[a]pyreen; IND = indeno(123-cd)pyreen; DBahA = dibenzo[ah]antraceen; BghiP = benzo[ghi]peryleen; DBaIP = dibenzo[al]pyreen; DBaEP = dibenzo[ae]pyreen; DBaJP = dibenzo[aj]pyreen; DBahP = dibenzo[ah]pyreen.

Uit de Figuren 2.4.a tot en met 2.4.c blijkt dat er weinig verschil is in de percentages van afzonderlijke PAK over alle meetlocaties. Dit geldt voor elk van de drie meetperiodes en ook voor de uitzonderlijk hoge waarde op locatie 33 (IJmuiden Oost) in meetperiode B. In alle monsters komen de afzonderlijke PAK in ongeveer hetzelfde percentage voor. Het percentage benzo[e]pyreen varieert bijvoorbeeld van 9,5 tot 12% en het percentage dibenzo[ae]pyreen van 2 tot 3,5%.

De meest voorkomende PAK in deze monsters zijn benzo[a]anthraceen, chryseen, benzo[b]fluorantheen, benzo[e]pyreen, benzo[a]pyreen en benzo[ghi]peryleen. Dit beeld is enigszins vergelijkbaar met dat van PAK in de lucht gemeten op de meetstations van het luchtmeetnet in de IJmond (De Jonge, 2020), waarbij de kanttekening wordt gemaakt dat die betrekking hebben op PAK in fijnstof. In paragraaf 4.3.5 wordt nader ingegaan op de verhoudingen tussen PAK-concentraties in de lucht op de locatie Wijk aan Zee.

De PAK-profielen in het neergedaald stof komen ook redelijk overeen met bevindingen uit metingen in stedelijke en industriële gebieden (Kavindra et al., 2008; Jang et al., 2013) en in de directe omgeving van staal- en kooksfabrieken (Yang et al., 2002; Ciaparra et al., 2009; Stella et al., 2021).

Door de zeer kleine verschillen in de PAK-profielen op de meetlocaties in de IJmond kan er geen relatie worden gelegd tussen de in de IJmond gevonden profielen en de aldaar voorkomende bekende bronnen.

Het PAK-profiel in Castricum in de meetperiodes B en C vertoont een kleine afwijking voor benzo[a]anthraceen, benzo[ghi]peryleen en chryseen. Ook het profiel bij meetstation Reyndersweg wijkt (zeer) licht af van dat op de andere locaties. Deze verschillen zijn echter te klein om conclusies te kunnen trekken over de bijdragen van de verschillende bronnen.

2.3.4 *Samenvatting analyse herkomst PAK*

De bevindingen vanuit de verschillende benaderingen in de vorige paragrafen kunnen als volgt worden samengevat:

- Vanuit de literatuur is bekend dat bij verschillende processen van de staalindustrie PAK worden uitgestoten. Deze uitstoot is vooral afkomstig van de productie van cokes en daarnaast van andere processen, van verwaaiing van (grof) stofdeeltjes uit op- en overslagen van steenkool en van opwaaien van stof op het bedrijfsterrein door wind of rijdend materieel.
- In de bodem rondom verschillende ijzer- en staalfabrieken zijn verhoogde gehalten aan PAK gemeten, wat wijst op langdurige depositie van PAK afkomstig uit deze fabrieken. In de IJmond zijn tot op 3 km van het terrein van Tata Steel verhoogde gehalten aan PAK in de bodem gevonden.
- Volgens de Emissieregistratie is het IJmondgebied Tata Steel de grootste bron van PAK. De PAK-emissies van andere bronnen, zoals de scheepvaart op het Noordzeekanaal, verkeer, houtstook en lokale industrie, zijn veel lager.
- Op de meetlocaties dicht bij mogelijke bronnen op het terrein van Tata Steel, zoals de kooksfabrieken en opslagen van materialen (steenkool, erts en andere grondstoffen), is de PAK-depositie sterk verhoogd.

- Rekening houdend met de heersende windrichtingen en afstanden tot het terrein van Tata Steel, bevestigen de PAK-deposities op de andere meetlocaties in de IJmond dat een aanzienlijk deel van PAK afkomstig is van bronnen op dit terrein.

Op basis van deze bevindingen bevestigen we de conclusie uit het eerder gepubliceerde depositieonderzoek (Mennen et al., 2021) dat het aannemelijk is dat een aanmerkelijk deel van de PAK-depositie afkomstig is van Tata Steel. We hebben een indicatie dat dit vooral is toe te schrijven aan de productie van cokes en verwaaiing van (grof) stofdeeltjes uit op- en overslagen van steenkool en uit eerder neergedaald stof van het bedrijfsterrein.

Het is bekend dat ook uit andere bronnen, zoals scheepvaart, overige industrie, verkeer en houtstook, PAK vrijkomen. Op grond van onze analyses is niet te specificeren wat de relatieve bijdrage van deze bronnen is aan de PAK-depositie in de IJmond.

2.4 Analyse herkomst depositie metalen

2.4.1

Gegevens literatuur en Emissieregistratie

Er bestaan verschillende bronnen van metalen in fijnstof en grof stof, zoals industriële bronnen, weg- en treinverkeer, scheepvaart, opwekking van elektriciteit en afvalverbranding. Metalen komen ook voor in opwaaiend bodemstof, vuurwerkresten, zeezout en stof afkomstig van bouwwerkzaamheden, bouwmaterialen en slijtage van materialen. Zo bevat bodemstof 'van nature' hoge gehalten aan silicium, aluminium, calcium, ijzer, kalium en magnesium. Maar in bodemstof komen ook kleine hoeveelheden van andere metalen voor, waaronder arseen, chroom, lood, koper, nikkel en zink. Zeezout bestaat vooral uit natrium en magnesium en daarnaast komen er kleine hoeveelheden calcium en kalium in voor. Nikkel en vanadium zijn kenmerkend voor emissies uit de scheepvaart. Stof afkomstig van weg- en treinverkeer bevat onder meer koper, chroom en ijzer. In stof in stedelijke omgeving worden vaak verhoogde gehalten aan lood, koper en zink aangetroffen, dit als gevolg van het gebruik van deze metalen in gebouwen en als gevolg van 'historische' bodemverontreiniging. Stofdeeltjes uit industriële bronnen kunnen allerlei metalen bevatten, afhankelijk van de processen en de gebruikte materialen.

Verschillende metalen komen vrij bij processen van de staalindustrie, onder meer ijzer, mangaan, vanadium, chroom, magnesium, aluminium, calcium, nikkel, arseen, cadmium, kalium, natrium, lood, seleen, koper en zink (Oravisjärvi et al., 2003; Cetin et al., 2007; Taiwo et al., 2014; Almeida et al., 2015; Nijhuis en Van Strien, 2015; Beddows en Harrison, 2018; Small et al., 2020 Palmisani et al., 2020; Seibert et al., 2020). Bij processen als de productie van pellets, sintererts en cokes worden voornamelijk fijnstofdeeltjes uitgestoten waarin deze metalen voorkomen.

Daarnaast kunnen metalen in de leefomgeving worden verspreid door verwaaiing van (vooral grof) stof uit de op- overslag van materialen, opwaaiend stof van wegen en bij de verschillende processen. Metalen als ijzer, aluminium, calcium, mangaan en magnesium vormen bestanddelen van ijzererts, kalksteen en andere grondstoffen die worden gebruikt bij de staalfabricage. Andere metalen, onder meer

arsen, cadmium, chroom, lood, zink, nikkel en barium, komen in kleine hoeveelheden ('verontreiniging') voor in steenkool, ijzererts en overige grondstoffen (Pernigotti et al., 2016).

Volgens de gegevens in het e-MJV van Tata Steel stoot zij jaarlijks de volgende hoeveelheden metalen uit (gegevens over 2020¹⁷): 55 kg arsen, 35 kg cadmium, 142 kg chroom, 75 kg kwik, 112 kg koper, 1061 kg lood, 118 kg nikkel, 122 kg vanadium en 1271 kg zink. Van andere metalen worden geen emissies gerapporteerd in het e-MJV van Tata Steel. De emissies van deze metalen uit andere lokale bronnen in het IJmondgebied zijn 10 tot meer dan 100 keer lager, behalve voor nikkel (ongeveer 60 kg in totaal). Het gaat hierbij voornamelijk om emissies van metalen in fijnstofdeeltjes. In deze waarden zijn emissies van bijvoorbeeld opwaaiend bodemstof niet inbegrepen. De emissies aan metalen van de bedrijven Harsco Metals en Pelt & Hooykaas, die op hetzelfde bedrijfsterrein als Tata Steel liggen, zijn niet bekend. Door Tata Steel zijn emissies gerapporteerd van incidenten maar onbekend is of alle emissies uit incidenten daarmee in beeld zijn. Ook zijn door Tata Steel geen emissies gerapporteerd van incidenten. Tot slot worden geen emissies aan metalen door verwaaiing van met name grof stof (waarvan de totale emissie door Tata Steel 1.125.500 kg per jaar bedraagt) uit de op- overslag van materialen en door opwaaiend stof van wegen geregistreerd.

In de bodem rondom ijzer- en staalfabrieken zijn verhoogde gehalten aan ijzer, chroom, magnesium, aluminium, cadmium, lood, koper en zink gemeten (Qing et al., 2015; Rachwal et al., 2015; Zhou et al., 2019), wat wijst op langdurige depositiebijdrage grotendeels afkomstig uit deze fabrieken. In 2009 heeft het RIVM een uitgebreide analyse gedaan van bodemonderzoeken in de IJmond en zijn omgeving (Lijzen, 2009). Hieruit werd geconcludeerd dat er tot op 2 km van het terrein van Tata Steel, met name in noordelijke richting, verhoogde gehalten aan cadmium, zink, ijzer, mangaan, lood en koper in de bodem voorkomen. Bodemstof met daarin verhoogde hoeveelheden metalen door deze 'historische verontreiniging' kan opwaaien en zich zo opnieuw verspreiden.

2.4.2 *Verspreidingspatroon metalendepositie*

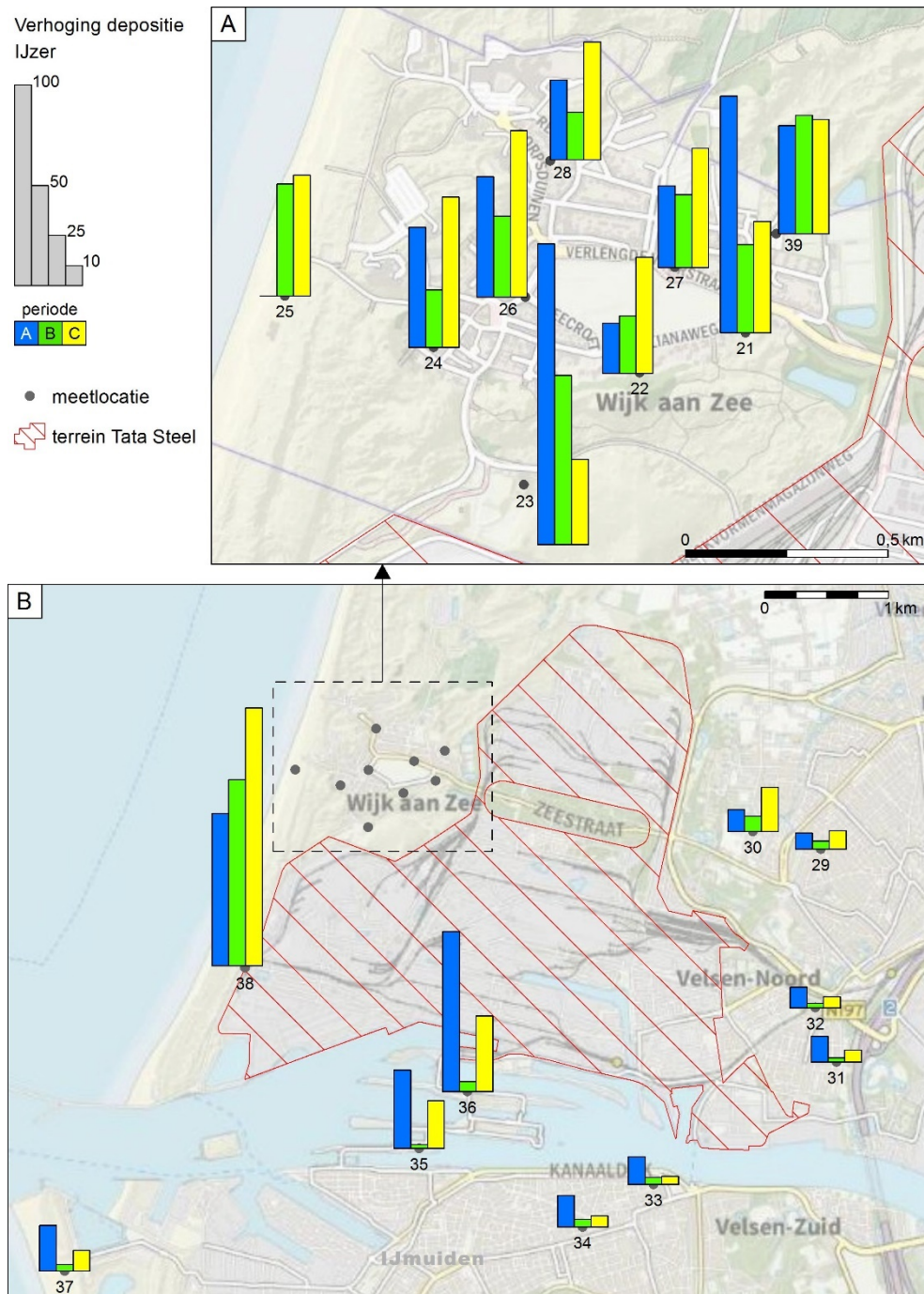
In het depositieonderzoek zijn de gemeten deposities aan metalen op de locaties in de IJmond gedeeld door de gemiddelde depositie op de achtergrondlocaties 42, 43 en 45. Op deze wijze is voor elk metaal de *mate van verhoging* van de depositie in de IJmond bepaald. Zoals toegelicht in paragraaf 2.3.2 is de depositie op locatie 44 (Castricum) niet meegenomen in de berekening van de gemiddelde achtergronddepositie.

In de Figuren 2.5.a tot en met 2.5.c is voor drie metalen, namelijk ijzer, mangaan en lood, de *mate van verhoging* (factor) van de depositie op de 19 meetlocaties in de IJmond weergegeven. Net als in Figuur 2.3 geeft de lengte van de balkjes linksboven de factor verhoging aan. Deze metalen zijn gekozen als voorbeelden om de omvang van de depositie op de verschillende locaties te illustreren. IJzer en mangaan zijn kenmerkende metalen voor de staalindustrie. Lood is gekozen omdat uit

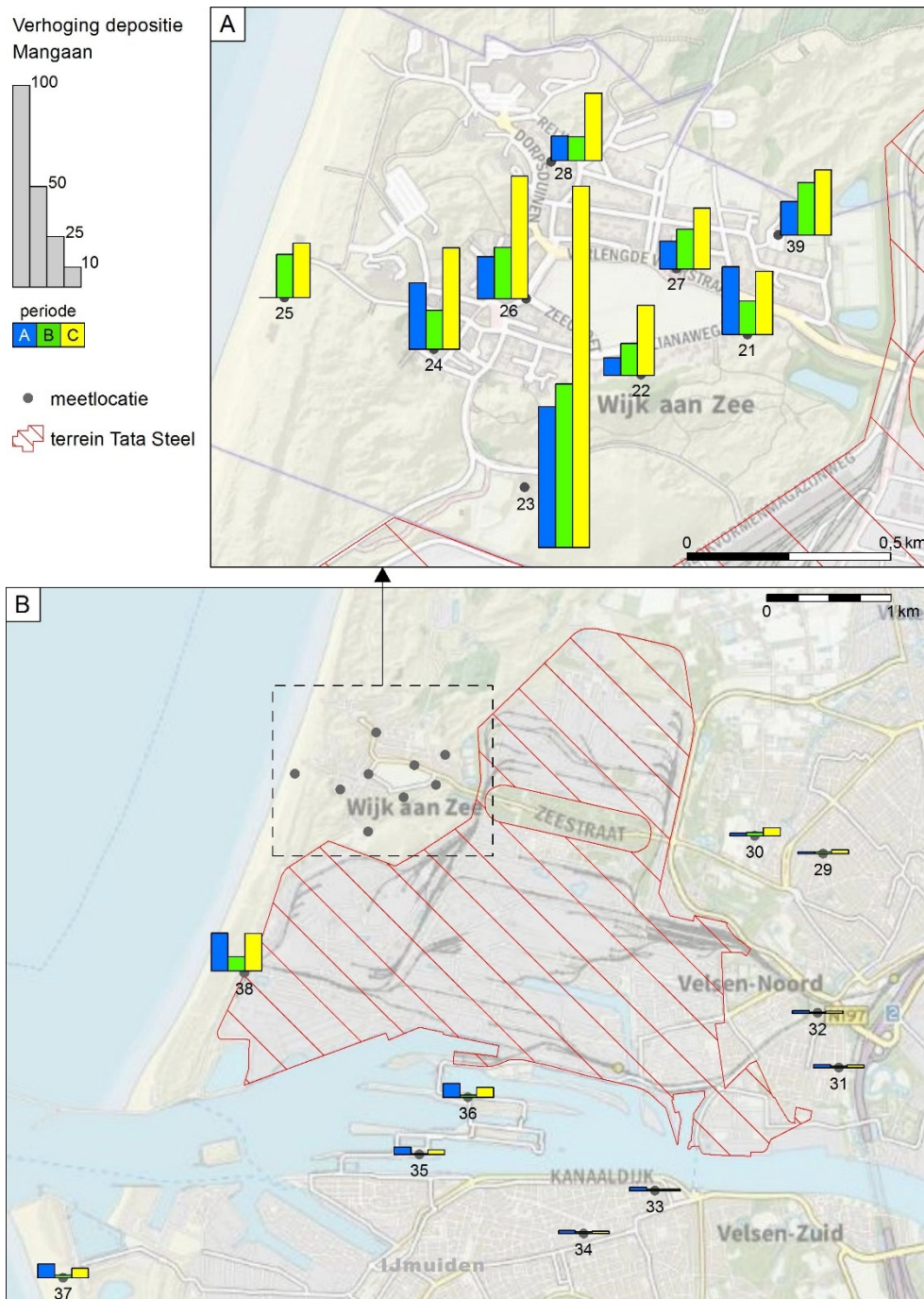
¹⁷ De emissiegegevens over 2020 zijn voorlopige cijfers, die nog formeel moeten worden vastgesteld.

de risicobeoordeling (Mennen et al., 2021) is gebleken dat de geschatte blootstelling via neergedaald stof boven de gezondheidskundige grenswaarde ligt en daarom ongewenst is voor de gezondheid. De drie staven bij elke meetlocatie geven de *mate van verhoging* aan in de drie opeenvolgende meetperioden. Voor het overzicht van de meetresultaten van alle metalen verwijzen we naar paragraaf 3.4.1 van Mennen et al. (2021).

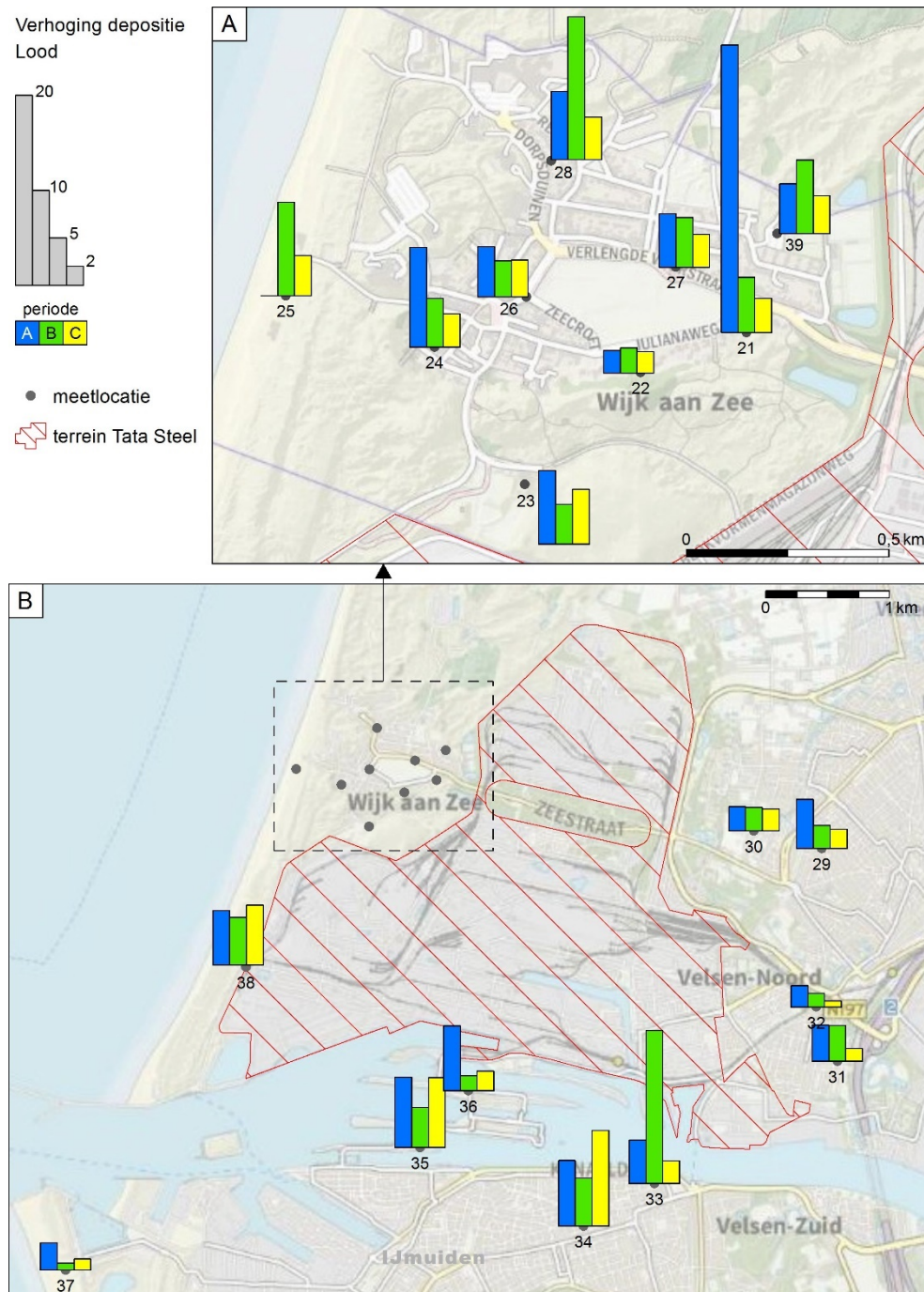
In de Figuren 2.5.a en 2.5.b (ijzer respectievelijk mangaan) is de schaal waarop de mate van verhoging is weergegeven dezelfde als voor PAK in Figuur 2.3. De schaal in Figuur 2.5.c (lood) is vijf maal zo klein, omdat zo de verschillen tussen de waarden op de diverse meetlocaties beter zijn waar te nemen.



Figuur 2.5.a Mate van verhoging (factor) van de ijzerdepositie op de meetlocaties in de IJmond ten opzichte van de gemiddelde depositie op de achtergrondlocaties



Figuur 2.5.b Mate van verhoging (factor) van de mangaandepositie op de meetlocaties in de IJmond ten opzichte van de gemiddelde depositie op de achtergrondlocaties



Figuur 2.5.c Mate van verhoging (factor) van de looddepositie op de meetlocaties in de IJmond ten opzichte van de gemiddelde depositie op de achtergrondlocaties

De Figuren 2.5.a en 2.5.b laten zien dat in Wijk aan Zee en bij het meetstation Reyndersweg sterk verhoogde deposities aan ijzer en mangaan zijn gemeten, vooral op de meetlocaties die het dichtst bij het terrein van Tata Steel liggen. De mangaandepositie in Wijk aan Zee is over het algemeen het hoogst in de derde meetperiode, waarbij de windrichting hoofdzakelijk zuidelijk was. De ijzerdepositie vertoont een wisselend beeld over de drie meetperioden. Een vergelijkbaar patroon is gevonden voor vanadium, chroom, aluminium, arseen, magnesium en

calcium. Op deze locaties zijn ook verhoogde deposities gevonden van lood (zie Figuur 2.5.c), cadmium, nikkel, zink, barium, koper, kobalt en strontium, maar die deposities zijn minder sterk verhoogd dan voor de eerder genoemde metalen.

De verhoogde waarden van met name ijzer, mangaan, vanadium en chroom vormen een duidelijke aanwijzing dat een aanzienlijk deel van het neergedaalde stof afkomstig is van bronnen op het terrein van Tata Steel (waaronder mogelijk ook bronnen van de bedrijven Harsco Metals en Pelt & Hooykaas). Deze aanwijzing wordt bevestigd door een onderzoek van Small et al. (2021), dat in paragraaf 2.4.3 wordt besproken.

In en nabij Wijk aan Zee en het meetstation Reyndersweg bevinden zich geen andere grote bronnen van (grof) stof, waarin ijzer, mangaan, vanadium en chroom in zo'n hoge mate voorkomen.¹⁸ IJzer komt weliswaar substantieel voor in stofdeeltjes van natuurlijke bronnen (opwaaiend zand en bodemstof), maar de gehalten aan mangaan, vanadium en chroom in dit soort stofdeeltjes zijn laag.

Bij de locaties 35 en 36 ('IJmuiden sluizen') zijn – net als voor PAK – vooral in de eerste meetperiode waarin de wind een deel van de tijd afkomstig was uit de richting van het terrein van Tata Steel, verhoogde deposities gevonden van ijzer, mangaan, lood, vanadium, chroom, arseen, cadmium en nikkel. Voor lood was de depositie vergelijkbaar met die in Wijk aan Zee, voor de andere metalen is ze minder hoog dan in Wijk aan Zee. Tijdens de tweede en derde meetperiode was de windrichting overheersend zuid tot zuidwest. In deze perioden was de depositie van metalen op de locaties 35 en 36 minder sterk verhoogd. Deze bevindingen wijzen op een bijdrage van emissies van Tata Steel, maar ook bijdragen van andere bronnen, zoals diverse industriële bronnen, elektriciteitsopwekking, scheepvaart, trein- en wegverkeer, bouwwerkzaamheden en opwaaiend bodemstof, kunnen een rol hebben gespeeld.

In Beverwijk, Velsen-Noord en IJmuiden Oost (locaties 29 tot en met 34) zijn de deposities van ijzer, lood, vanadium, chroom, nikkel, aluminium, calcium en arseen (licht) verhoogd. Mangaan is op deze locaties niet of nauwelijks in verhoogde mate gemeten. Voor lood is de depositie op deze locaties vergelijkbaar met die in Wijk aan Zee, voor de andere metalen is ze lager dan in Wijk aan Zee. Dit patroon komt overeen met wat is gevonden voor PAK en wijst erop dat een deel van de verhoogde depositie is toe te schrijven aan emissies uit bronnen op het terrein van Tata Steel. Vanwege de grotere afstand van deze meetlocaties tot die bronnen en de overheersende windrichting is deze bijdrage beduidend lager dan die in Wijk aan Zee en bij de meetlocatie Reyndersweg. Net als voor de locaties 35 en 36 kunnen ook andere bronnen hebben bijgedragen aan de depositie.

In Castricum (niet getoond in de Figuren 2.5.a tot en met 2.5.c) is voor ijzer, vanadium, lood en arseen een licht verhoogde depositie gevonden, met name tijdens de tweede meetperiode. In deze periode was de wind voornamelijk zuidwestelijk en vaak krachtig tot stormachtig. De

¹⁸ <http://www.emissieregistratie.nl/erpubliek>

depositie van mangaan, cadmium, calcium, magnesium en zink was hier echter niet verhoogd. Het is daarom niet te bepalen of de licht verhoogde depositie van ijzer, vanadium, lood en arseen is toe te schrijven aan emissies van Tata Steel.

Opvallend is de hoge depositie van magnesium, aluminium, calcium, arseen, silicium, kobalt en strontium op de locatie 37 ('IJmuiden strand'), vooral tijdens de eerste en derde meetperiode. Dit is een ander patroon dan dat is gevonden op de andere meetlocaties in het IJmondgebied. In de nabije omgeving van deze locatie lagen bouwmaterialen opgeslagen en vonden er tijdens het onderzoek bouwwerkzaamheden plaats, wat de verhoging van enkele van deze metalen zou kunnen verklaren. Ook opwaaiend zand kan hebben bijgedragen aan de verhoogde depositie van vooral silicium, magnesium, calcium en aluminium. Deze metalen zijn ook in verhoogde mate aangetroffen op de nabij het strand gelegen locatie 25.

2.4.2.1 Lood

Uit de risicobeoordeling (Mennen et al., 2021) is gebleken dat de geschatte blootstelling aan lood boven de gezondheidskundige grenswaarde ligt (voor de andere metalen is dat niet het geval). Daarom hebben we hieronder de resultaten voor lood nog eens specifiek belicht. We constateren dat:

- 1) de depositie van lood op alle meetlocaties in de IJmond structureel verhoogd is, variërend van een factor 2 tot 15 met één uitschieter van 30 (zie Figuur 2.5.c);
- 2) het verspreidingspatroon van lood een variabel beeld vertoont, zowel tussen de meetlocaties als tussen de drie meetperioden (zie Figuur 2.5.c), waarbij zowel dichtbij als verder weg van het terrein van Tata Steel verhoogde deposities zijn geconstateerd;
- 3) het bekend is dat Tata Steel lood uitstoot;
- 4) het bekend is dat lood in met name stedelijke omgeving ook voorkomt in stofdeeltjes afkomstig van (slijtage van) bouwmaterialen, vuurwerkresten, lokale industriële bronnen en 'historische' bodemverontreiniging¹⁹;
- 5) het bekend is dat tot op 2 km van het terrein van Tata Steel, met name in noordelijke richting, verhoogde gehalten aan lood in de bodem voorkomen; dit 'historische verontreinigd' bodemstof kan opwaaien en zich zo opnieuw in de omgeving verspreiden.

Hierdoor is niet goed vast te stellen wat de directe bijdrage van Tata Steel en andere bronnen is aan de depositie van lood in de IJmond.

2.4.3

Ander onderzoek samenstelling neergedaald stof in de IJmond

Recent zijn twee wetenschappelijke artikelen gepubliceerd die onderzoek naar de samenstelling en mineralogische structuur van neergedaald stof in de IJmond beschrijven (Small et al., 2020; 2021). Op 24 februari 2021 zijn op 31 locaties in de omgeving rondom het terrein van Tata Steel stofmonsters genomen en deze zijn geanalyseerd op chemische samenstelling en mineralogische structuur. De analyses zijn gedaan met behulp van een methode ontwikkeld door Small et al. (2020), waarbij gebruik wordt gemaakt van een combinatie van scanning electron

¹⁹ Een deel van deze bronnen is niet opgenomen in de Emissieregistratie.

microscopy met energy-dispersive spectrometry (SEM-EDS) en X-ray diffractie (XRD). Met dezelfde methode zijn ook stofmonsters uit verschillende materialen en processen van Tata Steel geanalyseerd. Door vergelijking van spectra van deze monsters en van de stofmonsters uit de omgeving is een indicatie verkregen van de 'bijdragen' van verschillende soorten stof afkomstig van het bedrijf en van andere bronnen aan het neergedaalde stof in de omgeving. Hoewel hierbij een heel andere analysetechniek is gebruikt dan in het RIVM-depositieonderzoek en de resultaten van beide technieken niet een-op-een zijn te vergelijken, kunnen de resultaten van Small et al. (2021) inzicht geven bij de analyse van de herkomst van neergedaald stof in de IJmond.

De omgevingsmonsters zijn genomen op 24 februari 2021 bij droog weer, na een periode van vijf droge dagen met wind uit voornamelijk zuidelijke richting. Monsters zijn genomen van oppervlakken in de openbare ruimte op 10 locaties in Wijk aan Zee en op 21 locaties verspreid over Beverwijk, Velsen-Noord en IJmuiden.

Op basis van de analyses werd geconcludeerd dat op één na alle in Wijk aan Zee genomen monsters voor 50-70% bestaan uit stof afkomstig van verschillende materialen en processen van Tata Steel (in één monster was dit percentage 20-30%). Dit stof bevat zeer hoge gehalten aan ijzer, calcium en silicium en hoge gehalten aan magnesium, aluminium, mangaan en fosfor. Ook zijn in een ander onderzoek van Small et al. (2020) vanadium (>0,5%), zink, kalium en natrium aangetoond in stofdeeltjes afkomstig van slakken en sinterprocessen uit de staalfabricage.

De monsters die zijn genomen in Beverwijk, Velsen-Noord en IJmuiden bevatten ook stof afkomstig van Tata Steel, maar in lagere percentages, die variëren van 1 tot 25%. In één monster, genomen op 1 km ten zuidoosten van het terrein van Tata Steel, was dit percentage nagenoeg 0. Daarnaast bestaan de in de IJmond genomen stofmonsters – in wisselende samenstelling – uit zand (kwarts), bodemstof, zeezout, organisch (koolstof houdend) stof en een restant dat wordt gekwalificeerd als 'urban dust': stof van bouwmaterialen, verf, slijtage van materialen, wegen en banden, vuurwerkresten, et cetera. In enkele van deze stofmonsters is ook lood aangetoond, maar er kon geen systematische relatie worden gelegd met bepaalde bronnen. Overigens is lood om verschillende redenen minder goed aan te tonen met de gebruikte methode. Dat geldt ook voor metalen als cadmium, arseen, chroom, nikkel, koper, barium en zink, die in relatief kleine hoeveelheden (vergeleken met bijvoorbeeld ijzer en calcium) kunnen voorkomen in de grondstoffen die worden gebruikt en in de stofdeeltjes die vrijkomen bij de staalfabricageprocessen. In Small et al. (2021) zijn dan ook geen gegevens vermeld van de hoeveelheden van deze metalen in de onderzochte omgevingsmonsters.

De resultaten van Small et al. (2021) bevestigen onze bevinding dat een aanzienlijk deel van het neergedaalde stof en de daarin aanwezige metalen in Wijk aan Zee afkomstig is van bronnen op het terrein van Tata Steel. Ook in andere gemeenten in de IJmond dragen de emissies van Tata Steel duidelijk bij aan de depositie van metalen.

2.4.4 *Samenvatting analyse herkomst metalen*

De bevindingen vanuit de verschillende benaderingen in de vorige paragrafen kunnen als volgt worden samengevat.

- Vanuit de literatuur is bekend dat bij de staalfabricage metalen worden uitgestoten, onder meer ijzer, mangaan, vanadium, chroom, magnesium, aluminium, calcium, nikkel, arseen, cadmium, kalium, natrium, lood, vanadium, koper en zink. De metalen komen vrij bij verschillende processen, en door verwaaiing van (grof) stofdeeltjes uit op- en overslagen van steenkool en uit opwaaien van stof door wind of rijdend materieel.
- In de bodem rondom verschillende ijzer- en staalfabrieken zijn verhoogde gehalten aan metalen gemeten, wat wijst op langdurige depositie afkomstig uit deze fabrieken. In de IJmond zijn tot op 2 km van het terrein van Tata Steel verhoogde gehalten aan cadmium, zink, ijzer, mangaan, lood en koper in de bodem gevonden.
- Volgens de Emissieregistratie is in het IJmondgebied Tata Steel de grootste bron van arseen, cadmium, chroom, koper, lood, nikkel en zink (van andere metalen worden geen emissies gerapporteerd). De emissies van andere lokale bronnen, zoals de scheepvaart op het Noordzeekanaal, weg- en treinverkeer en lokale industrie, zijn lager.
- Op de meetlocaties die dicht bij het terrein van Tata Steel liggen, is de depositie van ijzer, mangaan, vanadium, chroom, aluminium, magnesium en calcium sterk verhoogd. Daarnaast zijn op deze locaties (minder sterk) verhoogde deposities gevonden van lood, cadmium, nikkel, zink, barium, koper, kobalt en strontium.
- Ook op de andere meetlocaties zijn verhoogde deposities gevonden van ijzer, vanadium, chroom, mangaan, arseen, nikkel en een aantal andere metalen. Rekening houdend met de heersende windrichtingen en afstanden tot het terrein van Tata Steel, bevestigen deze waarnemingen – enkele uitzonderingen daargelaten – dat een aanzienlijk deel van de metalen afkomstig is van bronnen op dit terrein.
- De depositie van lood in de IJmond is structureel verhoogd. Het verspreidingspatroon van lood vertoont een variabel beeld, zowel tussen de meetlocaties als tussen de drie meetperioden. De bijdrage van Tata Steel en andere bronnen aan de looddepositie in de IJmond is daardoor niet goed te bepalen.
- De resultaten van analyses van neergedaald stof in de IJmond door Small et al. (2021) bevestigen onze bevinding dat een aanzienlijk deel van dit stof afkomstig is van bronnen op het terrein van Tata Steel, vooral in Wijk aan Zee.

Op basis van deze bevindingen onderschrijven we de conclusie uit het eerder gepubliceerde depositieonderzoek (Mennen et al., 2021) dat het aannemelijk is dat een aanmerkelijk deel van de depositie aan metalen in de IJmond afkomstig is van Tata Steel. We hebben een indicatie dat de verhoogde depositie is toe te schrijven aan stofdeeltjes die vrijkomen bij de productie van pellets, sinters en cokes, aan verwaaiing van (grof) stofdeeltjes uit op- en overslagen van erts en andere materialen, en aan het opwaaien van eerder neergedaald stof van het

bedrijfsterrein. We kunnen niet uitsluiten dat ook emissies van de bedrijven Harsco Metals en Pelt & Hooykaas, die op het terrein van Tata Steel liggen, hebben bijgedragen.

Het is bekend dat bepaalde metalen ook kunnen vrijkomen uit andere bronnen. Te denken valt aan andere industriële bronnen, scheepvaart, trein- en wegverkeer, afvalverbranding en elektriciteitsopwekking en natuurlijke bronnen als opwaaierend bodemstof en zand. Stofdeeltjes afkomstig van bouwmaterialen, vuurwerkresten en 'historische' bodemverontreiniging kunnen eveneens bijdragen aan de depositie. Op grond van onze analyses naar de herkomst van de depositie van metalen (in grof stof) kan geen onderscheid worden gemaakt in de afzonderlijke bijdragen van deze verschillende bronnen.

3 Verspreidingsberekeningen van concentraties in de IJmond op basis van emissies uit de Emissieregistratie

Auteurs:

S. Teeuwisse, RIVM

R. Hoogerbrugge, RIVM

3.1 Inleiding

De luchtkwaliteitsmetingen op de meetstations in de IJmondregio geven een goed beeld van de totale jaargemiddelde concentratie van een groot aantal stoffen op de betreffende locaties (onder andere De Jonge, 2019). Een aantal meetpunten staat in de leefomgeving, zoals de stations Wijk aan Zee en IJmuiden Kanaaldijk. De metingen geven echter geen inzicht in welke bron in welke mate bijdraagt aan de totale luchtkwaliteit. Wel worden in de datarapporten van GGD Amsterdam pollutierozen weergegeven die laten zien dat verhoogde concentraties worden gemeten wanneer de wind vanuit Tata Steel naar het meetstation waait (onder andere De Jonge 2018; De Jonge 2019). Met modelberekeningen is het in principe wel mogelijk om de bijdrage van individuele bronnen aan de luchtkwaliteit in beeld te brengen. Voorwaarde hiervoor is dat er voldoende kennis is over gegevens van lokale bronnen, zoals hoeveel van een stof wordt uitgestoten, de hoogte waarop de uitstoot plaatsvindt en het ligging van het emissiepunt.

3.2 Opzet en uitvoering

Om de onderzoeksvraag 'Kan met modelberekeningen worden herleid welke bronnen verantwoordelijk zijn voor stoffen in de lucht, met name tijdens ervaren ongezonde dagen of overlastsituaties?' te kunnen beantwoorden, is voor een stapsgewijze benadering gekozen. In het onderzoek is gebruikgemaakt van informatie die al beschikbaar was en zijn geen aanvullende emissie- of luchtkwaliteitsmetingen of broninventarisaties verricht.

De informatie uit de Emissieregistratie is het gebruikelijke vertrekpunt voor luchtkwaliteitsmodelberekeningen. De elektronische milieujaarverslagen (e-MJV) die Tata Steel jaarlijks ten behoeve van de Emissieregistratie opstelt, geven gedetailleerde informatie over de uitstoot van een groot aantal luchtverontreinigende stoffen op het Tata Steelterrein. Daarnaast geeft de Emissieregistratie inzicht in emissies van overige bronnen in het gebied.

Door modelberekeningen met luchtkwaliteitsmetingen te vergelijken, kan een beeld worden gevormd van hoe volledig de broninformatie (emissies en aanvullende gegevens over de uitstoot, zoals locatie en uitstoothoogte) bekend is. Dit onder de aanname dat emissies van Tata Steel de belangrijkste oorzaken zijn voor de verschillen tussen de gemeten concentraties op de industriële meetstations in de directe omgeving van Tata Steel en de achtergrondconcentratie. De hypothese is dat als grote afwijkingen worden geconstateerd, dit een aanwijzing is dat de kennis over de bronnen (op onderdelen) in de IJmond niet

compleet is. Een voldoende goede overeenkomst tussen berekende en gemeten concentraties versterkt het vertrouwen in de aanname dat de beschouwde bronnen verantwoordelijk zijn voor de concentratiebijdrage op de stations. Dit geeft een goed vertrekpunt om een inschatting te maken welke bronnen in welke mate bijdragen aan concentraties van stoffen in de lucht.

In de volgende paragrafen wordt toegelicht welke data zijn gebruikt, hoe modelberekeningen en metingen bij elkaar zijn gebracht en welke uitgangspunten hierbij zijn gehanteerd.

De eerste stap van het onderzoek bestond uit een inventarisatie van lokale oorzaken die een wezenlijke/relevante invloed op de luchtkwaliteit in de IJmondregio kunnen hebben, en een overzicht van de stoffen waarvan de concentraties in de lucht worden gemeten. De Emissieregistratie is gebruikt voor de inventarisatie van de lokale bronnen. Uit de brongegevens van de Emissieregistratie blijkt dat Tata Steel de belangrijkste bron van uitstoot van fijnstof, meerdere metalen en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK) in de regio is. De gemeten concentraties op de meetstations van het luchtmeetnet zijn vergeleken met de gemodelleerde concentraties van de stoffen.

In de tweede stap is de gemeten en gemodelleerde bijdrage van Tata Steel aan de luchtkwaliteit in de IJmondregio op jaargemiddeld concentratieniveau voor meerdere jaren bepaald en met elkaar vergeleken. Op basis van deze tweede stap wordt vastgesteld of verdere vervolgstappen haalbaar zijn om de onderzoeksvraag te beantwoorden.

Bij een beperkte overeenkomst tussen meten en berekenen op jaargemiddeld niveau wordt het herleiden van bronnen via de gehanteerde aanpak lastig. De uitkomsten zijn dan te onzeker om wetenschappelijk verantwoorde conclusies aan te verbinden.

3.2.1 *Emissieregistratie data e-MJV als basis*

Tata Steel is verplicht jaarlijks een elektronisch milieujaarverslag in te dienen. In een elektronisch milieujaarverslag (e-MJV) geven bedrijven onder andere aan welke emissies in het afgelopen jaar hebben plaatsgevonden (zie ook kader Toelichting op Emissieregistratie). Naast de uitstoot per jaar is in het e-MJV ook per individuele bron informatie opgenomen over waar de emissie plaatsvindt en andere bron-gerelateerde informatie, zoals uitstoothoogte en warmte-inhoud.

Toelichting op Emissieregistratie

In de Emissieregistratie zijn de bedrijfsemissies gebaseerd op wat bedrijven rapporteren via het elektronisch milieujaarverslag (e-MJV; formele naam: integraal PRTR Pollutant Release and Transfer Register - verslag*). Een groot aantal bedrijven is verplicht jaarlijks zo'n milieujaarverslag in te dienen. Het betreft hier bedrijven die vallen onder de zogeheten reikwijdte van de E-PRTR, die definieert welke bedrijfsactiviteiten moeten rapporteren. Verder gelden drempelwaarden voor emissiestoffen: wanneer de emissiejaarvrucht de betreffende drempel overschrijdt, moet deze wettelijk verplicht gerapporteerd worden. Deze gerapporteerde emissiedata worden vervolgens gecontroleerd en geaccordeerd door het bevoegd gezag. Voor Tata Steel is dat de provincie Noord-Holland die de taken heeft gedelegeerd aan de Omgevingsdienst Noordzeekanaalgebied. De Emissieregistratie voert ook een controle uit op de data in de e-MJVs en voert waar nodig correcties door. Na alle controle en verificatie worden de emissiegegevens opgenomen in de Emissieregistratie.

* wetten.nl - [Regeling - Uitvoeringsregeling EG-verordening PRTR en PRTR-protocol - BWBR0023585 \(overheid.nl\)](#)

De luchtkwaliteitsmodelberekeningen die in voorliggend onderzoek zijn uitgevoerd zijn gebaseerd op informatie uit de e-MJV's over de jaren 2012 tot en met 2020. Voor het opstellen van een e-MJV is de Leidraad Milieujaarverslagen van kracht met aanwijzingen, praktische tips en hulpmiddelen voor het op uniforme wijze opstellen (door bedrijven) en beoordelen (door bevoegde gezagen) van milieujaarverslagen. Het doel is hiermee een zo'n goed mogelijk beeld te krijgen van de uitstoot van een bedrijf. Dit wil echter niet zeggen dat alle mogelijke emissies op het Tata Steelterrein zijn opgenomen in het e-MJV. Zo maken de emissies van de bedrijven Harsco Metals en Pelt & Hooykaas geen onderdeel uit van het e-MJV dat door Tata Steel wordt opgesteld. Deze bedrijven hoeven niet jaarlijks de emissies aan te leveren en deze zijn daardoor niet bekend. Ook is onbekend of alle emissies uit incidenten volledig in beeld zijn. In de milieujaarverslagen is door Tata Steel, ten opzichte van de emissie bij reguliere bedrijfsvoering, een zeer beperkte emissie door incidenten opgenomen. Het ontbreken van informatie over de uitstoot van Harsco Metals en Pelt & Hooykaas en het mogelijk niet meenemen van alle emissies tijdens incidenten maakt dat de aangeleverde informatie een onderschatting is van de feitelijke emissies naar de lucht van het Tata Steelterrein. De mate van onderschatting is echter niet aan te geven.

3.2.2 *Selectie van stoffen, ligging emissiepunten en rekenjaren*

In het onderzoek zijn stoffen geselecteerd waarvan bekend is dat ze een relatie kunnen hebben met de staalindustrie, waarvan de uitstootgegevens bekend waren en waarvan de stoffen op meerdere meetstations worden gemeten. De volgende stoffen zijn onderzocht:

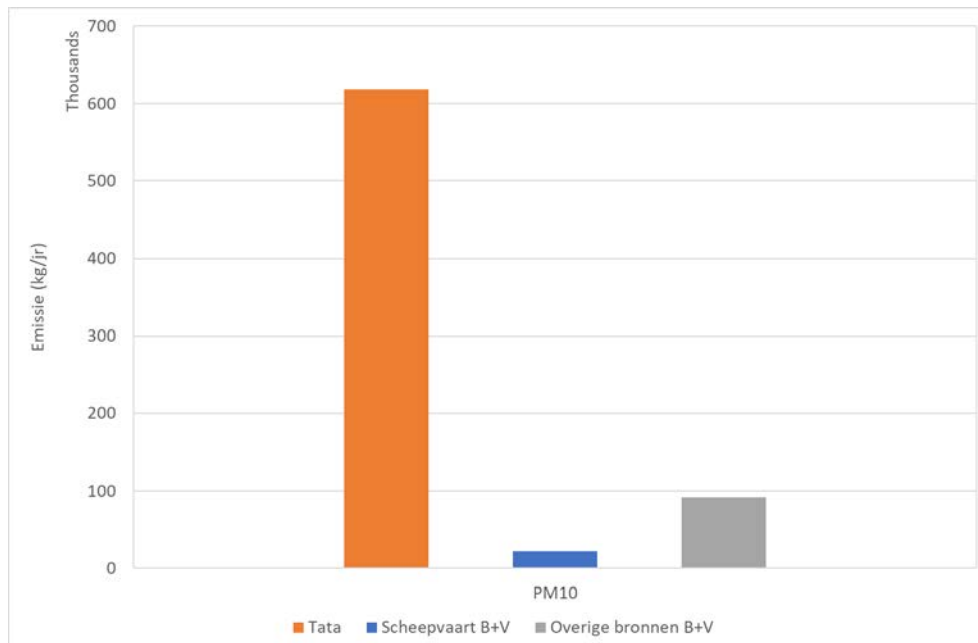
- fijnstof: PM₁₀;
- metalen: lood, koper, cadmium, chroom, nikkel en vanadium;
- PAK: benzo[a]pyreen (BaP), indeno(1,2,3-cd)pyreen (IND) en benzo[g,h,i]peryleen (BGP).

In de selectie van stoffen ontbreken onder meer ijzer en mangaan; stoffen die, zoals uit hoofdstuk 2 blijkt, sterk verbonden zijn aan de staalindustrie. De reden hiervoor is dat het voor deze stoffen niet verplicht is om de uitstoot op te nemen in het e-MJV.

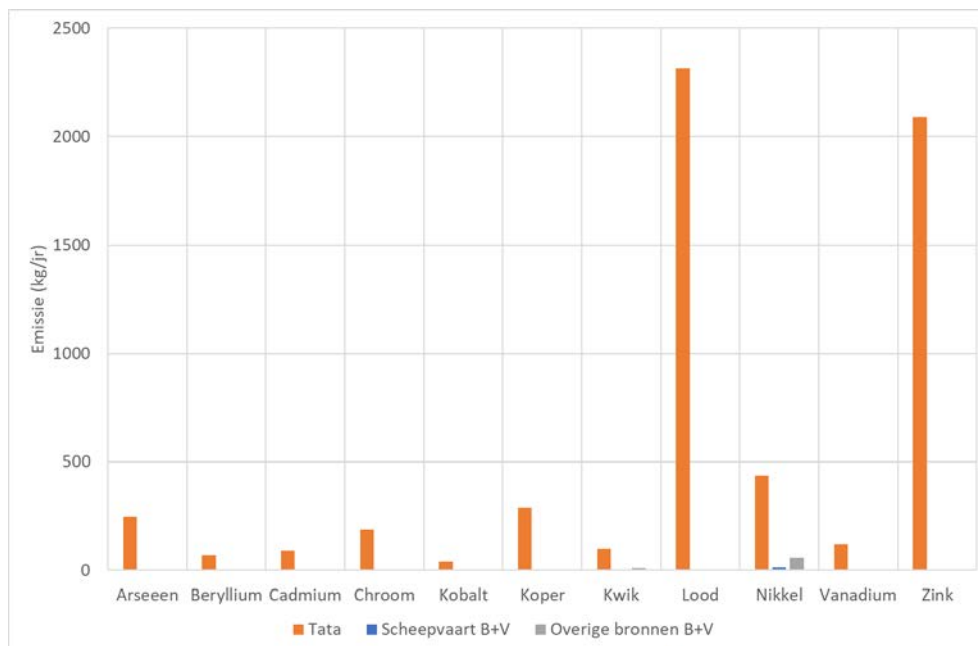
In de volgende paragrafen wordt in meer detail ingegaan op de gehanteerde emissies en ligging van de emissiepunten.

3.2.2.1

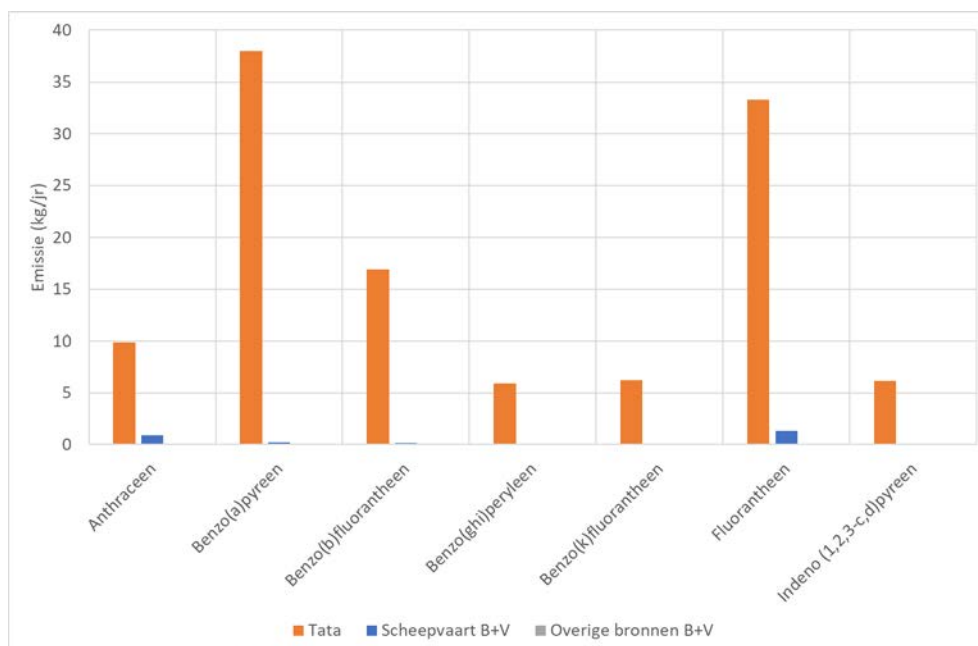
Emissies Tata Steel in relatie tot andere bronnen in de regio
 Bij de vergelijking van gemodelleerde meetdata met berekeningen is aangenomen dat Tata Steel de dominante bron in de IJmondregio is voor de beschouwde stoffen. Dit blijkt onder meer uit de analyse van de emissiegegevens van de Emissieregistratie. Hierbij is de uitstoot van metalen en PAK door andere bronnen in de gemeenten Beverwijk en Velsen vergeleken met de uitstoot door Tata Steel. Het resultaat van deze vergelijking is voor het jaar 2018 weergegeven in Figuren 3.1.a tot en met 3.1.c. Uit de figuren blijkt dat de uitstoot van fijnstof, metalen en PAK door andere bronnen in de gemeenten Beverwijk en Velsen vele malen kleiner is dan de uitstoot door Tata Steel. Op basis hiervan nemen we aan dat gemeten concentratiebijdragen op de industriële stations voor de onderzochte stoffen worden veroorzaakt door Tata Steel.



Figuur 3.1.a Uitstoot van PM₁₀ in 2018 door Tata Steel en door andere bronnen in de gemeenten Beverwijk en Velsen



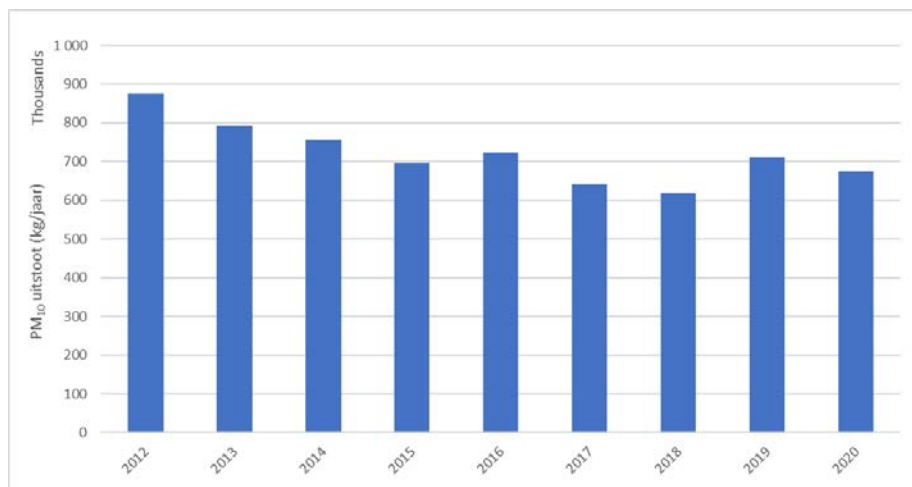
Figuur 3.1.b Uitstoot van metalen in 2018 door Tata Steel en door andere bronnen in de gemeenten Beverwijk en Velsen



Figuur 3.1.c Uitstoot van PAK in 2018 door Tata Steel en door andere bronnen in de gemeenten Beverwijk en Velsen

3.2.2.2 PM₁₀-emissiepunten en -emissies

De uitstoot van PM₁₀ door Tata Steel voor de jaren 2012 tot en met 2020 is weergegeven in Figuur 3.2. De totale PM₁₀-uitstoot varieert de laatste jaren tussen de circa 600 en ruim 700 ton.



Figuur 3.2 Totale PM₁₀-uitstoot (kg/jaar) door Tata Steel in 2012 tot en met 2020 zoals gerapporteerd in de e-MJV's

PM₁₀-emissies op het terrein van Tata Steel zijn verdeeld over emissies door het (productie)proces en emissies door wegen en open bronnen. Van de totale PM₁₀-emissie in 2018 is circa 60% afkomstig van procesactiviteiten, 1% van verbrandingsprocessen en 39% van wegen²⁰ en open bronnen. De ligging van de emissiepunten is weergegeven in Figuur 3.3.

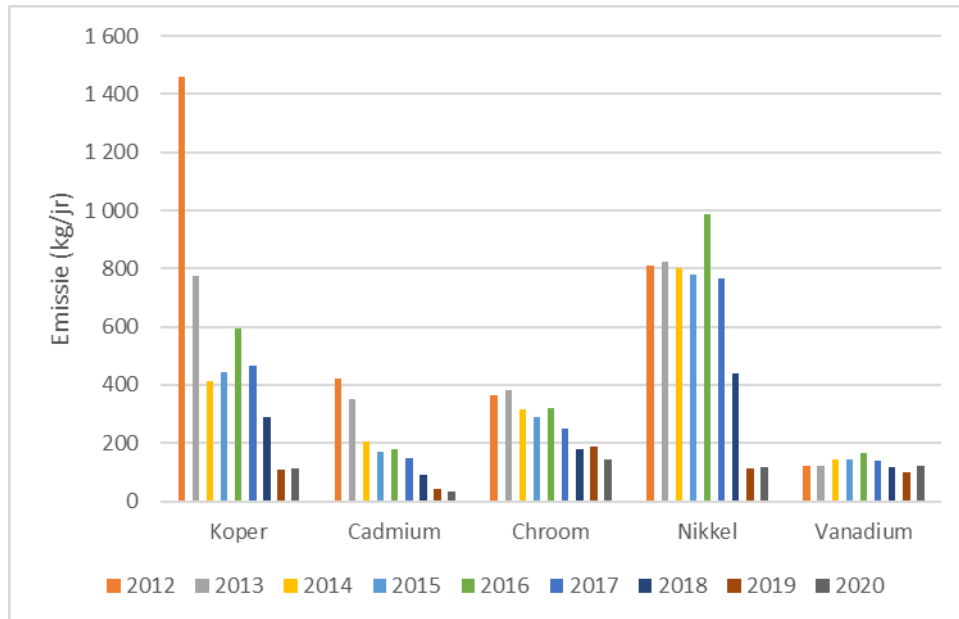


Figuur 3.3 Ligging emissiepunten PM₁₀ door procesactiviteiten en door wegen en open bronnen voor het jaar 2018. De meetstations van het luchtmeetnet zijn met een gele + aangegeven. Achtergrond: luchtfoto Actueel Ortho HR (Kadaster, www.pdok.nl, 2021), Tata Steelterrein (IBIS, 2020)

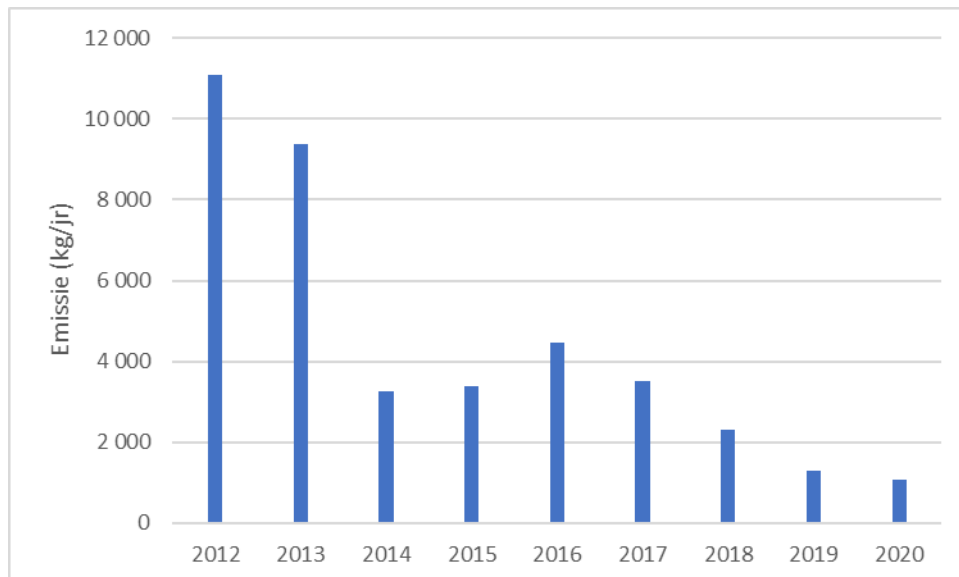
²⁰ Met wegen wordt vooral het rijden van voertuigen over onverharde wegen bedoeld. De wegen zijn als puntbronnen in de berekeningen opgenomen. Conform de opgave in het e-MJV.

3.2.2.3 Metalen-emissiepunten en -emissies

De uitstoot van de metalen (lood, koper, cadmium, chroom, nikkel, vanadium) voor de jaren 2012 tot en met 2020 is weergegeven in de Figuren 3.4 en 3.5.



Figuur 3.4 Totale uitstoot (kg/jaar) van koper, cadmium, chroom, nikkel en vanadium door Tata Steel in 2012 tot en met 2020



Figuur 3.5 Totale uitstoot (kg/jaar) van lood door Tata Steel in 2012 tot en met 2020 zoals gerapporteerd in de e-MJV's

Volgens de ontvangen informatie worden de metalen alleen uitgestoten bij het productieproces en vindt de uitstoot plaats bij circa 15 emissiepunten (zie Figuur 3.6). In het e-MJV is de uitstoot van fijnstof van open bronnen opgenomen, maar niet de hoeveelheden metalen hierin. De mogelijke emissie van metalen door open bronnen is dus niet meegenomen in de verspreidingsberekeningen. De

uitwerphoogte van de bronnen waar emissies van metalen is opgegeven varieert tussen de 18 en 150 meter.

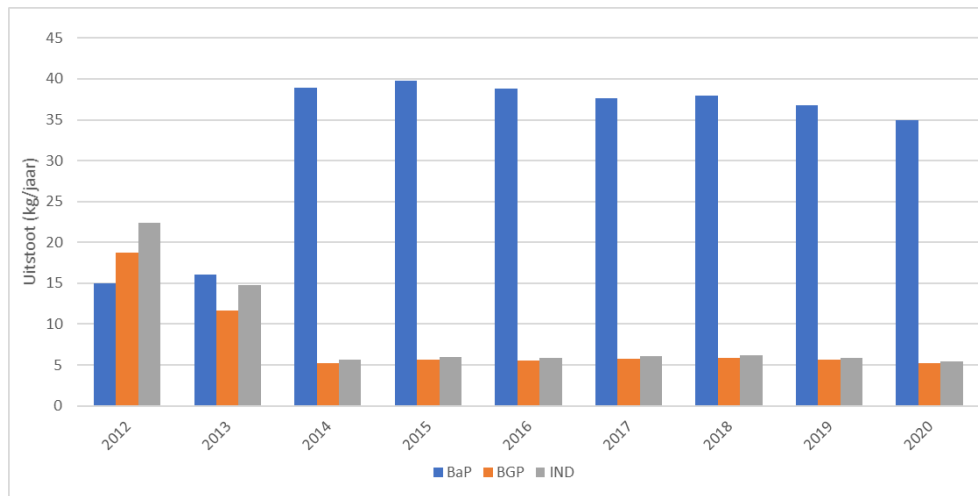


Figuur 3.6 Ligging van emissiepunten waar één of meerdere soorten metalen worden uitgestoten. Achtergrond: luchtfoto Actueel Ortho HR (Kadaster, www.pdok.nl, 2021), Tata Steelterrein (IBIS, 2020)

3.2.2.4

PAK-emissiepunten en -emissies

De uitstoot van een aantal PAK (BaP = benzo[a]pyreen, IND = indeno(123-cd)pyreen, en BGP = benzo[ghi]peryleen) voor de jaren 2012 tot en met 2020 is weergegeven in Figuur 3.7. Uit de figuur blijkt dat de BaP-emissies vanaf 2014 meer dan twee keer zo hoog zijn in dan in 2012 en 2013. De emissies van IND en BGP laten een tegenovergesteld beeld zien. Daar zijn de emissies in 2014, en later, juist lager dan in de jaren 2012 en 2013. De oorzaken hiervan zijn niet onderzocht. De emissiegegevens zijn overgenomen zoals opgenomen in de e-MJV's.



Figuur 3.7 Totale uitstoot (kg/jaar) van PAK (BaP, IND en BGP) door Tata Steel in 2012 tot en met 2020 zoals gerapporteerd in de e-MJV's

In de aangeleverde informatie was per proces de uitstoot gespecificeerd. Echter, voor enkele processen was voor de jaren 2012-2018 wel een emissie opgegeven, maar niet de locatie en overige bronkenmerken. Vanwege het ontbreken van deze broninformatie konden niet alle emissies worden meegenomen in de verspreidingsberekeningen. Voor BaP ontbrak voor circa 15% de specifieke broninformatie en deze kan dus niet worden toebedeeld aan de invoer voor het verspreidingsmodel. Voor IND kon circa 5% van de emissie niet aan locatie worden toebedeeld en deze is daardoor niet meegenomen in de modelberekeningen. Alle opgegeven BGP-emissies konden wel worden toegekend aan bronnen waarvan de bronkenmerken beschikbaar waren en zijn volledig meegenomen in de verspreidingsberekeningen. Voor de jaren 2019 en 2020 zijn alle opgegeven emissies in de modellering meegenomen.

Het aantal locaties waarvoor de emissiegegevens beschikbaar waren varieerde van drie (BGP) tot zes (BaP en IND). De ligging van de PAK-emissiepunten is weergegeven in Figuur 3.8.



Figuur 3.8 Ligging van emissiepunten waar één of meerdere soorten PAK worden uitgestoten. Achtergrond: luchtfoto Actueel Ortho HR (Kadaster, www.pdok.nl, 2021), Tata Steelterrein (IBIS, 2020)

3.2.3 Model verspreidingsberekeningen

De berekening van de concentratiebijdragen van Tata Steel aan de concentraties op de meetlocaties in de IJmondregio is uitgevoerd met het model Operationele Prioritaire Stoffen (OPS) van het RIVM.²¹ Het model berekent aan de hand van de emissiesterkte, de uitstoothoogte, de warmte-inhoud en de ligging van de bron(nen) de jaargemiddelde concentratiebijdrage van de betreffende bron(nen). Hierbij maakt het model gebruik van meteorologische gegevens voor de locatie. Voor elke combinatie van rekenjaar en stof is een aparte berekening uitgevoerd. Per rekenjaar is gerekend met de meteorologie behorende bij dat jaar.

De keuze voor het OPS-model voor de verspreidingsberekeningen past goed binnen het experimentele karakter van het onderzoek. Met het OPS-model kon in korte tijd een groot aantal berekeningen worden uitgevoerd. Dit is gezien de keuze van de stoffen en het aantal jaren wenselijk. Daarnaast konden de gegevens uit de e-MJV zonder bewerkingen worden overgenomen in het OPS-model.

3.2.4 Selectie meetstations luchtkwaliteit

In het onderzoek zijn de meetresultaten van vier luchtkwaliteitsmeetstations in de IJmondregio gebruikt en twee meetstations die op grotere afstand van het Tata Steelterrein (circa 20 km) liggen (zie Tabel 3.1 en Figuur 3.9). De meetlocaties in de IJmondregio zijn industriestations; dat wil zeggen dat de luchtkwaliteit voor een belangrijk deel wordt bepaald door de uitstoot van de industrie.²² De achtergrondstations liggen op locaties waar weinig

²¹ OPS versie W-5.0.1.0

²² <https://www.luchtmeetnet.nl/meetpunten>

mensen wonen en er geen drukke wegen, havens of industriegebieden in de buurt zijn.

Tabel 3.1 Ligging van de meetlocaties gebruikt voor de vergelijking van metingen en modelberekeningen

Station (nr)	Afkorting	x-coord	y-coord	Type
Wijk aan Zee - Banjaert (553)	WAZ	101783	500978	Industrie
Beverwijk West (570)	BEV	104274	500438	Industrie
Reyndersweg (573)	REY	100107	499313	Industrie
IJmuiden Kanaaldijk (551)	IJM	101628	497553	Industrie
Wijk aan Zee - Bosweg (557)	BOS	101483	500547	Industrie
Staalstraat (572)	STA	103466	498790	Industrie
De Rijp (556)	RIJP	119365	508579	Achtergrond
De Zilk (444)	ZILK	95216	479092	Achtergrond



Figuur 3.9 Ligging van de industriële en andere meetlocaties gebruikt voor de vergelijking luchtkwaliteitsmetingen en modelberekeningen (in blauw de afbakening van het Tata Steelterrein). Achtergrond: luchtfoto Actueel Ortho HR (Kadaster, www.pdok.nl, 2021), Tata Steelterrein (IBIS, 2020)

3.2.5

Berekening bijdrage

De op metingen gebaseerde bijdrage van Tata Steel aan de luchtkwaliteit op de industriestations is berekend door, per jaar, de concentraties gemeten op de achtergrondstations af te trekken van de gemeten concentraties op de industriestations. De methodiek wordt in de literatuur ook wel de Lenschow-methode genoemd (Pandolfi, 2020) en sluit aan bij de methodiek die in het rapport 'Evaluatie metingen 2011-2013 PM₁₀, PM_{2,5}, PAK en zware metalen in de IJmond' (De Jonge,

2015a) voor PM₁₀ is gehanteerd. Deze benadering kan tot een onderschatting leiden van de op metingen gebaseerde industriële bijdrage (Thunis et al., 2019) doordat Tata Steel ook, in geringe mate, bijdraagt aan de concentraties op de achtergrondconcentraties. Deze mogelijke onderschatting is naar schatting voldoende klein ten opzichte van de concentratiebijdrage op het industriestations om niet mee te nemen in de analyses.

Voor het uitvoeren van de analyses zijn de jaargemiddelde concentraties zoals gerapporteerd door de GGD Amsterdam²³ in de jaarlijkse datarapporten en door het RIVM (voor het station De Zilk) op luchtmeetnet²⁴ gebruikt. Vanwege de beschikbaarheid van de benodigde gegevens (metingen en brongegevens) zijn in het onderzoek de meetresultaten van de jaren 2012-2020 beschouwd.

Niet alle stoffen zijn over de hele periode 2012-2020 op alle meetlocaties (industriële of achtergrond) gemeten. Hierdoor is de uiteindelijk set met gemeten concentratiebijdragen beperkt en is deze voor de diverse stoffen verschillend.

De gemeten concentraties voor de verschillende stations en jaren zijn opgenomen in paragraaf 3.3. In die paragraaf worden de gemeten en berekende concentratiebijdragen met elkaar vergeleken.

3.3 Resultaten: berekende en gemeten concentraties

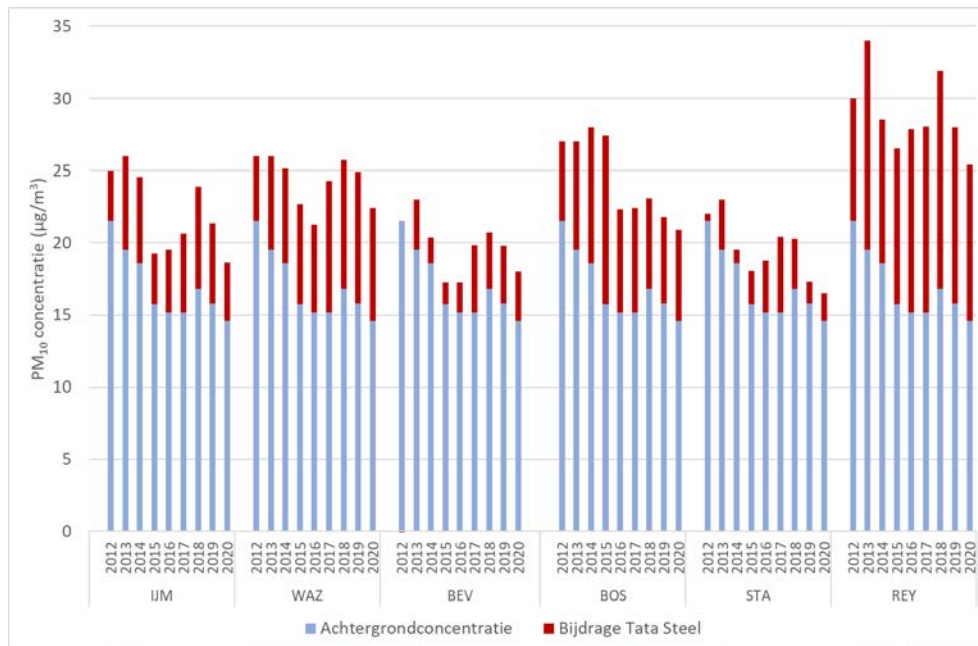
Deze paragraaf beschrijft de resultaten van de vergelijking tussen de berekende en gemeten concentratiebijdragen. Per soort meting (fijnstof, metalen en PAK) worden de resultaten besproken.

3.3.1 Fijnstof

Figuur 3.10 laat de opbouw van de jaargemiddelde fijnstofconcentratie zien op de meetstations in de IJmondregio, uitgesplitst naar de achtergrondconcentratie en de concentratiebijdrage door Tata Steel. In de figuur is de achtergrondconcentratie de gemiddelde concentratie op de achtergrondconcentratiestations De Rijk en De Zilk. De bijdrage van Tata Steel is het verschil tussen de concentratie gemeten op het betreffende station en de genoemde achtergrondconcentratie.

²³ De stations Wijk aan Zee, Beverwijk west, Reyndersweg, IJmuiden Kanaaldijk, Staalstraat en De Rijk zijn in beheer van de GGD Amsterdam.

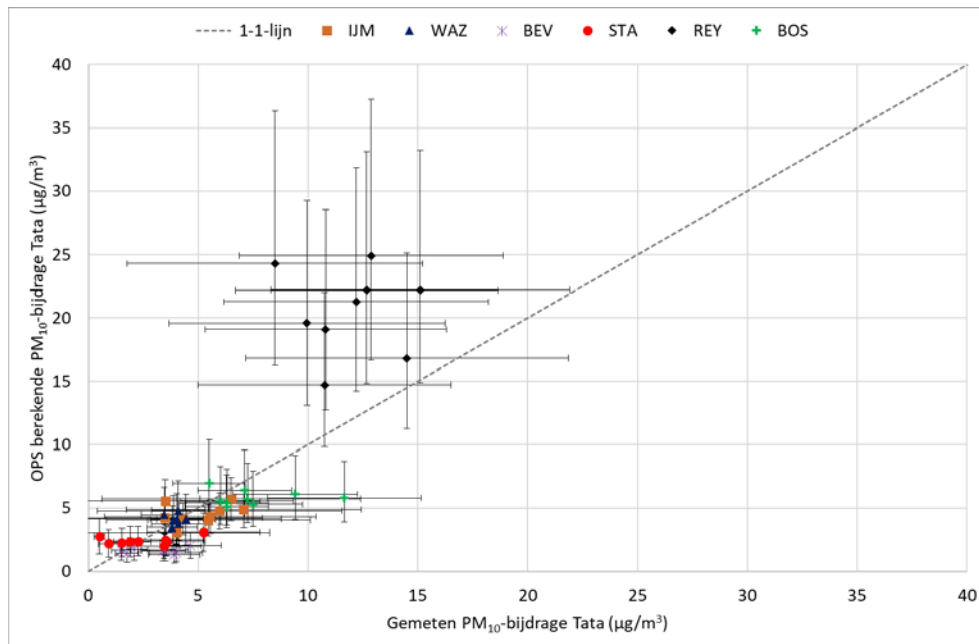
²⁴ De website www.luchtmeetnet.nl is sinds 2014 beschikbaar en is een samenwerking van het RIVM, GGD Amsterdam, DCMR Milieudienst Rijnmond, Regionale Uitvoeringsdienst Zuid-Limburg (RUDZL), Omgevingsdienst Midden- en West-Brabant (OMWB) en Omgevingsdienst regio Arnhem (ODRA). De website toont van de meetnetten alle gemeten stoffen per meetpunt.



Figuur 3.10 Achtergrondconcentratie en concentratiebijdrage door Tata Steel aan de jaargemiddelde PM_{10} -concentraties op de meetstations in de IJmondregio voor de jaren 2012 t/m 2020

Figuur 3.11 toont de berekende jaargemiddelde PM_{10} -concentratiebijdragen van Tata Steel uitgezet tegen de gemeten jaargemiddelde PM_{10} -concentratiebijdragen voor 2012-2020. Uit de figuur valt op te maken dat de overeenkomst tussen de gemeten en berekende bijdrage binnen de geschatte onzekerheidsmarges goed is, met uitzondering van het station Reyndersweg. Er lijkt sprake van een lichte systematische onderschatting van de berekende jaargemiddelde PM_{10} -concentratiebijdrage voor de stations IJmuiden, Wijk aan Zee, Beverwijk en Staalstraat. In het verlengde daarvan valt op dat in de gemeten concentratiebijdrage meer variatie tussen de jaren waar te nemen is dan in de berekende concentratiebijdragen.

Het station Reyndersweg valt op met aanzienlijk hogere berekende dan gemeten concentratiebijdragen. Dicht bij het station Reyndersweg, dat bijna op de rand van het Tata Steelterrein staat, bevindt zich op- en overslag van stofgevoelige materialen. De berekening van de concentratiebijdrage is hierdoor erg gevoelig voor de ligging van de emissiepunten. Een kleine variatie in de voor modellering bepaalde emissiepunten (variatie in ligging of emissiesterkte/kenmerken) kan een grote invloed hebben op de berekende concentratiebijdrage. Daardoor is de onzekerheid in de berekende concentratiebijdrage op de meetlocatie Reyndersweg relatief groot.



Figuur 3.11 Berekende versus gemeten PM_{10} -concentratiebijdrage ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) door Tata Steel (2012-2020)

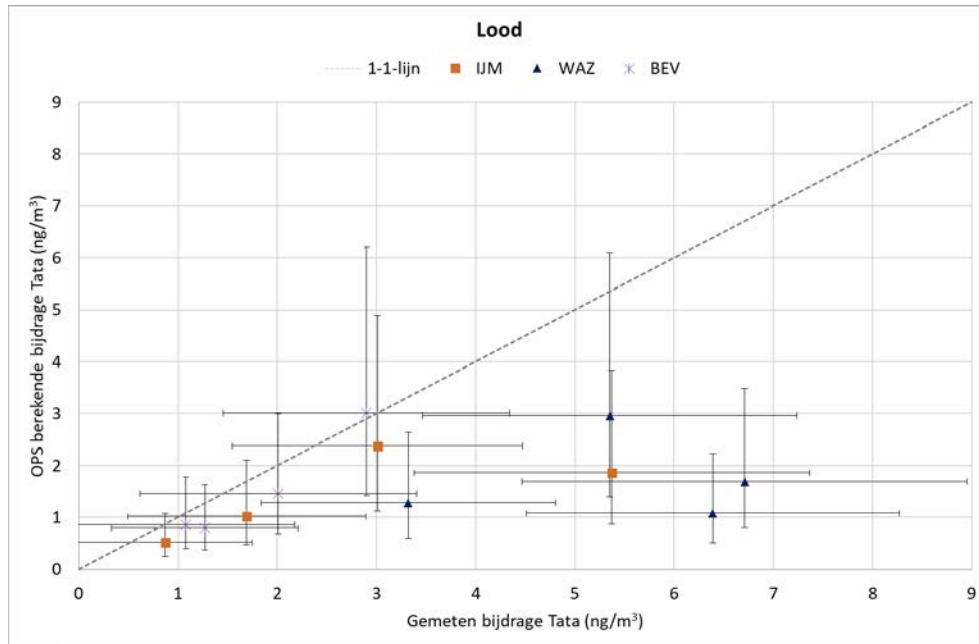
Ondanks de geconstateerde verschillen tussen de gemeten en gemodelleerde jaargemiddelde PM_{10} -concentratiebijdragen kan worden geconcludeerd dat de vergelijking van gemeten en berekende concentratiebijdragen voldoende goed is om dezelfde methodiek te hanteren voor de andere stoffen. Wanneer de broninformatie voor die stoffen op orde is zou het mogelijk moeten zijn om uitspraken te doen over specifieke bronbijdragen.

3.3.2 Metalen

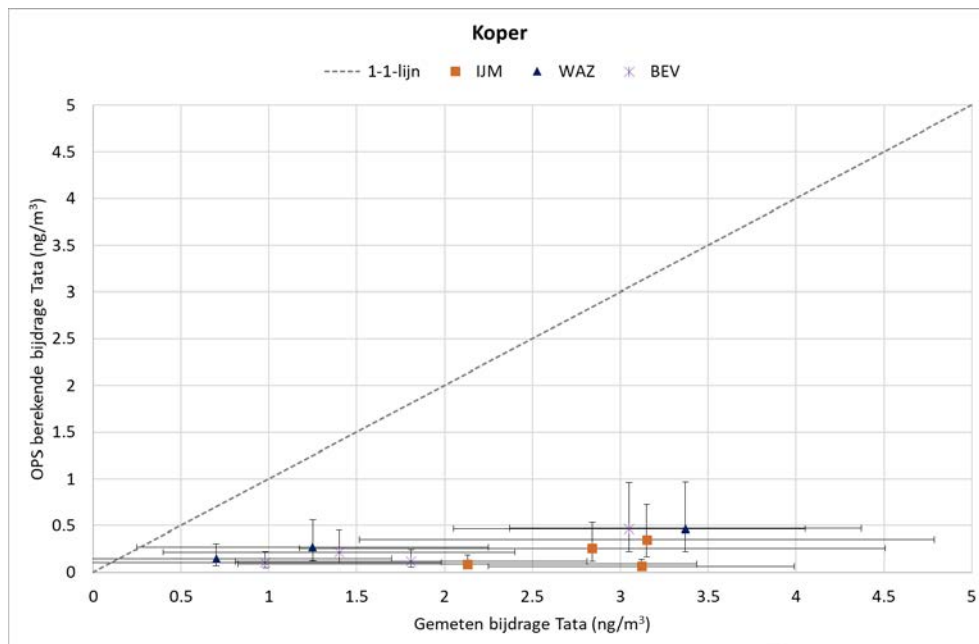
Net als bij fijnstof is de bijdrage van Tata Steel aan de concentraties metalen berekend door de jaargemiddelde achtergrondconcentratie af te trekken van gemeten jaargemiddelde concentratie op de industriestations. Anders dan bij fijnstof waren alleen voor het station De Rijp achtergrondconcentraties van metalen beschikbaar. Op het station De Zilk worden namelijk geen metalen gemeten. Daar de metalen sinds 2017 op het station De Rijp worden gemeten, zijn voor vier jaar (2017 t/m 2020) data beschikbaar voor de vergelijking van gemeten en berekende concentratiebijdragen door Tata Steel. Het meten van metalen op het station Staalstraat is in 2017 gestopt.

Hierdoor komen in de analyse de stations Reyndersweg, Bosweg en Staalstraat niet voor.

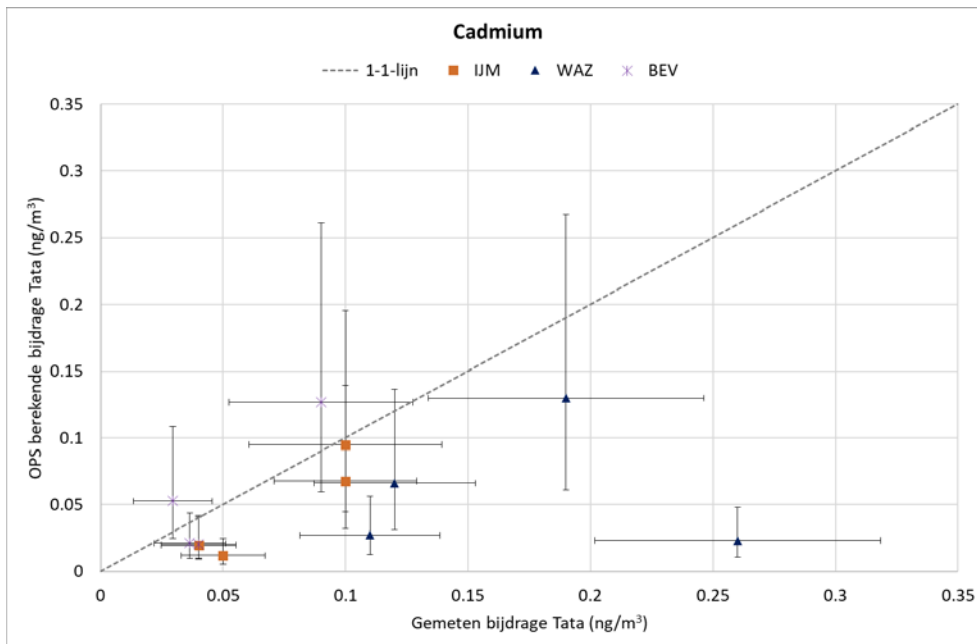
De resultaten voor de zes onderzochte metalen staan in de Figuren 3.12.a tot en met 3.12.f. Het bereik van de assen is afgestemd op de gemeten en berekende bijdragen.



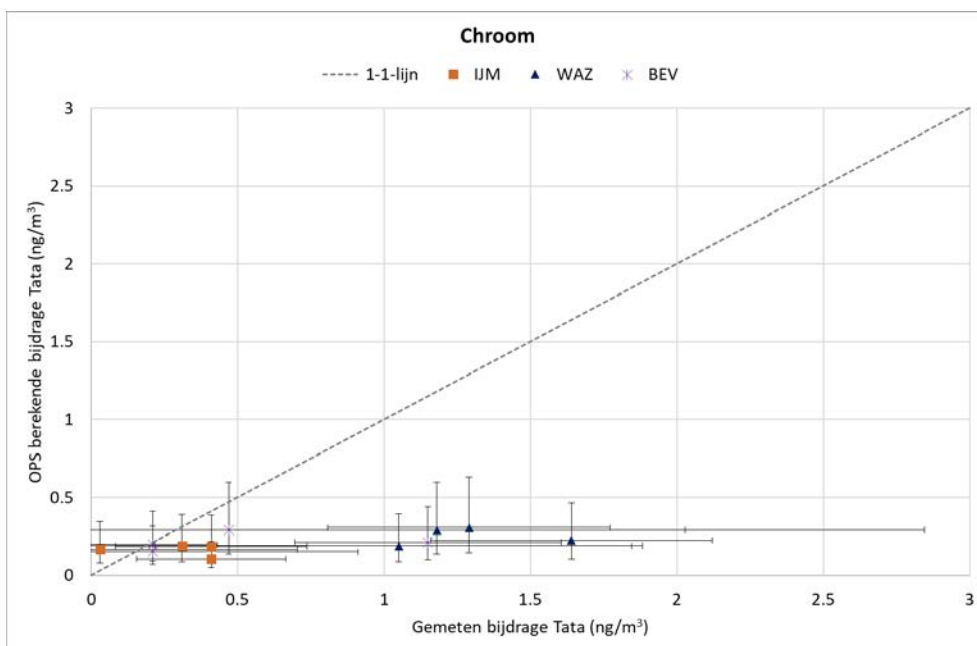
Figuur 3.12.a Berekende versus gemeten loodconcentratiebijdrage (ng/m³) door Tata Steel (2017-2020)



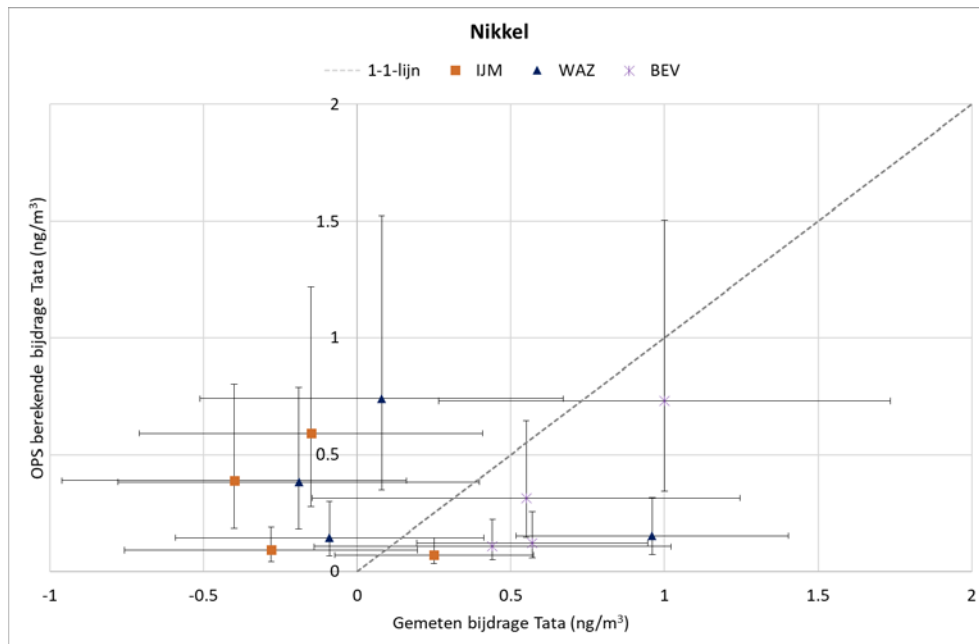
Figuur 3.12.b Berekende versus gemeten koperconcentratiebijdrage (ng/m³) door Tata Steel (2017-2020)



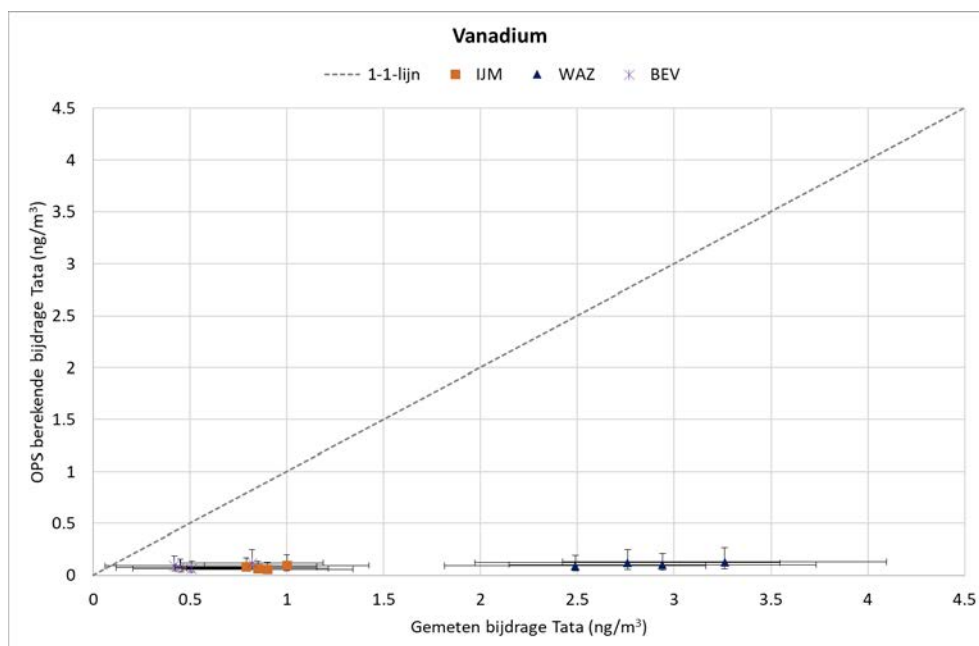
Figuur 3.12.c Berekende versus gemeten cadmiumconcentratiebijdrage (ng/m³) door Tata Steel (2017-2020)



Figuur 3.12.d Berekende versus gemeten chroomconcentratiebijdrage (ng/m³) door Tata Steel (2017-2020)



Figuur 3.12.e Berekende versus gemeten nikkelconcentratiebijdrage (ng/m³) door Tata Steel (2017-2020). Zie tekst voor een toelichting op de negatieve waarden



Figuur 3.12.f Berekende versus gemeten vanadiumconcentratiebijdrage (ng/m³) door Tata Steel (2017-2020)

Uit de analyse van de door het luchtmeetnet gemeten concentraties voor nikkel en chroom (zie hoofdstuk 4) blijkt dat deze gemeten concentraties in De Rijp niet of nauwelijks lager zijn dan op de industriestations. De uitschieters in de gemeten nikkelconcentratie (zie Figuur 4.2) kunnen duiden op vervuiling van het filter of op een (sporadische) lokale bron. Voor enkele jaren en stations is de gemeten nikkelconcentratie op het station De Rijp hoger dan de concentraties gemeten op de industriële stations. Door de gehanteerde methodiek

leidt dit tot een negatieve 'gemeten' bijdrage door Tata Steel. Dit is een artefact en zal in de praktijk niet voorkomen. Bij de analyse van de resultaten wordt nikkel om deze reden niet meegenomen. Voor chroom is het onderscheid in de gemeten concentraties op de verschillende stations beperkt. Dit maakt de bepaling van de gemeten concentratiebijdrage voor chroom onzekerder dan voor de stoffen lood, cadmium en vanadium, waarbij de achtergrondconcentratie minder dan de helft van de totale gemeten concentratie op de industriestations is.

Ondanks deze beperkingen kan worden geconcludeerd dat de berekende metaalconcentratiebijdragen lager zijn dan de gemeten concentratiebijdragen. Bij metalen als koper en vanadium is de onderschatting groter dan bij bijvoorbeeld lood. Uit de analyse van de emissiebronnen in de omgeving (zie Figuur 3.1.b) zijn er naar verwachting geen andere emissiebronnen aanwezig die een substantiële bijdrage aan de concentraties op de industriestations kunnen veroorzaken. Er kunnen meerdere redenen voor zijn dat de berekende concentraties lager zijn dan de gemeten concentraties. Zo kunnen de emissies vanuit Tata Steel niet correct zijn ingeschat, worden bronnen over het hoofd gezien, sluiten de gehanteerde bronkenmerken niet aan bij de praktijk, en dergelijke. In paragraaf 3.4 worden de mogelijke oorzaken in meer detail besproken.

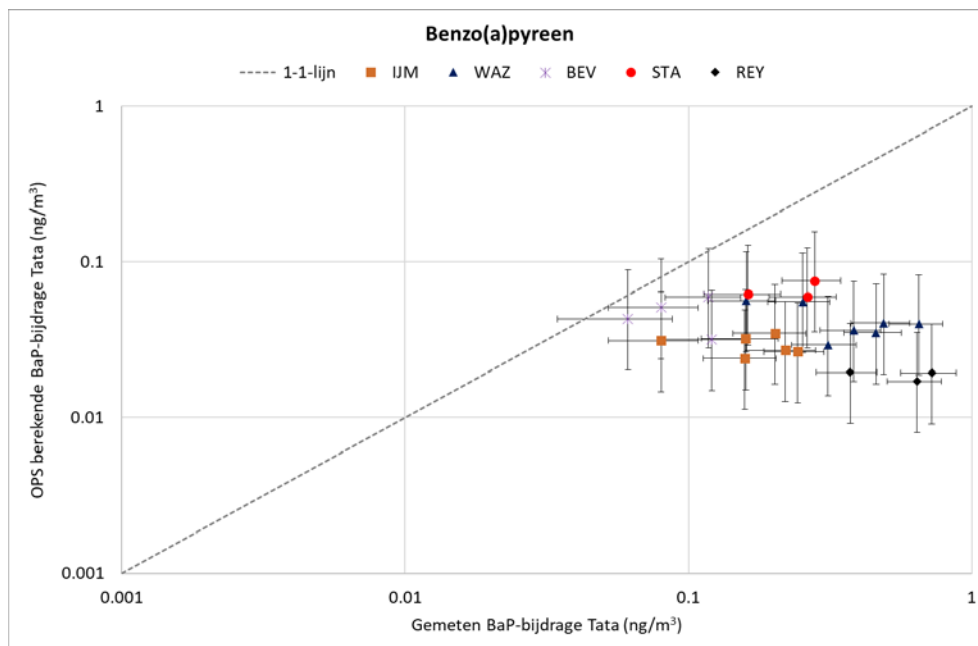
3.3.3

PAK

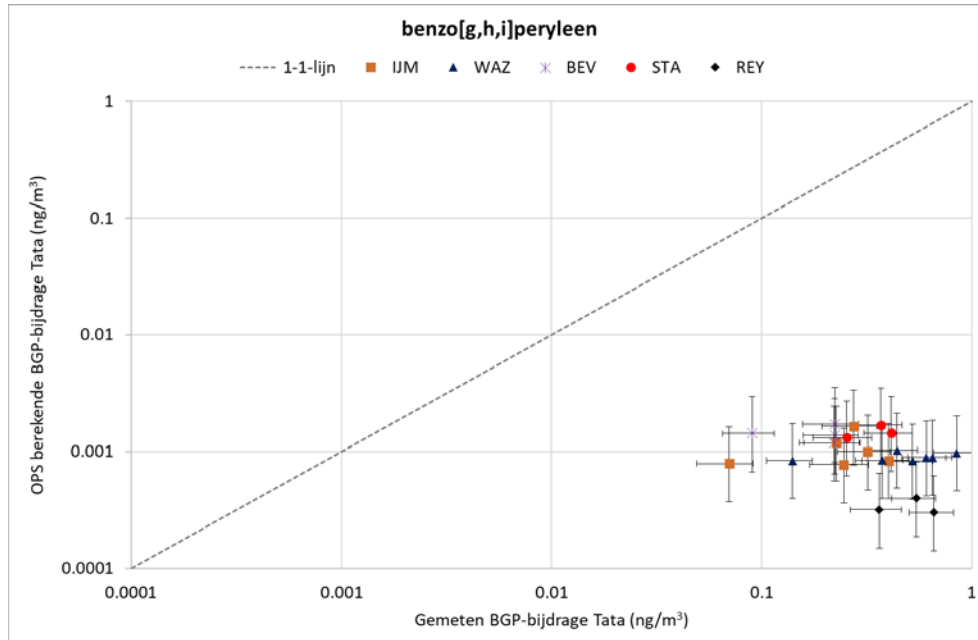
Voor het bepalen van de bijdrage van Tata Steel aan de gemeten PAK-concentraties is gebruikgemaakt van de data van het luchtmeetnet. De bijdrage is bepaald door de gemeten achtergrondconcentraties af te trekken van de gemeten concentraties op de industriestations in de IJmond. Uit de analyse van de emissiebronnen in de omgeving (zie Figuur 3.1.c) zijn er naar verwachting geen andere emissiebronnen aanwezig die een substantiële bijdrage aan de concentraties op de meetstations kunnen veroorzaken. De opgegeven bijdrage van bijvoorbeeld scheepvaart is zeer klein vergeleken met de opgegeven bijdragen van Tata Steel. De stations De Zilk en De Rijk zijn gebruikt als achtergrondconcentraties.

Uit Figuur 4.2 blijkt dat de PAK-concentraties op De Rijk veel lager zijn dan op de industriestations. De keuze voor De Rijk als achtergrondstation wordt met deze analyse ondersteund. Op het station De Rijk worden sinds 2017 PAK-concentraties gemeten. De achtergrondconcentraties voor de jaren 2014, 2015 en 2016 zijn derhalve gebaseerd op de PAK-concentraties gemeten op het station De Zilk. Voor de jaren 2017 t/m 2020 is gemiddelde concentratie gemeten op De Zilk en De Rijk gebruikt als achtergrondconcentratie. De PAK-metingen op de stations Staalstraat en Reyndersweg zijn in 2017 beëindigd. Voor deze stations waren alleen de meetgegevens voor de jaren 2014, 2015 en 2016 beschikbaar.

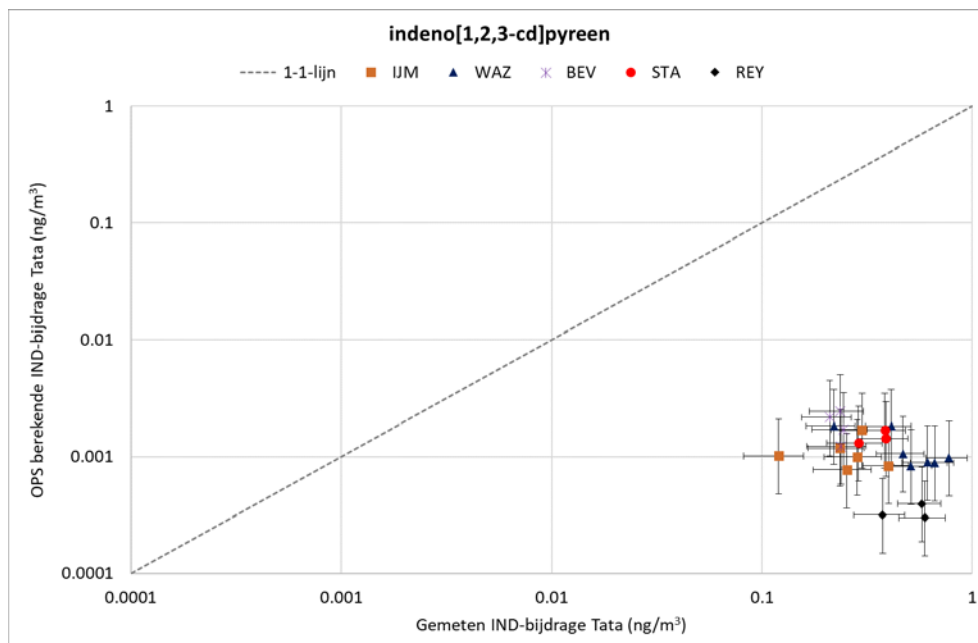
De resultaten van de vergelijking tussen de berekende en gemeten bijdrage van Tata Steel aan de PAK-concentraties staan weergegeven in de Figuren 3.13.a tot en met 3.13.c. In deze figuren is voor beide assen een logaritmische schaal gebruikt.



Figuur 3.13.a Berekende versus gemeten benzo[a]pyreen (BaP) concentratiebijdrage (ng/m^3) door Tata Steel (2014-2020). De x- en y-as zijn logaritmisch opgemaakt



Figuur 3.13.b Berekende versus gemeten benzo[g,h,i]perylene (BGP) concentratiebijdrage (ng/m^3) door Tata Steel (2014-2020). De x- en y-as zijn logaritmisch opgemaakt



Figuur 3.13.c Berekende versus gemeten indeno(1,2,3-cd)pyreen (IND) concentratiebijdrage (ng/m³) door Tata Steel (2014-2020). De x- en y-as zijn logaritmisch opgemaakt

Uit bovenstaande figuren blijkt dat de berekende concentratiebijdrage aanzienlijk lager is dan de gemeten concentratiebijdrage. De berekende onderschatting varieert van circa een factor 10 (BaP) tot meer dan een factor 1000 voor de stoffen IND en BGP. Het niet meenemen van 15% van de BaP-emissie in de modellering – omdat de brongegevens niet bekend waren (zie paragraaf 3.2.2.4) – kan geen verklaring zijn van de geconstateerde onderschatting. Verder valt uit de meet- en rekenresultaten op te maken dat de gemeten concentratiebijdrage per jaar varieert. De variatie in de gemodelleerde concentratiebijdrage is echter veel kleiner.²⁵

In paragraaf 3.3.1 is aangetoond dat de berekende PM₁₀-concentratiebijdrage redelijk goed overeenkomt met de gemeten bijdrage. Omdat de PAK aan de fijnstofdeeltjes zijn gebonden, mag worden verwacht dat bij goede bronkennis de vergelijking tussen gemeten en berekende concentratiebijdrage ook in orde zou zijn. Dit blijkt niet uit de Figuren 3.13.a tot en met 3.13.c. Het lijkt er daarom op dat de kennis over de PAK-bronnen en bronkarakteristieken niet volledig is. In paragraaf 3.4 worden de mogelijke oorzaken van de onderschatting in de modelberekeningen ten opzichte van de meetresultaten besproken.

3.4 Conclusie en discussie

3.4.1 Conclusie

In het onderzoek zijn voor meerdere jaren en verschillende luchtkwaliteitsmeetstations de berekende en gemeten fijnstofconcentratiebijdragen vergeleken. Het beeld dat hieruit ontstaat is dat op basis van de gegevens uit de Emissieregistratie – gebaseerd op

²⁵ De emissies zoals geregistreerd van BaP, IND en BGP zijn voor de jaren 2014-2020 redelijk constant.

de elektronische emissiejaarverslagen (zie kader op pagina 53) – de bijdrage van Tata Steel aan de jaargemiddelde fijnstofconcentratie redelijk tot goed (binnen een factor 2-3) overeenkomt met de gemeten concentratiebijdragen. Er zijn verschillen tussen de berekende en gemeten waarden, maar die vallen binnen de verwachte onzekerheden in modelberekeningen als deze. De rekenresultaten voor het station Reyndersweg (zie Figuur 3.11) wijken af van de overige stations: vanwege de ligging van het meetstation (op de grens van het Tata Steelterrein en dicht bij relevante fijnstofbronnen) is de locatie moeilijk te modelleren.

De berekende metaalconcentratiebijdragen zijn voor de meeste metalen en stations lager dan de gemeten metaalconcentratiebijdragen. Anders gezegd: op de meetstations worden hogere concentraties gemeten dan wordt verwacht op basis van de berekening. De onderschatting varieert van maximaal circa een factor 5 voor lood en chroom tot circa een factor 30 voor vanadium en ongeveer een factor 50 voor koper. De verschillen tussen de berekende en gemeten concentratiebijdragen zijn voor de PAK IND en BGP veel groter dan voor de metalen. De onderschatting van de berekende BaP-concentratiebijdragen bedraagt circa een factor 10. Voor IND en BGP lopen de verschillen op tot een factor 1000. Hoewel er in deze studie geen onderzoek is gedaan naar de oorzaken van de onderschatting, worden in de volgende alinea mogelijke oorzaken benoemd. Doordat de gemodelleerde waarden voor PAK en in mindere mate voor metalen niet goed overeenkomen met de gemeten waarden, is onzeker wat de precieze bijdrage van de diverse bronnen is.

3.4.2 *Discussie*

Eén oorzaak kan zijn dat de feitelijke emissies hoger zijn dan de emissies die in de e-MJV's worden gerapporteerd. Het is mogelijk dat sommige emissies, met name bij incidenten, worden onderschat (zie paragraaf 3.2.1). Ook is de verdere beschikbare informatie over het vrijkomen van luchtverontreinigende stoffen bij incidenten zeer beperkt²⁶.

Daarnaast zijn in de modelberekeningen bekende bronnen op het Tata Steelterrein niet meegenomen doordat de emissies en bronkenmerken ontbraken. Deze bronnen vallen niet onder de Tata Steel e-MJV verplichting. Een voorbeeld hiervan is de uitstoot door de onderaannemers Harsco Metals en Pelt & Hooykaas. Een ander voorbeeld is de emissie door het treinverkeer op het Tata Steelterrein, deze wordt ook niet in het e-MJV meegenomen. Uit de receptormodelanalyse (zie hoofdstuk 4) komt het treinverkeer als bron van koper nadrukkelijk in het profiel *Verkeer/remstof* naar voren.²⁷

Een derde mogelijke bron die in de modelberekeningen niet is meegenomen is de bijdrage van emissies en verspreiding van PAK en metalen in stofdeeltjes uit op- en overslag van kolen en ertsen aan de metaal- en PAK-concentraties. In hoofdstuk 2 wordt in paragraaf 2.3.4 beschreven dat op basis van eerder gepubliceerd depositieonderzoek

²⁶ Hierbij kan gedacht worden aan bronkarakteristieken als uitstoothoogte en warmte inhoud.

²⁷ De slijtage van de remvoeringen van treinen is een relevante bron van koperemissie (Abbasi et al., 2011; Van Ryswyk et al., 2017; Loxham et al., 2013; Park et al., 2011; 2012).

(Mennen et al., 2021) er een indicatie is dat verwaaiing van (grof) stof uit op- en overslagen van steenkool een bron van PAK-uitstoot kan zijn. In de studie 'Verspreidingsberekeningen ZZS (zeer zorgwekkende stoffen) bij Tata Steel' (Erbrink, 2020) die in opdracht van Tata Steel is uitgevoerd, wordt wel rekening gehouden met emissies van metalen in stof uit op- en overslagen van kolen en ertsen. Vanwege de lage hoogte waarop uitstoot plaatsvindt, kan dit een relevante bron zijn.

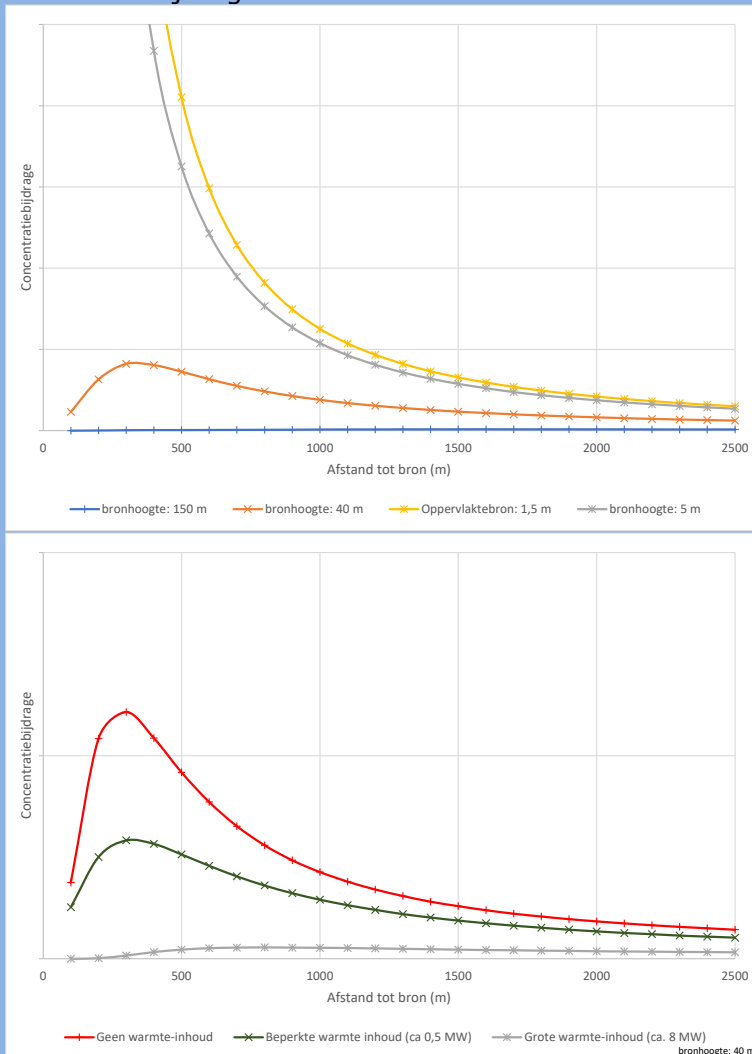
Een tweede mogelijke oorzaak van de onderschatting van de berekende bijdrage is een niet-correcte vertaling van de bronkenmerken (bijvoorbeeld waar komt de verontreiniging in de lucht vandaan) in de praktijk naar het model. In de modelberekeningen is, conform de e-MJV-informatie, voor de metalen en PAK aangenomen dat de verspreiding naar de omgeving alleen vanuit het opgegeven emissiepunt plaatsvindt. In de praktijk echter kan de verontreiniging via kleinere en minder duidelijk gedefinieerde punten (voorbeelden van diffuse emissiepunten zijn kieren, openstaande deuren, en dergelijke) de lucht in worden gebracht. Diffuse emissies kunnen van grote invloed zijn op de concentratiebijdrage, blijkt onder meer uit Stella et al. (2012). Deze studie laat zien dat diffuse emissies een grote bron van PAK-emissies bij staalproductie kunnen zijn. Onderzoek naar diffuse emissies op het Tata Steelterrein kan meer inzicht geven in het belang van diffuse emissies op de concentraties in de omgeving.

Als derde mogelijke oorzaak van de verschillen tussen de modelresultaten en de metingen is de invloed van resuspensie van stofdeeltjes op de gemeten concentratie. Bij resuspensie worden stoffen die eerder waren uitgestoten en in de bodem terecht zijn gekomen onder invloed van de wind wederom in de lucht gebracht. Hierdoor kunnen hogere concentraties worden gemeten dan op basis van de uitstoot door Tata Steel verwacht zou worden. Deze resuspensie kan het gevolg zijn van vele tientallen jaren waarin verontreiniging naar de omgeving heeft plaatsgevonden.

In welke mate bovengenoemde mogelijke oorzaken invloed hebben op de totale berekende concentratiebijdrage is niet aan te geven. Betere broninformatie, met name met betrekking tot metalen en PAK, geeft meer inzicht in de emissies, concentraties in de lucht (ook buiten de meetpunten) en mogelijk ook in de effectiviteit van potentiële maatregelen.

Kader: invloed bronkenmerken op verspreiding

Naast de emissiesterkte (bijvoorbeeld kg uitstoot per jaar) hebben bronkenmerken grote invloed op de verspreiding van de verontreiniging. Onderstaande figuren illustreren de invloed van de bronhoogte (bovenste figuur) en de warmte-inhoud (onderste figuur) op de verspreiding. Bij alle berekeningen is uitgegaan van eenzelfde hypothetische emissiesterkte. Uit de figuren blijkt duidelijk dat een lagere bronhoogte bij dezelfde uitstoot een grotere concentratiebijdrage heeft dan een hoge bron (bovenste figuur), en dat het wel of niet meenemen van warmte-inhoud tot grote verschillen in de berekende concentratiebijdrage kan leiden. Een hogere warmte-inhoud leidt tot een lagere concentratiebijdrage.



4 Analyse luchtmeetnetgegevens met Positive Matrix Factorization

Auteurs:

D. Mooibroek, RIVM

R. Hoogerbrugge, RIVM

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een aanpak gehanteerd waarbij de metingen van het luchtmeetnet beheerd door de GGD Amsterdam worden benut om te trachten bronnen te herleiden. Dit gebeurt op basis van het berekenen en herkennen van profielen van de gemeten stoffen. In dit hoofdstuk wordt de data-analysemethode op hoofdlijnen beschreven. Om deze expertise en technische details ook internationaal te ontsluiten, is een Engelstalige publicatie (Mooibroek et al.) in voorbereiding. Het afronden van dit hoofdstuk in het onderhavige rapport had hogere prioriteit dan de wetenschappelijk publicatie, en het hoofdstuk is daardoor ook eerder beschikbaar. Sommige analyses, zoals de onzekerheidsanalyse, worden in de publicatie verder uitgewerkt. Hierdoor kunnen de resultaten in de publicatie op detailniveau afwijken van de nu gepresenteerde resultaten.

4.1.1 *Profielen*

De basisaanname voor bronherkenning is dat elke soort bron een eigen profiel van verhoudingen van diverse bestanddelen uitstoot. Zo worden door processen van de staalindustrie veel ijzer en mangaan uitgestoten (Small et al., 2020) en bestaat zeezout voornamelijk uit natrium en chloride. Indien de verschillende soorten bronnen andere profielen hebben, kunnen met een vorm van patroonherkenning profielen aan de hand van de berekende verhoudingen van metalen worden gekoppeld aan bestaande bronnen. Bronnen met vergelijkbare verhoudingen van elementen kunnen niet worden onderscheiden en zullen in hetzelfde profiel belanden. De mate waarin de profielen kunnen worden onderscheiden hangt af van het verschil tussen de verhoudingen in de elementen in de profielen enerzijds en het verschil in verhouding van de diverse bijdragen over de meetset anderzijds. Meestal spelen meerdere soorten bronnen een rol bij de lokale luchtkwaliteit, elk met een eigen profiel. De gemeten waarden op diverse locaties van het luchtmeetnet zijn een optelsom van de bijdrage van deze diverse soorten bronnen.

Voor het herkennen van profielen is de techniek Positive Matrix Factorization (PMF) gebruikt (Paatero et al., 1994). Deze techniek is eerder in twee studies in Nederland toegepast. In het Beleids Ondersteunend Programma (BOP) is deze techniek van bronherkenning uitgevoerd voor vijf Nederlandse meetlocaties op metingen uit 2008 (Mooibroek et al., 2011). In de periode april 2013 - mei 2014 zijn op vijf West-Europese locaties PM₁₀-filters bemonsterd en geanalyseerd in het Joint Air Quality Initiative (JOAQUIN) project (Mooibroek et al., 2016, Staelens et al., 2016). Ook voor deze dataset zijn de bronbijdrage met een PMF-analyse bepaald. In beide studies worden zogenoemde grootschalige profielbijdrage aan fijnstof (PM₁₀ en PM_{2,5}) gevonden. Dit zijn bijvoorbeeld zeezout, en fijnstof dat uit voornamelijk

ammoniumnitraat en ammoniumsulfaat bestaat (zie ook paragraaf 1.2). De laatst genoemde deeltjes worden ook wel secundaire inorganische aerosolen (SIA) genoemd, omdat ze in de lucht worden gevormd uit aanwezige gasvormige luchtverontreiniging, zoals ammoniak, stikstofoxide en zwaveloxide. Doordat deze deeltjes voornamelijk in de lucht worden gevormd kunnen de bronnen van de oorspronkelijke gasvormige luchtverontreiniging ver weg liggen. De bijdrage van deze deeltjes aan de gemiddelde Nederlandse fijnstofconcentraties is groot (Schaap et al., 2010) en vormt een soort grootschalige deken over Nederland, bestaande uit bijdragen uit zowel binnen- en buitenland van onder andere verkeer en industrie.

Naast deze voornamelijk grootschalige profielen zijn er zowel in het JOAQUIN-project als in het BOP-project ook profielen van meer lokale bronnen gevonden.

Het belang van bronherkenning en de potentie van dit soort technieken worden ook door de Europese Commissie onderkend. Vandaar dat in het FAIRMODE-programma onderzoeken zijn uitgevoerd waarbij vele Europese onderzoeksgroepen (waaronder het RIVM) hun expertise op het gebied van bronherkenning hebben verdiept en geharmoniseerd (Belis et al., 2015; Belis et al., 2019; Belis et al., 2020).

4.2 Aanpak

4.2.1

Dataset

Voor de hier toegepaste analyse zijn geen nieuwe of aanvullende metingen verricht. De PMF-techniek kan in de IJmond worden toegepast omdat daar op meerdere locaties een grote dataset van gemeten concentraties van metalen en PAK in fijnstof (hier in de vorm van PM₁₀ en daarom verder in dit hoofdstuk als PM₁₀ aangeduid) aanwezig is. De jaargemiddelde waarden van deze metingen worden jaarlijks gerapporteerd door de GGD Amsterdam (De Jonge, 2013 t/m 2020). Voor de analyse zijn de meetdata van drie meetlocaties de IJmond en twee achtergrondlocaties gebruikt (zie Tabel 4.1 en Figuur 3.9).

Tabel 4.1 Ligging meetlocaties luchtmeetnet

Station (nr)	x-coord	y-coord	Componenten	Type
Wijk aan Zee (NL49553)	101783	500978	Metalen, PAK, PM ₁₀ , PM _{2.5} , BC, NO, NO ₂ , CO, SO ₂ , H ₂ S	Industrie
Beverwijk West (NL49570)	104274	500438	Metalen, PAK, PM ₁₀ , PM _{2.5}	Industrie
IJmuiden Kanaaldijk (NL49551)	101628	497553	Metalen, PAK, PM ₁₀ , PM _{2.5} , BC, NO, NO ₂ , CO, SO ₂ , H ₂ S	Industrie
De Rijp (NL49556)	119365	508579	Metalen, PAK, PM ₁₀ , PM _{2.5}	Achtergrond
De Zilk (NL10444)*	95216	479092	SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , Cl	Achtergrond

* In deze tabel worden voor De Zilk alleen de gebruikte componenten weergegeven.

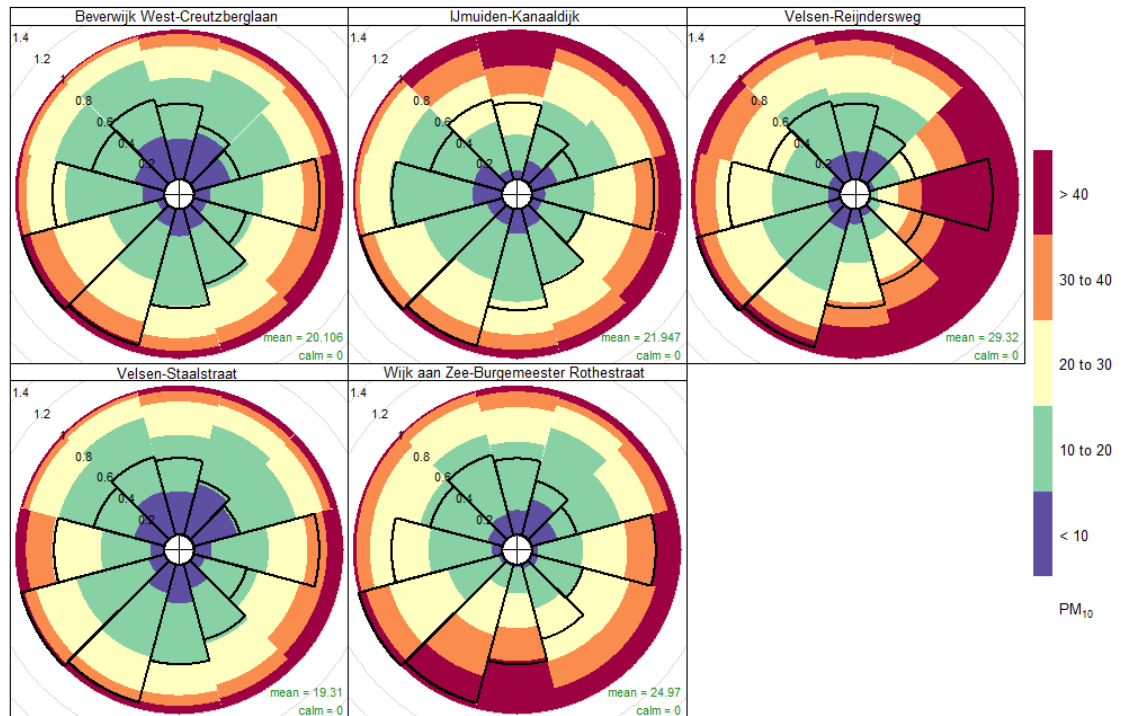
De meetlocaties in het IJmondgebied worden in opdracht van de provincie Noord-Holland beheerd door de GGD Amsterdam. Het meetpunt in De Zilk is onderdeel van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit van het RIVM. Op de locaties in het IJmondgebied worden

metalen²⁸ en PAK gemeten in PM₁₀. Op alle locaties worden ook elk uur PM₁₀ en PM_{2,5} gemeten met automatische monitoren. Daarnaast wordt op een aantal locaties ook een wisselende set aan andere componenten uurlijks gemeten met automatische monitoren, zoals BC, NO, NO₂, H₂S, CO en SO₂. Een overzicht van de gemeten stoffen voor elke locatie is te vinden op de website van de samenwerkende luchtmeetnetten in Nederland (www.luchtmeetnet.nl) en daar is voor elke locatie te zien welke stoffen gemeten worden. Voor de herkenning van de diverse bronnen geven de concentraties van de elementen a priori een grote kans op onderscheidende profielen, in het bijzonder voor industriële processen (Taiwo et al., 2014). Dit wordt versterkt door het grote aantal metalen dat routinematig in het IJmondgebied wordt gemeten.

4.2.2 *Bijdrage aan PM₁₀*

Voor de interpretatie van de bijdrage aan PM₁₀ speelt de totale gemeten hoeveelheid een belangrijke rol. Figuur 4.1 toont de verdeling van PM₁₀-concentraties over diverse concentratieklassen voor verschillende windrichtingen, voor de meetpunten in het IJmondgebied gedurende 2017-2019. In Figuur 4.1 wordt met de dikke zwarte lijnen aangegeven hoe vaak in het IJmondgebied een bepaalde windrichting uit een sector voorkomt gedurende 2017-2019. In alle plaatjes is deze weergave hetzelfde omdat hiervoor de meteorologische gegevens van het KNMI-station IJmuiden zijn gebruikt. We zien dat in het IJmondgebied gedurende 2017-2019 de wind het vaakst uit het westen/zuidwesten en het oosten komt. Op elk meetstation in Figuur 4.1 worden metingen gedaan aan PM₁₀. Deze metingen zijn onderverdeeld in vijf verschillende klassen en zijn vervolgens gekoppeld aan de meteorologische gegevens van het KNMI-station IJmuiden. Voor elke windsector is vervolgens berekend voor hoeveel procent de vijf verschillende klassen voorkomen per windsector. In de figuur is zichtbaar dat bijvoorbeeld voor Velsen-Reijndersweg de hoogste klasse het vaakst voorkomt bij een oostzuidoostelijke wind. Daarnaast zien we ook dat in deze periode bij noordelijke wind in IJmuiden de hoogste klasse vaker voorkomt dan in Wijk aan Zee. Bij zuidelijke wind komt de hogere klasse in Wijk aan Zee vaker voor. Deze simpele analyse voor 2017-2019 wijst voor de gemeten PM₁₀-concentraties op de meetlocaties op een bronbijdrage van het Tata Steelterrein net als eerdere analyses van de GGD Amsterdam (De Jonge, 2015; Nijhuis en Van Strien, 2015).

²⁸ In dit onderzoek is PM₁₀ geanalyseerd op een groot aantal metalen en andere elementen die strikt genomen niet tot de metalen worden gerekend, zoals fosfor. Met het oog op de leesbaarheid wordt in dit rapport verder gesproken over metalen, ook waar andere elementen worden bedoeld.



PM₁₀ concentraties genormaliseerd per windsector

Figuur 4.1 PM₁₀-concentraties over de periode 2017-2019 verdeeld over een aantal concentratieklassen, genormaliseerd per windsector. De dikke zwarte lijnen geven aan hoe vaak een bepaalde windrichting uit een bepaalde sector voorkomt. In de tekst wordt onder andere de gemiddelde bijdrage aan PM₁₀ over de periode 2017-2019 weergegeven

De meetstrategie op het luchtmeetnet in het IJmondgebied is voor de bemonstering en analyse van de metalen en PAK in PM₁₀ geoptimaliseerd voor de berekening van de jaargemiddelde concentraties. De filters voor de samenstellingsmetingen worden meestal om de dag bemonsterd. De samenstelling van deze filters wordt bepaald door veelal vier bemonsterde filters samen te voegen en vervolgens te analyseren. Deze uitkomsten worden gebruikt voor de berekening van een jaargemiddelde concentratie. De geanalyseerde concentraties van de meeste mengmonsters beslaat dus een totale meetperiode van ongeveer een week. Bij de verwerking van de resultaten in dit onderzoek nemen we aan dat de bemonsterde filters in deze periode representatief zijn voor het gemiddelde van deze gehele periode. Met andere woorden, we veronderstellen dat een vierdaags gemiddelde representatief is voor de concentratieniveaus in deze week. Deze mengmonsters vergroten de complexiteit van de PMF-berekeningen. Bij de weekgemiddelde monsters is de kans heel klein, vergeleken met dag- of uurmonsters, dat de wind het grootste deel van de meetperiode uit dezelfde richting komt. Daarmee wordt de kans op het vinden van zuivere profielen kleiner en zullen er meer mengprofielen optreden. Deze mengprofielen maken de vertaling naar bestaande bronnen in de omgeving lastiger.

Ook zijn de perioden waarover de metalen- en PAK-analyses zijn samengevoegd anders. Er is dus niet bij elke meting van de metalen een

bijpassende PAK-meting. Dit heeft te maken met dat de monsters voor PAK en metalen via hetzelfde apparaat worden verkregen. Praktisch is het niet altijd mogelijk om twee apparaten te plaatsen om zo tegelijk een PAK- en een metaalmonster te krijgen.

Ten slotte kan ook het mingschema voor de analyses over de diverse meetpuntlocaties verschillen, waarmee dus ook niet het resultaat over een periode een-op-een kan worden vergeleken met het resultaat in dezelfde periode op een andere locatie.

De automatische metingen zijn per dag beschikbaar en zijn essentieel om een dataset te maken die zowel met de metaalmetingen als met de PAK-metingen kan worden vergeleken. De automatische metingen dienen daarmee als een soort ruggengraat voor de dagelijkse bijdrage in de PMF-analyse (zie de paragraaf over PMF-analyse). Aangezien op de meetlocaties in Wijk aan Zee en IJmuiden de meeste aanvullende metingen worden uitgevoerd, zijn deze locaties in eerste instantie gebruikt in deze analyse.

De dataset die is gebruikt voor de PMF-analyse beslaat de periode 2017 tot en met 2019. Gedurende deze periode zijn er metingen verricht op dezelfde locaties, waardoor er meer analyseresultaten in de analyse kunnen worden meegenomen. De set automatische metingen voor het meetpunt te Beverwijk is beperkter dan in Wijk aan Zee en IJmuiden. Desondanks is ook voor Beverwijk een data-analyse uitgevoerd waarvan, indien relevant, informatie in tabellen en figuren wordt meegegeven.

Door het samenvoegen van de filters voor de element- en PAK-analyses is het aantal beschikbare samples per jaar beperkt, en ligt deze ongeveer een factor vier lager dan wanneer alle bemonsterde filters afzonderlijk waren geanalyseerd. Deze beperkte set aan meetdata zorgt voor een hogere onzekerheid wanneer slechts gekeken wordt naar één jaar. Meerdere jaren combineren, onder de aanname dat de belangrijkste bronprofielen qua samenstelling gedurende deze periode hetzelfde blijven, zorgt voor een verlaging van de onzekerheid in de uitkomsten. Het jaar 2020 is in deze analyse buiten beschouwing gelaten, omdat de gemeten concentraties vanwege COVID-19-maatregelen niet representatief zijn voor een langere periode (Velders et al., 2021).

Verskillende componenten, die een forse bijdrage kunnen geven aan de PM₁₀-concentraties, worden op de meetlocaties in het IJmondgebied niet gemeten. Voor ammonium, nitraat, sulfaat en chloride worden daarom de metingen van het achtergrondstation in De Zilk gebruikt. Controle met eerdere samenstellingsmetingen op Wijk aan Zee in het kader van het JOAQUIN-project (Staelens et al., 2016) en de samenstellingsmetingen op De Zilk gedurende dezelfde periode, laten zien dat de data van De Zilk voor deze periode representatief zijn voor het IJmondgebied voor deze componenten. Deze componenten zijn vooral te verwachten in de bijdrage van zeezout (chloride) en de grootschalige luchtverontreiniging (ammonium, nitraat en sulfaat), waarbij de bijdrage van lokale bronnen zeer klein is. Bij zeezout is de afstand tot de kust belangrijk. De Zilk ligt net als de IJmondlocaties in

de kustregio. Wel moet opgemerkt worden dat het lijkt dat de chlorideconcentraties in Wijk aan Zee hoger zijn dan op De Zilk. Dit verschil kan mogelijk worden verklaard door chloride-emissies van de staalindustrie (Tsai et al., 2007; Beddows and Harrison, 2018). Voor de grootschalige luchtverontreiniging geldt dat het verschil in bijdrage hiervan tussen De Zilk en de IJmond, ten opzichte de schaal waarop deze componenten zich verspreiden, relatief gering is. In dit onderzoek nemen we daarom aan dat de gemeten concentraties op De Zilk voor deze componenten representatief zijn voor het IJmondgebied. Bij de interpretatie van de resultaten zijn ook de weersomstandigheden belangrijk. Hiervoor worden de gemeten windrichting en windsnelheid van het KNMI-weerstation 225 IJmuiden gebruikt. Dit weerstation bevindt zich nabij de ingang van de haven van IJmuiden.

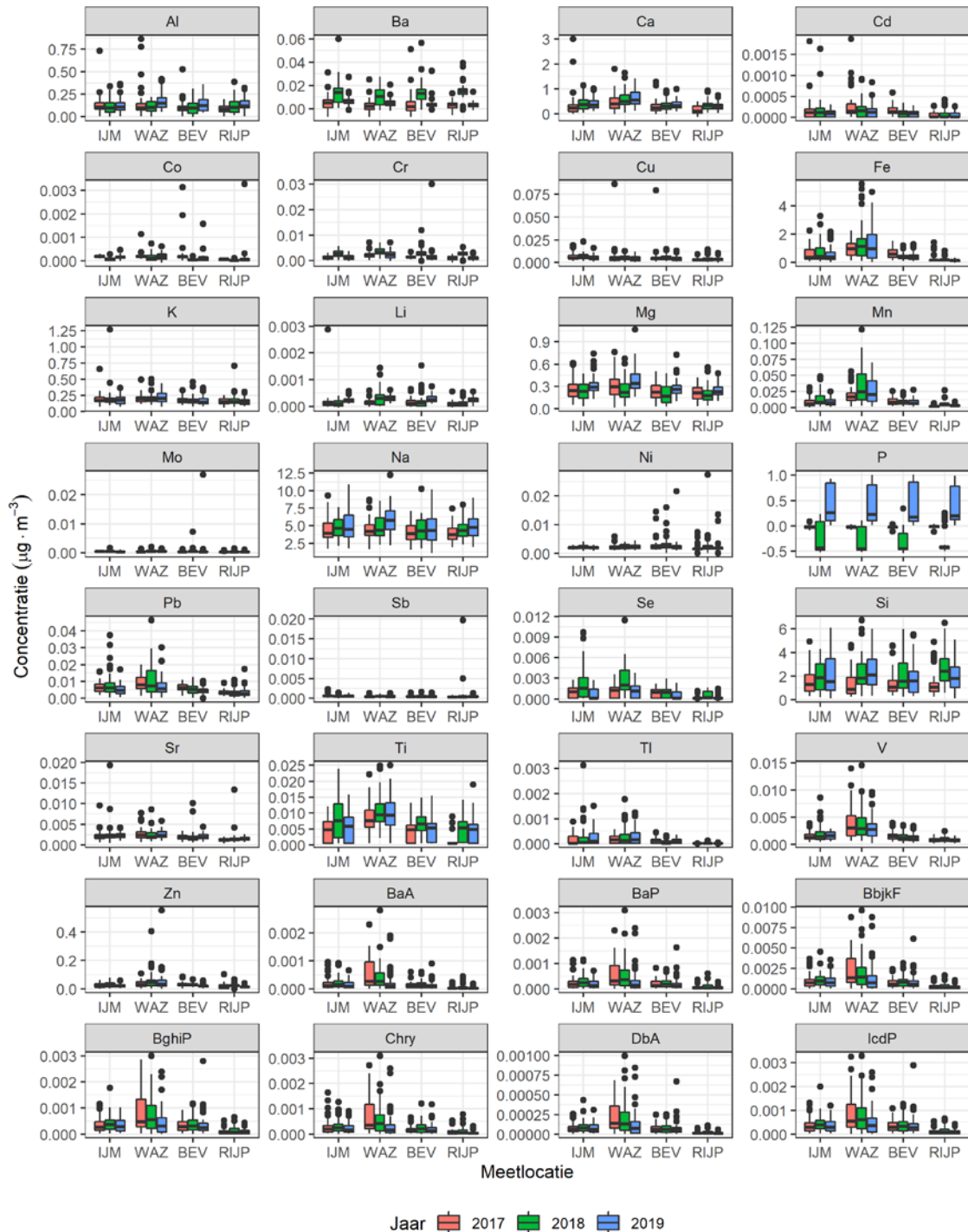
4.2.3

Blanco's

Bij de analyse van de filters kunnen verontreinigingen in deze filters of eventuele verontreinigingen tijdens het verwerken van de filters de analyseresultaten van voornamelijk de metalen beïnvloeden. Om deze verontreinigingen te onderzoeken, worden blanco's in de analyses meegenomen. De set aan gerapporteerde blanco-analyse per kwartaal is sinds 2018 uitgebreider. Hiervoor zijn twee varianten toegepast. De eerste variant zijn de zogenaamde laboratorium-blanco's waarbij niet-gebruikt filtermateriaal uit dezelfde productiebatch als de bemonsterde filters op identieke wijze wordt geanalyseerd. In de tweede variant worden er veld-blanco's geanalyseerd. Dit zijn nog steeds filters die niet zijn bemonsterd, maar die wel in de cartridge van het meetinstrument zijn meegenomen. Hierbij wordt dus ook de invloed van de reis naar het meetinstrument meegenomen. De gemeten waarden van laboratorium-blanco's zijn een indicatie van de bijdrage van verontreinigingen die op verschillende manieren ook in de bemonsterde filters kunnen belanden. Potentiële bronnen van verontreiniging zijn bijvoorbeeld het gebruikte filtermateriaal en de tijdens de analyse gebruikte chemicaliën. Voor de veld-blanco's kan de behandeling van het filter door de technici een potentiële bron zijn. Bij de controle van de gerapporteerde blanco's (zowel laboratorium-blanco's als veld-blanco's) is een correlatie waargenomen tussen de blanco waarden en de gebruikte batch van het filtermateriaal.²⁹ Een mogelijke oorzaak hiervan is dat het filtermateriaal, Whatman QMA, geoptimaliseerd is voor het meten van de concentraties fijnstof (PM₁₀ en PM_{2,5}) en niet is geoptimaliseerd voor het meten van de samenstelling hiervan. Om te kunnen corrigeren voor eventuele verontreinigingen hebben we de resultaten van de laboratorium-blanco's samengevoegd per batch filtermateriaal, om zo tot een representatieve blanco-waarde voor het in het veld gebruikte filtermateriaal te komen. Tijdens het samenvoegen van de meetgegevens en de blanco is er soms een relatief hoge blanco-waarde aangetroffen die hoger is dan een deel van de geanalyseerde filters, en die dus niet representatief kan zijn voor alle bemonsterde filters. Deze hoge waarden zijn niet meegenomen in de bepaling van een representatieve blanco-waarde. Wel geven deze hoge blanco-waarden een indicatie dat ook bij de bemonsterde filters rekening moet worden gehouden met één of meerdere onverklaarbare incidentele hoge meetwaarden. Deze aanpak geeft een verschil met de

²⁹ Tot en met augustus 2018: batch 9727604, september 2018- april 2019: batch 16556119 en vanaf mei 2019 batch: 16898132

eerder gepresenteerde getallen in de datarapporten van de GGD Amsterdam, omdat daar de waarden van de laboratorium-blanco's niet zijn afgetrokken (2017) of als jaargemiddelde zijn afgetrokken (2019).



Figuur 4.2 Box whisker plot van de gemeten concentraties van de metalen en PAK in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ op vier meetlocaties (IJM (IJmuiden), WAZ (Wijk aan Zee), BEV (Beverwijk), RIJP (De Rijk)) voor de jaren 2017, 2018 en 2019. De mediaan van de metingen is het middelste streepje, de box zijn de 25 en 75 percentielen. Eventuele waarnemingen buiten de streepjes zijn als losse punten weergegeven. Waarnemingen betreffen meestal een gemiddelde van vier dagen

Specifiek voor natrium en silicium was de variatie in de laboratorium-blanco's zo groot, dat er geen representatieve blanco-waarde kon worden vastgesteld. Daarom is besloten om voor deze componenten geen blanco-correctie toe te passen (zie ook resultaten).

Figuur 4.2 geeft een grafische visualisatie van de dataset met metalen in PM₁₀ voor de locaties IJM (IJmuiden), WAZ (Wijk aan Zee), BEV (Beverwijk). Ter illustratie worden ook de gevonden concentraties op het achtergrondstation RIJP (De Rijp) getoond, alhoewel deze data niet zijn gebruikt in de hier beschreven analyse. De hoogste concentraties worden gevonden voor Na, waar mogelijk de niet-uitgevoerde blanco-correctie invloed op heeft. Dit element is onder andere gekoppeld aan het zeezout en dat sluit goed aan bij de geringe concentratieverschillen voor de weergegeven locaties. Voor een aantal metalen valt op dat de concentraties in Wijk aan Zee hoger zijn dan op de andere drie locaties (voorbeelden hiervan zijn Ti, Mn, Fe en V); dit zou kunnen wijzen op een bron met een sterke bijdrage op het meetpunt in Wijk aan Zee. Met de bronherkenning in de komende paragrafen willen we daar een scherpere analyse van kunnen geven.

De dataset voor de PAK is ook weergegeven in Figuur 4.2. Ook hier zien we dat de concentraties in Wijk aan Zee hoger zijn dan in Beverwijk en IJmuiden. Bij het achtergrondstation in De Rijp worden de laagste concentraties gemeten. Vergeleken met de metalen vertonen de PAK-plaatjes onderling een grote overeenkomst over de jaren en stations. Dit zou kunnen duiden op de bijdrage van een beperkt aantal type bronnen in deze periode. Zowel in de analyses van de metalen als van de PAK kunnen concentraties voorkomen die onder de detectiegrens zitten. In de Datarapporten van de GGD Amsterdam en in de volgende data-analyse worden metingen onder de detectiegrens (LOD) als LOD/2 meegenomen.

4.2.4 *Behandeling van ontbrekende data*

In een set met gemeten waarden kunnen waarden ontbreken, bijvoorbeeld door storing of onderhoud aan de instrumenten. De gemeten uurwaarden zijn conform de Europese regelgeving (2008/50/EC) omgerekend naar dagwaarden (minimaal 18 uur in een dag). Ontbrekende dagwaarden zijn aan de hand van 'multiple imputation' (MIPCA) opgevuld. Deze techniek is eerder toegepast op luchtkwaliteitsdata van het RIVM (Nguyen en Hoogerbrugge, 2014), eerdere onderzoek naar bronnen (Mooibroek et al., 2011; 2016) en wordt de laatste tien jaar steeds vaker toegepast voor luchtkwaliteitsdata (zie bijvoorbeeld Libasin et al., 2020; Gómez-Carracedo et al., 2014; Quinteros et al., 2019). Voor het opvullen van ontbrekende dagwaarden is gebruikgemaakt van alle beschikbare componenten op dagniveau op een locatie en de hieraan gekoppelde meteorologische gegevens van het KNMI (windrichting en windsnelheid van KNMI-station IJmuiden en temperatuur en relatieve luchtvochtigheid van KNMI-station Wijk aan Zee). De imputatie is uitgevoerd op het logaritme van de meetwaarden, waarbij meetreeksen met een (kleine) negatieve waarde omhoog zijn geschaald en na imputatie weer naar beneden zijn geschaald. Voor de dagmonsters van SIA en CI op De Zilk is hetzelfde algoritme toegepast, waarbij alle automatische metingen op De Zilk zijn omgezet naar dagwaarden, en de meteo van het KNMI-station Voorschoten is gebruikt. Voor alle geïmputeerde waarden is de

onzekerheid vermenigvuldigd met een factor 5, in lijn met de uit de literatuur bekende aanbevelingen (Brown and Hafner, 2005; Paatero and Hopke, 2003; Norris et al., 2009; Bellis et al., 2019). Dit omdat de waarde op zich een goede schatting zou zijn, maar de bijdrage hiervan aan de oplossing minder zwaar moet zijn dan echte meetwaarden. Voor de metingen van metalen en PAK in PM₁₀ waren er geen ontbrekende metingen. De gehanteerde meetonzekerheden en aanpassingen hierin zijn weergegeven in Bijlage 1.

4.2.5 PMF-data-analyse

De aanname is dat elk type bron een eigen profiel heeft voor de diverse elementen. Daarom kan er een vorm van patroonherkenning op worden uitgevoerd. Als in een bijzondere periode het monster maar door één type bron wordt beïnvloed, zal het profiel op die dag identiek zijn aan het profiel van de bron en is het dus makkelijk te herkennen. In de praktijk zullen er meestal bijdragen zijn van meerdere profielen en is een multivariate statistische techniek nodig om de profielen te ontrafelen. In dit hoofdstuk gebruiken we de term 'factor' voor een nog niet geïdentificeerd bronprofiel. Analoog hieraan is de term 'profiel' gebruikt voor geïdentificeerde factoren. De factoren beschrijven we in matrix notatie als F_{ij} . Hierbij is i het nummer van de factor (bijvoorbeeld 1 van l factoren) en j het nummer van het element.

Met name door de weersomstandigheden heeft elke periode een andere bijdrage van elke bron en heeft dus elke factor ook een bijdrage in matrixnotatie G_{ik} . Hierbij is i weer het nummer van de factor en k het nummer van de periode. Met dit model is de berekende concentratie voor element j in monster k gelijk aan de som over de bijdrage van de n -factoren.

$$M_{jk} = F_{1j}G_{1k} + F_{2j}G_{2k} + \dots + F_{lj}G_{lk} = \sum_{i=1}^l F_{ij}G_{ik} \quad (1)$$

Deze modelwaarde moet zo dicht mogelijk bij de gemeten observatie O_{jk} liggen. Voor alle beschikbare observaties willen we dat de overeenkomst tussen model en observaties zo optimaal mogelijk is. Daarvoor wordt in het algemeen de som van het kwadraat van de verschillen geminimaliseerd:

$$Q = \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{(O_{jk} - M_{jk})^2}{s_{jk}^2} = \text{minimaal} \quad (2)$$

Met m is het aantal perioden en n het aantal elementen. s_{jk} is de standaarddeviatie van de onzekerheid van de metingen. Nauwkeurige metingen krijgen een groter gewicht in de uiteindelijke oplossing en hebben dus een grotere invloed op het resultaat dan onnauwkeurige metingen. Bovenstaande minimalisatie is standaard bij een homogene dataset. Bij onze dataset met wisselende mengmonsters moeten we er bij deze minimalisatie rekening mee houden dat we geen volledige set met dagelijkse metingen voor de metalen en de PAK hebben. De modelwaarden moeten dus steeds worden gemiddeld over de dagen die in het mengmonster zijn vertegenwoordigd. Dit is weergegeven met het symbool \bar{M}_{jk} .

$$Q = \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^{m_k} \frac{(O_{jk} - \bar{M}_{jk})^2}{s_{jk}^2} = \text{minimaal} \quad (3)$$

Bij de minimalisatie wordt een aantal randvoorwaarden meegenomen, waarbij onder andere de bijdrage van negatieve waarden voor F en G worden beperkt. Daarnaast worden er meerdere modelruns uitgevoerd met verschillende startwaarden, om daarmee te voorkomen dat er een lokaal minimum voor de Q-waarde wordt gevonden (Brown and Hafner, 2005; Norris et al., 2009; Bellis et al., 2019). Voor concentraties ruim boven de detectiegrens is, op basis van toevoegingen (spikes) aan echte monsters, een standaarddeviatie van ongeveer 5-20 % geschat. Dicht bij de detectiegrens is de relatieve onzekerheid groter. De metingen onder de detectiegrens zijn nog onnauwkeuriger, dus door het verhogen van de onzekerheid van deze waarden krijgen die een lager gewicht. Metalen waarbij meer dan 20% van de gehele meetreeks onder de detectiegrens ligt bevatten minder bruikbare informatie en krijgen daarom ook een lager gewicht. Om te voorkomen dat een incidentele uitschieter het resultaat te veel domineert, wordt de optimalisatie op een robuuste manier uitgevoerd door de invloed van een individuele meting te begrenzen. Bepaalde incidentele hoge concentraties voor verschillende metalen hebben een iets hogere onzekerheid gekregen wanneer deze concentratie afwijkt van het patroon. Oorzaken van deze hogere concentraties kunnen incidentele bronnen zijn, zoals vuurwerk tijdens oud en nieuw. Deze incidentele bronnen kunnen het normale patroon verstoren, waardoor ervoor is gekozen om de invloed hiervan te beperken.

Verder zijn de onzekerheden van PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂, NO, SO₂, H₂S, CO en SO₂ zodanig verhoogd dat deze componenten geen invloed hebben op de uiteindelijke oplossing. Wel worden ze in het model meegenomen, omdat deze componenten, in tegenstelling tot de metalen en de PAK, dagelijks worden gemeten. Daarmee zijn ze een soort ruggengraat voor de vergelijkingen met de metingen, en ook de verdeling van deze componenten over de diverse factoren kan ondersteunde informatie geven over de herkomst. Daarnaast biedt het naar beneden schalen van de bijdrage van PM₁₀ de mogelijkheid om een aantal controles te doen met betrekking tot de vergelijking tussen berekende en gemodelleerde PM₁₀-concentraties. Naast de individuele onzekerheden van de diverse metingen zijn de vooraf berekende onzekerheden nog met een extra onzekerheid van 15% verhoogd in het gebruikte model.

Ondanks de toevoeging van nitraat, sulfaat, ammonium en chloride van een nabijgelegen station, in De Zilk, lukte het initieel niet om alle massa die als PM₁₀ wordt gemeten te verklaren vanuit de gevonden profielen. Daarom is een hypothetisch element 'unexplained mass' (UM) aan de analyse toegevoegd. Op zich is te begrijpen dat niet alle massa in PM₁₀ wordt gevonden, aangezien een aantal bijdragende elementen in dit onderzoek ontbreekt. Bijvoorbeeld: de koolstofverbindingen zitten deels in de automatische 'Black Carbon' (BC) metingen, maar er kan ook een deel ontbreken. Sommige metalen zijn wel gemeten, maar zijn toch niet meegenomen omdat ze van jaar tot jaar niet-verklaarbare sprongen vertonen (fosfor (P) en barium (Ba)), zie ook Figuur 4.2, of omdat ze grotendeels onder de detectiegrens zitten (beryllium (Be), arseen (As), yttrium (Y), tin (Sn) en platina (Pt)).

Het tweedimensionale factor model (PMF) voor de individuele dataset op de locaties IJmuiden, Wijk aan Zee en Beverwijk hebben we opgelost met de Multilineair Engine (ME-2; Paatero, 1999). Vanwege de beperkingen van de datasets, waarbij sprake is van verschillende tijdsresoluties voor verschillende sets van componenten, is hierbij het zogenaamde '2-way factor analysis of data with multiple timing' toegepast (Zhou et al., 2004; Crespi et al., 2016; Forello, 2021). Met deze techniek is het mogelijk om datasets met verschillende resoluties als een geheel te analyseren. Zoals eerder aangegeven zijn de dagelijkse meetwaarden de ruggengraat van deze berekening. Hierdoor worden na de analyse de berekende resultaten voor de bijdragen van de factoren ook uitgedrukt als dagwaarden.

In dit rapport ligt de nadruk vooral op de jaargemiddelde bijdragen van de profielen en niet zozeer op de dagelijkse bijdrage. Door de samenstelling van de data voor metalen en PAK in PM₁₀ is de onzekerheid in deze dagelijkse bijdragen groter dan de onzekerheid in jaargemiddelden. Daarnaast zijn de gegevens van de drie locaties afzonderlijk geanalyseerd, waardoor de samenstelling van de berekende profielen verschillend kan zijn. Hierdoor is het gecompliceerd om de bronbijdragen op ongezonde dagen te berekenen en hieruit conclusies te trekken. De ongebruikelijke opbouw van de dataset leidt ertoe dat standaard applicaties voor de interpretatie van de resultaten niet kunnen worden gebruikt. Daardoor moest een substantieel deel speciaal voor deze toepassing geschreven worden. Omdat dit onderzoek diverse aanpassingen kent ten opzichte van de standaard toepassing, heeft het onderzoek in dit hoofdstuk een bepaald experimenteel karakter. Daarom worden de resultaten in het algemeen voorzichtig geformuleerd. Vanwege het ongebruikelijke karakter van de dataset is een internationaal samenwerkingsverband ontstaan voor de oplossing van de diverse reken-technische complicaties (zie ook Dankwoord).

4.2.6 *Ruimtelijke analyses*

Een van de resultaten van de analyse zijn de bijdragen van de berekende factoren, in dit geval de dagelijkse bijdrage van de factoren (G-matrix). De bijdrage van een bronprofiel op een dag is afhankelijk van de windrichtingen en windsnelheden die plaats hebben gevonden op deze dag. Met andere woorden: welke route heeft het luchtpakketje afgelegd voordat het bij het meetpunt was. De hoogste resolutie van de windrichting en windsnelheid van het dichtstbijzijnde KNMI-station zijn uurwaarden. De gemodelleerde factorbijdrage op een dag is dan ook het resultaat van deze windrichting en windsnelheid op de 24 uren in deze dag. Daarom zijn de dagelijkse berekende bijdragen van een factor gekoppeld aan de uurlijkse windrichtingen en snelheden van die dag. Met deze informatie kunnen we kijken waar de hoogste bijdragen van de factoren vandaan komen, onder de aanname dat de hoogste factorbijdrage gekoppeld is aan een directe emissie van een bestaande 'bron'. Zo draagt de ruimtelijke analyse bij aan de koppeling van de factoren aan bestaande bronprofielen.

Om de koppeling te maken tussen bijdragen van factoren en de meteogegevens, gebruiken we de Conditional Bivariate Probability Function (CBPF; Uria-Tellaetxe en Carslaw, 2014). In een CBPF-90-plot worden de 10% hoogste dagelijkse bijdragen over een periode van 3 jaar weergegeven. Omdat we hiervan weten welke windrichting en

windsnelheid aan deze bijdrages zijn gekoppeld, kunnen de hoogste bijdragen als functie van zowel de windrichting als van de windsnelheid worden geplot. De windsnelheid kan belangrijke informatie bevatten over het karakter en de afstand van de bron. De wind kan ook zelf de oorzaak van de bijdrage zijn, zoals bij opwaaiend stof. In dit geval worden de hoogste bijdragen verwacht bij harde wind. Om de diverse meetpunten te kunnen vergelijken, worden de CBPF-plots op een kaartje van het IJmondgebied geplot. Het nadeel daarvan is dat het de suggestie zou kunnen wekken dat de bron precies in het rode gebied zit terwijl het plaatje de condities, windrichting en snelheid, met de hoogste bijdragen weergeeft. Deze plots zeggen niets over de sterkte van de bronprofielen op verschillende locaties.

Een CPBF-plot werkt goed voor bronnen die niet te ver van het meetpunt zijn verwijderd (<50km; Uria-Tellaetxe en Carslaw, 2014). In het in dit rapport beschreven onderzoek ligt de nadruk voornamelijk op de bijdrage van lokale bronnen.

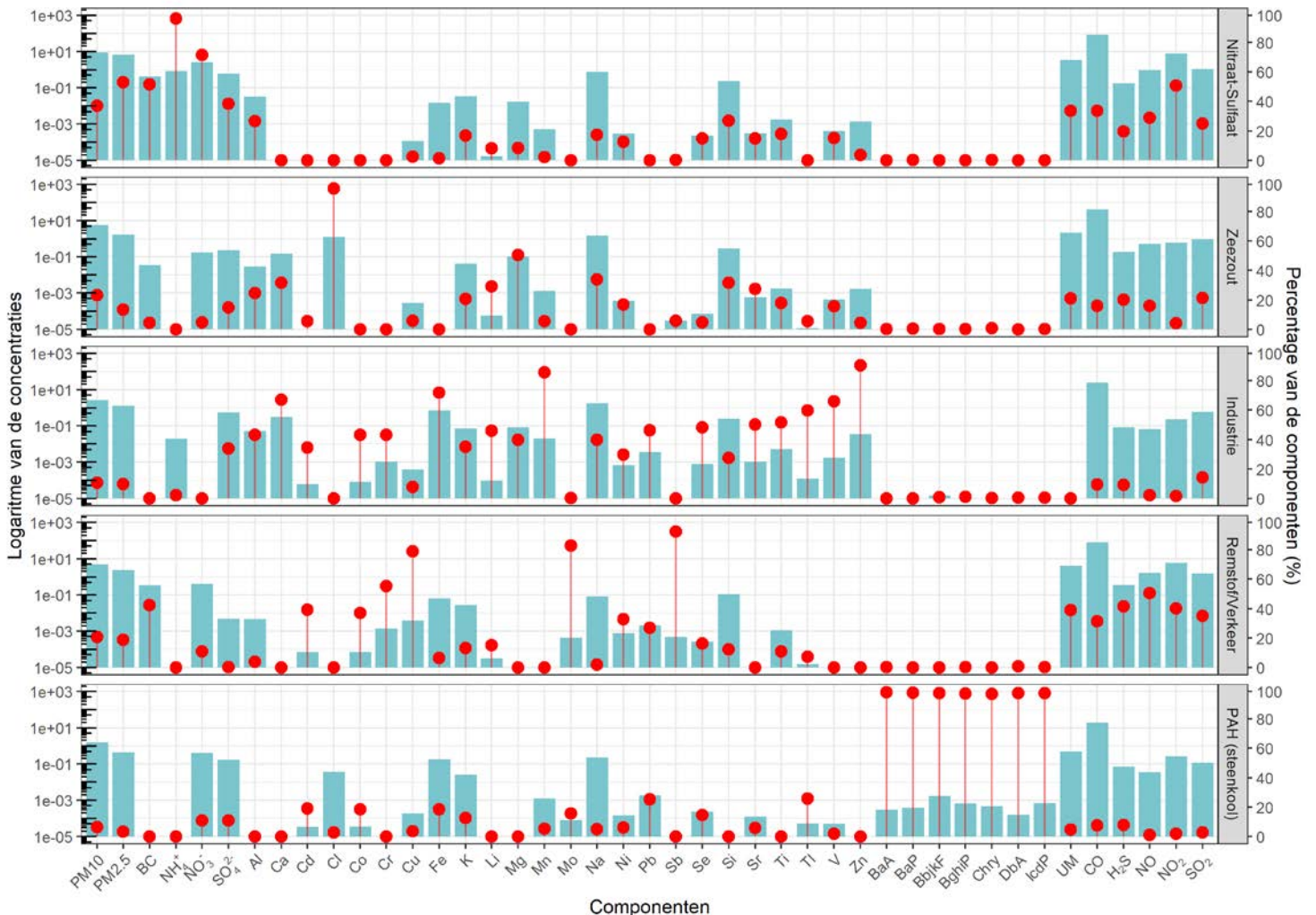
4.2.7 *Onzekerheden*

De onzekerheid van de gemiddelde bijdrage van de diverse factoren wordt beïnvloed door de dagelijkse variatie in de bijdrage, gedurende de meetperiode. Deze is weergegeven in Tabel 4.2 (zie paragraaf 4.3). Ook spelen de stabiliteit van de multivariate analyse en de meetonzekerheid een rol. Die staan beschreven in paragraaf 4.3.7.

4.3 **Resultaten**

Bij de PMF-analyse van de meetdata moet een aantal keuzes worden gemaakt. Een belangrijke keuze betreft het aantal factoren dat gebruikt gaat worden. Bij te weinig factoren in de analyse zullen twee of meer verschillende bronprofielen in één factor worden gedwongen. Bij te veel factoren in de analyse kan één bronprofiel over meerdere factoren worden verdeeld. Op basis van diverse analyses, waaronder de vergelijkingen tussen de uitkomsten voor vier tot zeven factoren op elke locatie, is uiteindelijk op alle meetlocaties gekozen voor vijf factoren. De analyse is, gelet op de genoemde problemen met de achtergrondwaarden, in twee varianten uitgevoerd, namelijk met en zonder correctie voor de achtergrond voor natrium en silicium. Beide analyses leverden vergelijkbare profielen op, waarbij bij de variant met vijf factoren en de blanco-correctie een onverklaarbare splitsing tussen Na en Cl ontstond. De dataset zonder correctie voor de bij de metingen genoemde problemen met de blanco's, voor zowel Na als Si, resulteerde voor vijf factoren in een door zeezout gedomineerde factor met meest plausibele verhouding tussen Na en Cl. De data, waarbij Na en Si niet zijn gecorrigeerd voor de blanco's, zijn geselecteerd voor verdere analyse. De problemen met de blanco's geven een extra onzekerheid voor de metingen van Na en Si. Deze onzekerheid is gedeeltelijk meegenomen door de onzekerheid van de metingen voor deze componenten op te hogen in de PMF-analyse. Hierdoor worden deze elementen minder belangrijk voor de uiteindelijke oplossing. Het is goed mogelijk dat er, bij een op een bronherkenning gerichte dataset, meer interessante profielen of opsplitsingen te vinden zijn, zoals eerder gevonden bij BOP en JOAQUIN.

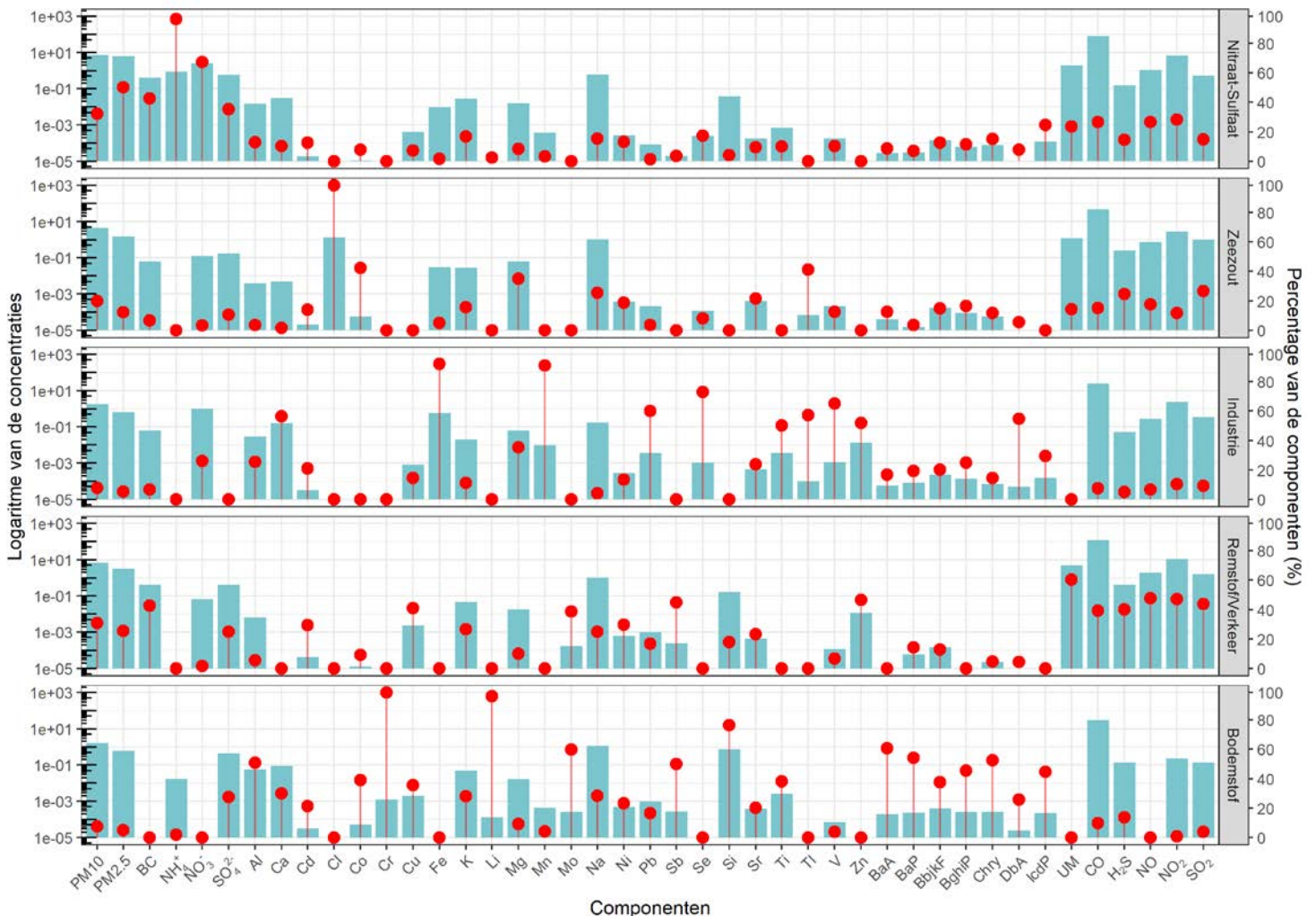
De chemische samenstelling van de vijf factoren is weergegeven in Figuur 4.3.a voor Wijk aan Zee en Figuur 4.3.b voor IJmuiden. De eerste twee weergegeven elementen in deze figuren zijn de gemeten concentraties van fijnstof, PM₁₀ respectievelijk PM_{2,5}. Een hoge bijdrage aan PM₁₀ betekent dat in de multivariate oplossing een groot deel van de gemeten PM₁₀-concentratie door dit profiel wordt beschreven. Naast de fijnstofcomponenten PM₁₀ en PM_{2,5} worden de diverse gemeten metalen en PAK in PM₁₀ weergegeven. De metalen en PAK zijn daarom onderdeel van de totale massa van fijnstof (PM₁₀). Als laatste hiervan wordt de unexplained mass (UM) weergegeven, die is toegevoegd om eventuele ontbrekende massa van onbekende componenten een plaats in de analyse te geven.



Figuur 4.3.a Chemische samenstelling van de vijf berekende profielen die zijn gevonden op basis van de meetresultaten in Wijk aan Zee. In de figuur zijn de blauwe balkjes de concentraties in het profiel in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (linker as) en de rode puntjes het percentage dat dit profiel van de totale gemodelleerde hoeveelheid van het betreffende element in de profielen beschrijft. De koppeling met bestaande bronprofielen wordt hierna toegelicht

Zoals te verwachten zijn de concentraties hoog voor de veelvoorkomende metalen ijzer (Fe), calcium (Ca) en natrium (Na), en

laag voor zeldzame metalen als cadmium (Cd) en selenium (Se). Let op dat voor de concentraties een logaritmische schaal wordt gebruikt om de grote verschillen tussen concentratieniveaus te kunnen weergeven. Daarnaast wordt in de figuur aangegeven hoe de totale bijdrage van een stof op deze locatie is verdeeld over de profielen (in procenten). Met andere woorden: het rode bolletje geeft aan hoeveel procent van de totale concentratie aan een stof in dit profiel zit en dit dient dus alleen verticaal vergeleken te worden. De hoogte van het berekende percentage, vergeleken met de percentages van andere stoffen, zegt niets over het verschil in bijdrage tussen deze stoffen binnen een profiel. Een hoge bijdrage van een stof in een factor wil nog niet zeggen dat deze stof verantwoordelijk is voor de totale PM₁₀-massa in dit profiel.



Figuur 4.3.b Chemische samenstelling van de vijf bronprofielen die zijn gevonden voor de PM₁₀-samenstelling in IJmuiden (zie Figuur 4.3.a voor een beschrijving van de weergave)

Op basis van de chemische samenstelling ontstaat al een eerste interpretatie van de factoren. Voor de herkenbaarheid van de beschrijving van de factoren wordt aan elke factor een label gehangen. Dit label is gebaseerd op bronprofielen met de belangrijkste bijdrage. Het kan echter voorkomen dat een factor bestaat uit een combinatie van

diverse bronprofielen. Bij het evalueren van deze labels zal hier dan ook rekening mee moeten worden gehouden. Meer informatie over het toekennen van de labels, en de betrouwbaarheid hiervan, wordt verder in dit hoofdstuk bekeken. Zoals eerder aangegeven spreken we na het vaststellen van de labels niet meer over factoren, maar over profielen.

- Op beide locaties wordt een factor gevonden met natrium (Na), chloride (Cl) en magnesium (Mg). Dit profiel labelen we daarom als *zeezout*.
- Op beide locaties wordt een factor gevonden met bijdragen van ijzer (Fe), mangaan (Mn), vanadium (V), lood (Pb), zink (Zn), seleen (Se) en titanium (Ti). Dit labelen we als *industrie*.
- Op beide locaties wordt een profiel gevonden met ammonium, nitraat en sulfaat. Dit labelen we als *nitraat en sulfaat*.
- Op beide locaties wordt een profiel gevonden met koper (Cu), molybdeen (Mo), roet (BC) en een ander deel van de gasvormige componenten (NO, NO₂). Dit labelen we als *remstof/verkeer*.
- In Wijk aan Zee wordt een profiel gevonden met veel PAK. Dit labelen we daarom als *PAK*. Dit profiel komt in IJmuiden en Beverwijk niet naar boven. (NB. Dit betekent niet dat er geen PAK wordt gemeten op meetpunten IJmuiden en Beverwijk).
- In IJmuiden en Beverwijk wordt een profiel gevonden met veel aluminium (Al) en silicium (Si) en dit labelen we daarom als *bodemstof*. Dit profiel komt voor Wijk aan Zee niet als apart profiel naar boven.

In Tabel 4.2 is voor alle locaties de gemiddelde concentratiebijdrage aan PM₁₀ per kalenderjaar voor elk van de berekende profielen weergegeven. De profielen konden bij de drie meetlocaties alleen via een afzonderlijke analyse worden bepaald. Dit betekent dat de profielen qua samenstelling niet identiek zijn voor de locaties en dat dus ook de absolute niveaus maar beperkt vergelijkbaar zijn. Daarnaast wordt in Tabel 4.2 ook het 95% betrouwbaarheidsinterval van de gemiddelde bijdragen per jaar weergegeven. In de laatste twee regels van de tabel wordt een vergelijking gemaakt tussen de totale PM₁₀-bijdrage van alle profielen met de gemeten PM₁₀-concentraties. Wat hierbij opvalt is dat, met uitzondering van 2018 in Beverwijk, er een overlap is tussen de betrouwbaarheidsintervallen van de berekende en gemeten PM₁₀-bijdrage. Deze overlap geeft aan dat er statistisch gezien geen significante verschillen bestaan tussen de gemiddelden van de berekende en gemeten PM₁₀-bijdragen. Hieruit concluderen we dat de berekende bijdrage van de profielen goed aansluit bij de gemeten PM₁₀-concentraties.

De primaire duiding van de profielen wordt in de volgende paragrafen beschreven. In Bijlage 1 is een extra nadere analyse per profiel gegeven.

Tabel 4.2 Gemiddelde concentratiebijdrage aan PM_{10} van elk profiel op elke locatie per kalenderjaar. Voor elk gemiddelde wordt het 95% betrouwbaarheidsinterval weergegeven op basis van de berekende bijdragen in een jaar. Alle concentraties zijn weergegeven in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Voor presentatiedoeleinden zijn de aan industrie gerelateerde profielen op Wijk aan Zee gecombineerd

Profiel	IJmuiden			Wijk aan Zee			Beverwijk		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019
Nitraat-sulfaat	7,2±1,1	7,8±1,0	6,6±0,9	8,9±1,2	10,2±1,3	8,1±1,1	6,4±1,0	7,5±1,0	6,1±0,9
Zeezout	4,9±0,5	3,5±0,4	5,0±0,6	5,4±0,6	5,5±0,8	6,2±0,7	2,9±0,3	2,5±0,3	3,0±0,3
Comb.Industrie	1,3±0,1	2,3±0,3	1,7±0,1	4,0±0,3	3,9±0,3	4,7±0,4	5,0±0,4	3,3±0,3	1,7±0,2
<i>industrie</i>	1,3±0,1	2,3±0,3	1,7±0,1	2,1±0,2	2,7±0,3	3,1±0,3	5,0±0,4	3,3±0,3	1,7±0,2
<i>PAK</i>				1,8±0,2	1,2±0,2	1,6±0,2			
Remstof/verkeer	7,0±0,6	7,6±0,6	6,2±0,4	4,6±0,5	4,9±0,5	5,8±0,5	3,0±0,3	3,5±0,3	4,8±0,3
Bodemstof	1,5±0,2	1,6±0,2	1,9±0,2				1,1±0,1	1,8±0,2	2,4±0,2
Berekend PM_{10}	21,9±0,9	22,9±0,9	21,4±0,8	22,9±1,3	24,5±1,3	24,8±1,1	18,4±1,0	18,5±1,0	17,9±0,9
Gemeten PM_{10}	20,6±1,0	23,8±1,1	21,3±1,0	24,4±1,1	25,7±1,1	24,9±1,0	19,8±1,0	20,7±0,9	19,8±1,0

4.3.1 Profiel: zeezout

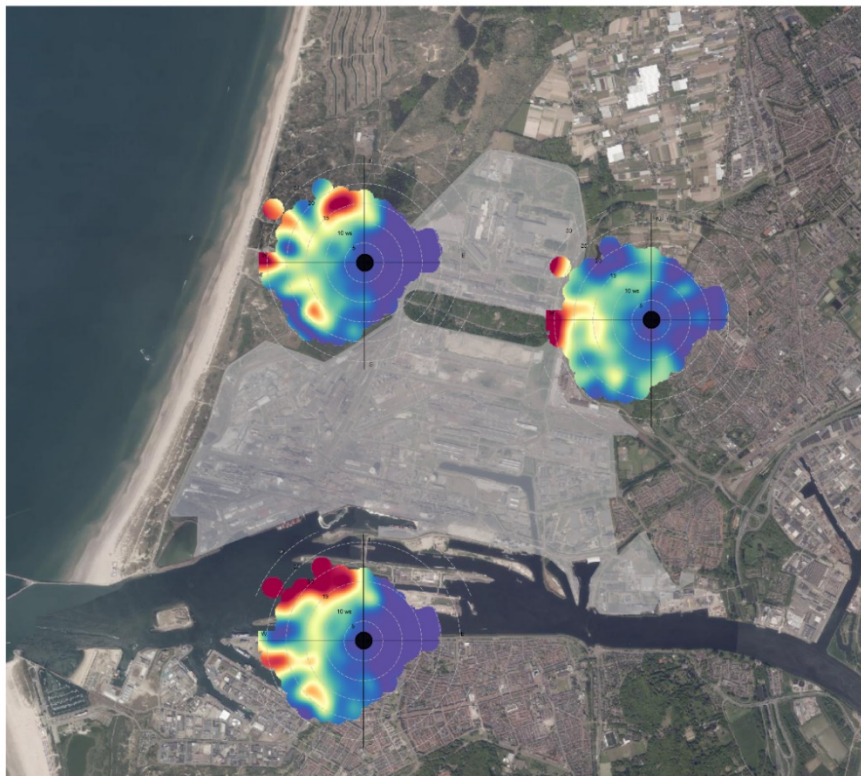
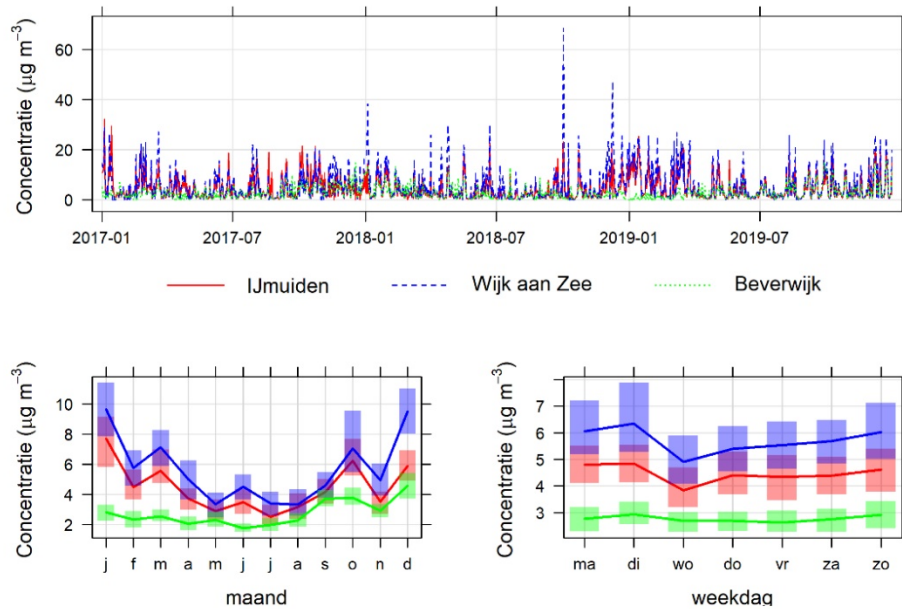
Het tijdprofiel van de berekende zeezoutbijdrage (de matrix G in vergelijking 1) is weergegeven in Figuur 4.4. Hier is een bijdrage per dag zichtbaar. Deze kunnen worden berekend, ondanks het feit dat veel metingen weekgemiddelden zijn, omdat in de dataset ook een aantal componenten is opgenomen dat wel dagelijks beschikbaar is.

In het tijdverloop is zichtbaar dat de berekende bijdrage van het zeezoutprofiel sterk varieert in de tijd. Gemiddeld is de berekende bijdrage over 2017-2019 ongeveer 3-6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ op de verschillende locaties en er komen berekende bijdrages voor boven de 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

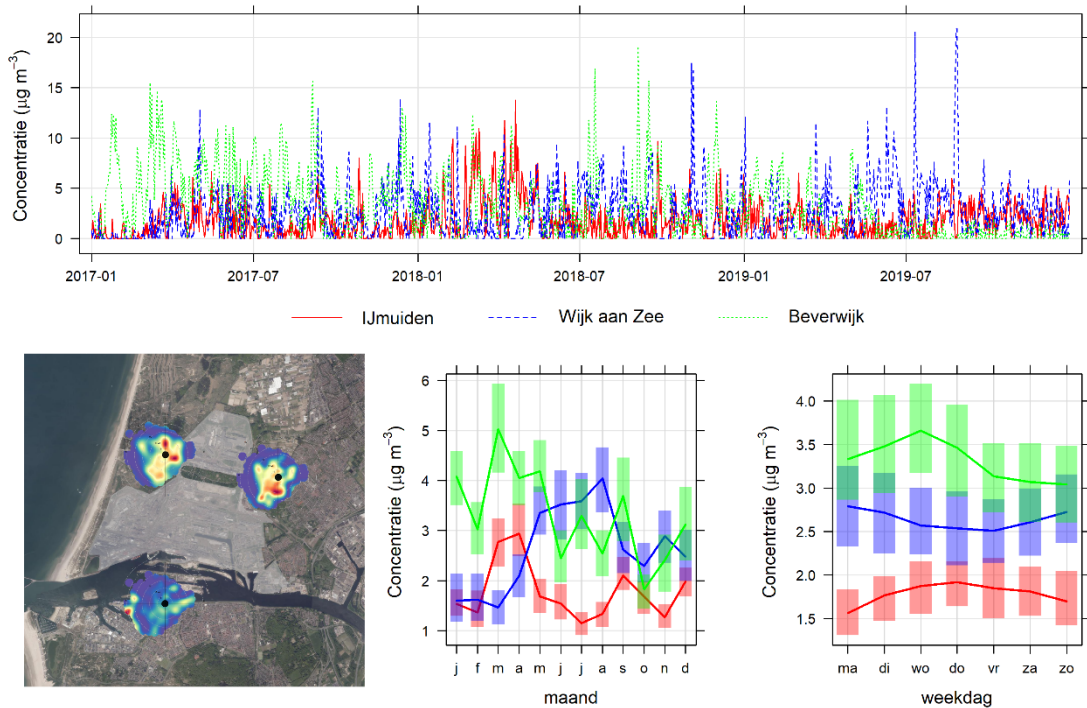
Hoge bijdrages van zeezout in Nederland zijn niet ongewoon. In Vredepeel, op ruim 125 km van de kust, zijn zeezoutbijdragen van $\sim 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gevonden (Hoogerbrugge et al., 2011). Het plaatje op de onderste rij van plaatje Figuur 4.4 toont de CBPF-plot (zie ook paragraaf 4.2.6 over ruimtelijke analyses) met het aandeel van de 10% hoogste bijdragen van een profiel per windrichting én windsnelheid. Het heeft de vorm van een klein assenstelsel. De richting vanuit het middelpunt correspondeert met de richting waar de wind vandaan komt. De afstand tot het middelpunt correspondeert met de windsnelheid waarbij die hoge concentratie is waargenomen.

Het profiel *zeezout*, met hoge bijdragen Na, Mg en Cl, toont de hoogste concentraties bij westenwind en is daarnaast ook vooral hoog bij hoge windsnelheden. Dit alles is consistent met een interpretatie dat dit voornamelijk een bijdrage van zeezout is. Immers, de zee ligt aan de westkant en van de zeezoutbijdrage is bekend dat deze toeneemt bij hoge windsnelheden omdat dan makkelijk druppeltjes ontstaan en verdampen (Manders et al., 2010). De twee plaatjes op de middelste rij van Figuur 4.4 toont de gemiddelde bijdrage per maand en per dag van de week van dit profiel. We zien geen significant verschil tussen de dagen van de week en juist wel tussen de maanden.

De bijdrage van het zeezoutprofiel aan de PM_{10} -concentratie is hoger in Wijk aan Zee dan in IJmuiden, maar het ontloopt elkaar niet zoveel. De bijdrage in Beverwijk is het laagst. De bovenstaande bevindingen zijn allemaal consistent met wat je voor een bijdrage van zeezout kunt verwachten en geeft vertrouwen voor de resultaten van de methode.



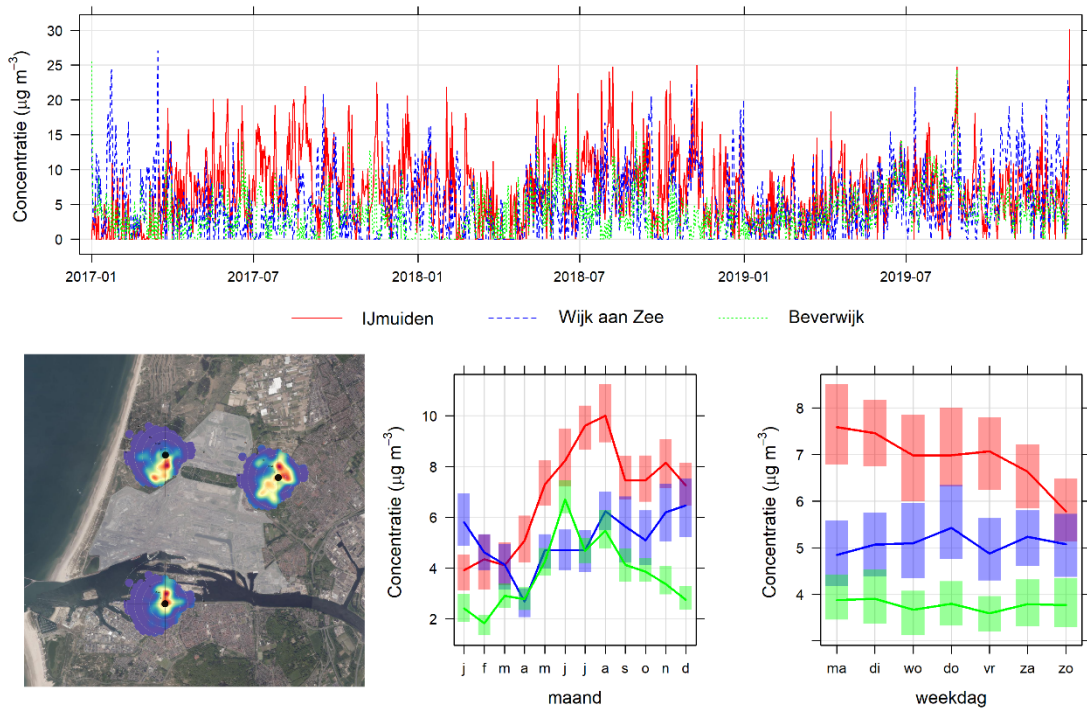
Figuur 4.4 Berekende bijdrage van het profiel zeezout in Wijk aan Zee, IJmuiden en Beverwijk aan de PM₁₀-concentratie. Het bovenste plaatje toont het verloop in de tijd. De middelste rij toont van links naar rechts het verloop over de maand van het jaar en over de dag van de week met een 95% betrouwbaarheidsinterval. Op de laatste rij wordt hier een CBPF-windanalyse weergegeven. Achtergrond CBPF: Luchtfoto Actueel Ortho HR (Kadaster, www.pdok.nl, 2021) CC BY 4.0. Tata Steelterrein (IBIS, 2020)

Profiel: industrie

Figuur 4.5 Berekende bijdrage van het industrieprofiel in Wijk aan Zee, IJmuiden en Beverwijk aan de PM₁₀-concentratie. Het bovenste plaatje toont het verloop in de tijd. De onderste rij toont van links naar rechts een windanalyse, het verloop over de maand van het jaar en over de dag van de week met een 95% betrouwbaarheidsinterval. Een grotere versie van de CBPF plot is te vinden in Bijlage 1. Achtergrond CBPF: Luchtfoto Actueel Ortho HR (Kadaster, www.pdok.nl, 2021) CC BY 4.0. Tata Steelterrein (IBIS, 2020)

Het tijdprofiel met hoge bijdragen van ijzer, mangaan, vanadium, lood, seleen, zink en titanium en gelabeld als industrie, is weergegeven in Figuur 4.5. De bijdrage van dit profiel is in Beverwijk en Wijk aan Zee groter dan in IJmuiden. De plot van de windrichtingen van dit profiel in Beverwijk en Wijk aan Zee wijst voornamelijk in de richting van het Tata Steelterrein. Er lijkt in Wijk aan Zee echter ook een bijdrage uit het noorden te komen. Dit zou kunnen duiden op een extra bijdrage buiten het Tata Steelterrein vanuit deze richting. De bijdrage van het profiel in Wijk aan Zee is in de zomer duidelijk groter dan in de winter. Dit zou op verwaaiing, onder droge omstandigheden, kunnen wijzen. De kleinere bijdrage van dit profiel in IJmuiden vertoont een hogere bijdrage in het voorjaar en dan vooral in het voorjaar van 2018. Wellicht was hier sprake van een tijdelijke bijdrage van een andere bron dan de belangrijkste bron(nen) die Wijk aan Zee en Beverwijk beïnvloed(t)(en). Het verloop over de dagen van de week geeft, op de locaties, geen significant onderscheid tussen werkdagen en weekenddagen, wat wijst op een bron zonder sterk weekritme.

4.3.2 Profiel: remstof/verkeer



Figuur 4.6 Berekende bijdrage van het profiel remstof/verkeer in Wijk aan Zee, IJmuiden en Beverwijk aan de PM_{10} -concentratie. Het bovenste plaatje toont het verloop in de tijd. De onderste rij toont van links naar rechts een windanalyse, het verloop over de maand van het jaar en over de dag van de week met een 95% betrouwbaarheidsinterval. Een grotere versie van de CBPF-plot is te vinden in Bijlage 1. Achtergrond CBPF: Luchtfoto Actueel Ortho HR (Kadaster, www.pdok.nl, 2021) CC BY 4.0. Tata Steelterrein (IBIS, 2020)

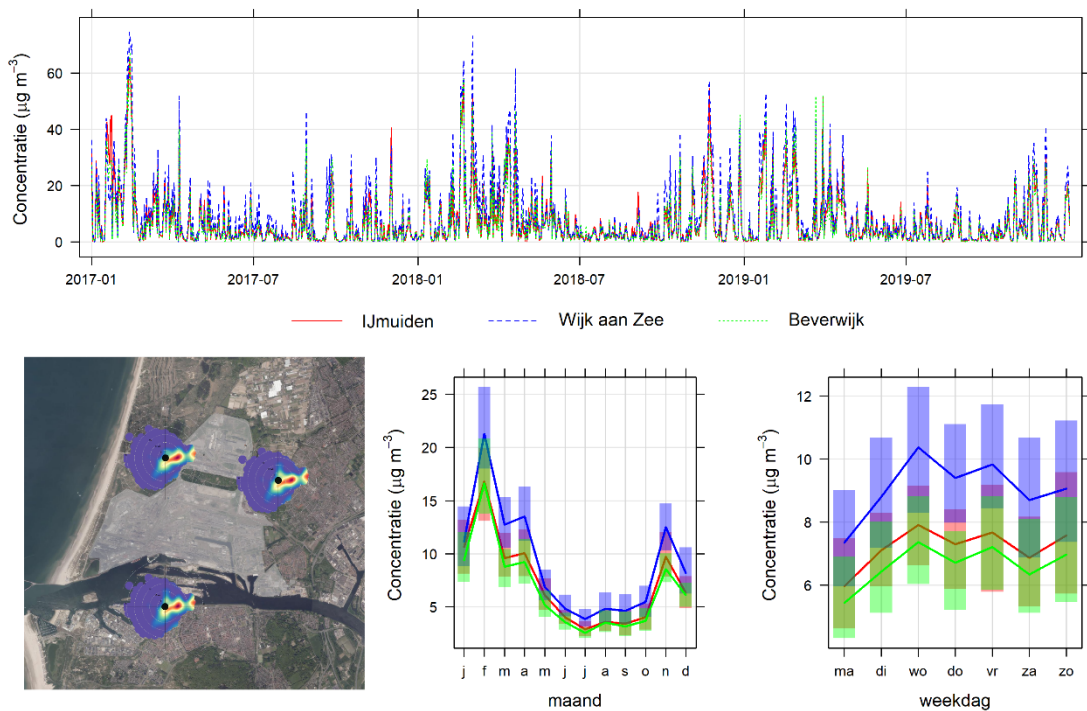
Voor het profiel remstof/verkeer is de gemiddelde bijdrage in IJmuiden ($\sim 7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) iets groter dan die in Wijk aan Zee en Beverwijk (resp. ~ 5 en $\sim 3 \mu\text{g}/\text{m}^3$). De belangrijkste bron voor het profiel remstof/verkeer lijkt in Wijk aan Zee in zuidelijke richting gezocht te moeten worden en in IJmuiden in noordelijke richting. Verkeer en remstof kunnen afkomstig zijn van het reguliere verkeer op de nabij gelegen drukke wegen of van voertuigen, mobiele werktuigen en meerdere knooppunten van treinsporen op het Tata Steelterrein. We zien in Wijk aan Zee geen duidelijk verschil tussen werk- en weekenddagen, wat erop wijst dat deze bron niet wordt gedomineerd door het woon-werkverkeer. In IJmuiden is de bijdrage van dit profiel op maandag en dinsdag significant hoger dan op zondag, maar over het algemeen kan worden geconstateerd dat de bijdrage gedurende werkdagen iets hoger is dan in het weekend. Voor de meeste dagen is deze verhoging niet significant voor de periode 2017-2019. De figuur met bijdragen per maand suggereert dat er een hogere bijdrage is van dit profiel in de zomermaanden. Dit kan wijzen op een extra bijdrage tijdens droge perioden.

In het CBPF-windprofiel in Figuur 4.6 zijn de windrichting en de windsnelheid weergegeven. De windsnelheid geeft informatie over de aard van de bron. In Wijk aan Zee zien we dat er ook hoge concentraties voorkomen bij flinke wind uit het zuiden. Dat zou kunnen wijzen op opgewelend materiaal (wind als bron).

4.3.3

Nitraatrijk en sulfaatrijk profiel

Het profiel met dominante bijdragen van nitraat en sulfaat toont van de vijf profielen de grootste gemiddelde bijdrage aan de PM_{10} -concentraties ($7-9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) op alle locaties. Het profiel bestaat vooral uit de zouten ammoniumnitraat, en in mindere mate ammoniumsulfaat. De bijdrage van het nitraatrijk en sulfaatrijk profiel is sterk seizoensafhankelijk, met hogere bijdragen in de winter.

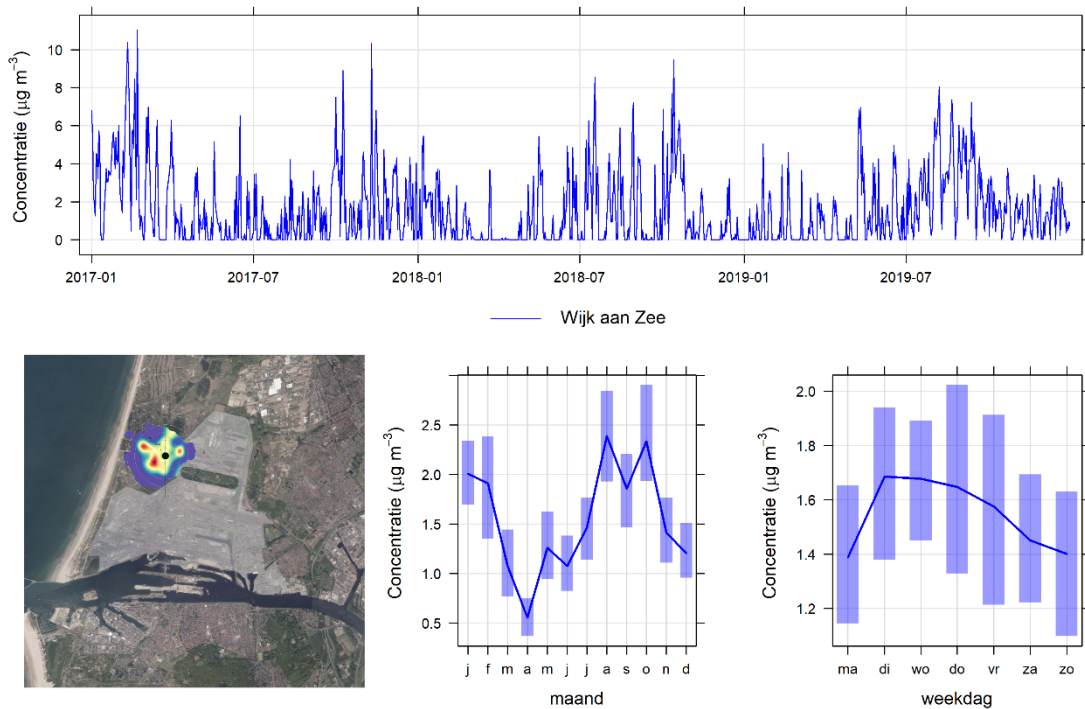


Figuur 4.7 Berekende bijdrage van het langeafstand (nitraat en sulfaat) profiel in Wijk aan Zee, IJmuiden en Beverwijk aan de PM_{10} -concentratie. Het bovenste plaatje toont het verloop in de tijd. De onderste rij toont van links naar rechts een windanalyse, het verloop over de maand van het jaar en over de dag van de week met een 95% betrouwbaarheidsinterval. Een grotere versie van de CBPF plot is te vinden in Bijlage 1. Achtergrond CBPF: Luchtfoto Actueel Ortho HR (Kadaster, www.pdok.nl, 2021) CC BY 4.0. Tata Steelterrein (IBIS, 2020)

De vorming van ammoniumzouten is zowel afhankelijk van de aanwezigheid van ammoniak (denk aan hogere ammoniakconcentraties tijdens het uitrijseizoen voor mest) als van stikstofoxide en zwaveloxide. Voor het nitraatrijk en sulfaatrijk profiel zien we dat de hoogste bijdragen worden gevonden als de wind uit het oosten komt. Dit is ook in BOP en JOAQUIN geobserveerd (Mooibroek et al., 2011; 2016) en is te verklaren met dat in oostelijke richting zowel bronnen van ammoniak als van stikstofoxides en zwavel zijn te vinden. Dit profiel was alleen te bepalen door metingen van de SIA-componenten van het

achtergrondstation in De Zilk te benutten. Lokale gradiënten, waarvan overigens maar een beperkte invloed te verwachten is, zullen hierdoor worden gemaskeerd.

4.3.4 PAK-profiel

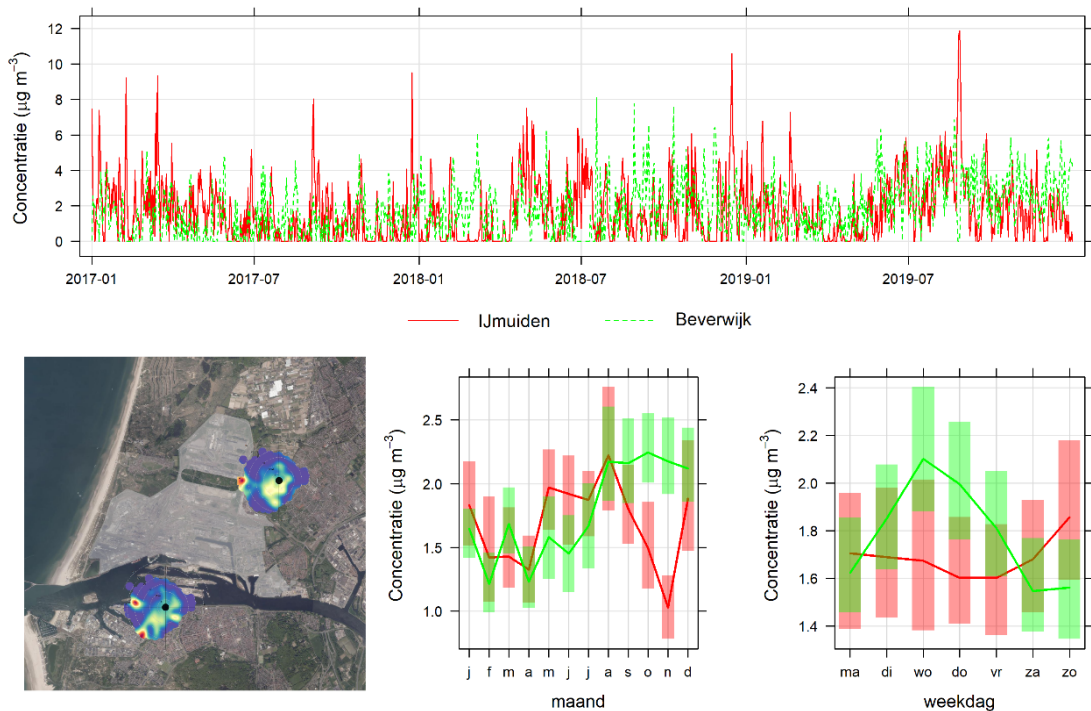


Figuur 4.8 Berekende bijdrage van het PAK-profiel in Wijk aan Zee. Het bovenste plaatje toont het verloop in de tijd. De onderste rij toont van links naar rechts een windanalyse, het verloop over de maand van het jaar en over de dag van de week met een 95% betrouwbaarheidsinterval. Een grotere versie van de CBPF plot is te vinden in Bijlage 1. Achtergrond CBPF: Luchtfoto Actueel Ortho HR (Kadaster, www.pdok.nl, 2021) CC BY 4.0. Tata Steelterrein (IBIS, 2020)

Alleen in Wijk aan Zee zijn dominante bijdragen van een profiel met daarin alle gemeten PAK-bijdragen gevonden; de PAK in IJmuiden werden verdeeld over meerdere profielen. Het profiel bestaat niet alleen uit de geselecteerde PAK en bevat een bijdrage van NO_3^- , SO_4^{2-} , UM en van een aantal metalen die voornamelijk voor de PM_{10} -massa van het profiel zorgen. De bijdrage van dit profiel aan PM_{10} is gemiddeld $\sim 1\text{-}2 \mu\text{g/m}^3$ en daarmee relatief klein, maar sterk wisselend in de tijd. De analyse van de windprofielen plaatst de hoogste concentratie bijdragen ten westen van het meetpunt. Daarnaast komen ook bij andere windrichtingen hogere bijdragen voor. De hoogste bijdrage van dit profiel wordt gevonden bij lage windsnelheden. Dit zou kunnen duiden op een bron die vrij dicht bij het meetpunt ligt. De gemiddelden over de dagen van de week laten geen duidelijke structuur zien. De grafiek met de verdeling over de maanden toont twee hoge perioden, namelijk januari-februari (voornamelijk door hoge berekende bijdragen in 2017) en augustus t/m oktober (hoge berekende bijdragen in 2019). Het sterk wisselende karakter wordt geïllustreerd in Figuur 4.8, met ook de

analyse van de windsnelheid. De hoogste bijdragen worden waargenomen in perioden met weinig wind. Dit zou kunnen wijzen op een diffuus proces dat zich relatief dicht bij het meetpunt afspeelt. Liberti et al. (2006) definieerden twee brede categorieën voor de emissies van industriële installaties. De eerste categorie zijn schoorstenen en de tweede categorie zijn vluchtige emissies, bijvoorbeeld lekkage via cokesovenafdichtingen (Liberty et al., 2006). Daarnaast zijn er ook cyclische bijdragen van PAK-emissies te verwachten, bijvoorbeeld door het laden en lossen van kolen (Liberty et al., 2006; Stella et al., 2012).

4.3.5 Profiel: bodemstof



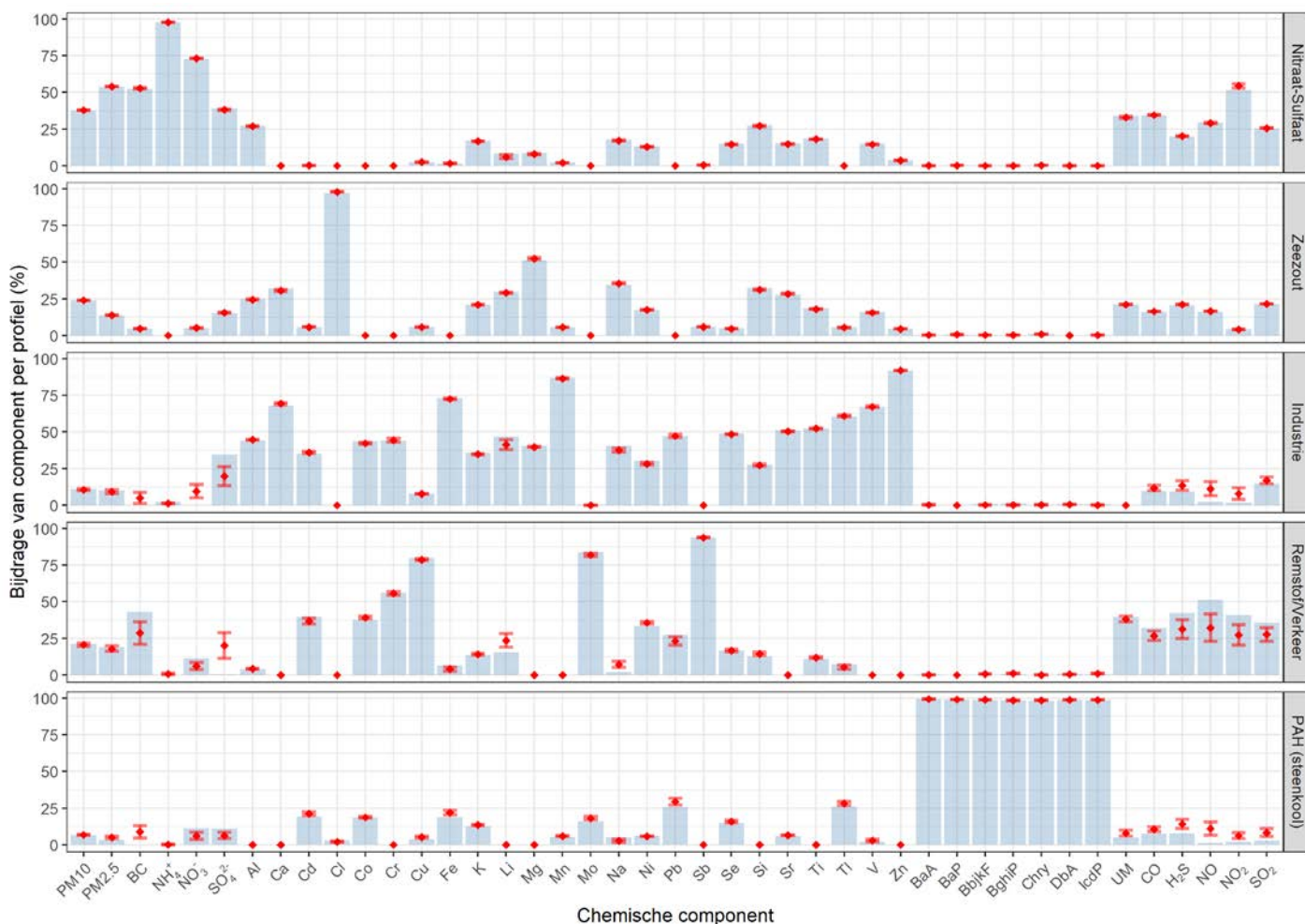
Figuur 4.9 Berekende bijdrage van het profiel bodemstof in IJmuiden en Beverwijk aan de PM₁₀-concentraties. Het bovenste plaatje toont het verloop in de tijd. De onderste rij toont van links naar rechts een windanalyse, het verloop over de maand van het jaar en over de dag van de week met een 95% betrouwbaarheidsinterval. Een grotere versie van de CBPF plot is te vinden in Bijlage 1. Achtergrond CBPF: Luchtfoto Actueel Ortho HR (Kadaster, www.pdok.nl, 2021) CC BY 4.0. Tata Steelterrein (IBIS, 2020)

Het profiel bodemstof dat is gevonden toont voor beide locaties een aantal hoge concentraties bij harde wind in westelijke richting. Dit zou kunnen wijzen op een bijdrage door verwaaiing. Het gemiddelde over elk van de twaalf maanden in de gebruikte meetperiode laat voor IJmuiden een verhoging in de zomermaanden zien. Dit is consistent met bodemstof, aangezien juist in de zomer het stof kan opdrogen en verstuiven. In Beverwijk zit de periode met de hoogste concentraties in de tweede helft van het jaar. Het verloop over de diverse dagen van de week toont geen significante verschillen en dus ook geen duidelijk

onderscheid tussen werkdagen en weekenddagen. Dit geeft aan dat bij verdere lokalisering van de bron eerder aan een proces gedacht moet worden dat redelijk continu over de week verloopt dan aan een proces met een duidelijk onderscheid over de dagen, zoals het algemene woon-werkverkeer. De bijdrage van dit profiel bodemstof komt waarschijnlijk deels van het Tata steelterrein (zie windanalyse Beverwijk) maar is daar niet toe beperkt (zie windanalyse IJmuiden). Bodemstof kan sowieso op allerlei plaatsen hoge pieken geven, zoals onder meer is gebleken uit analyse van metingen in Drenthe (Berkhout et al., 2011).

4.3.6 *Onzekerheden*

De onzekerheden in de hier gepresenteerde resultaten zijn onder meer afhankelijk van de onzekerheid in de metingen. De onzekerheid in de metingen wordt bepaald door de detectiegrens bij lage concentraties, en door de relatieve standaarddeviatie bij hoge concentraties. De detectiegrens en relatieve standaarddeviatie van de gebruikte componenten worden in Bijlage 1 weergegeven. Een additionele bron van onzekerheid is de stabiliteit van de multivariate oplossing bestaande uit de factoren en bijdragen (zie paragraaf 4.2.5). In deze paragraaf gaan we verder in op de stabiliteit van gelijkwaardige oplossingen. De stabiliteit van de oplossingen kan tegenvallen als er vrijwel gelijkwaardige oplossingen worden gevonden met sterk verschillende profielen (zogenaamde rotatievrijheidsgraad). Een indicatieve analyse daarvoor wordt verkregen door de analyse meerdere keren uit te voeren met wisselende startconditie. In deze vergelijking hebben we 25 oplossingen uit een set van 250 runs geselecteerd die de laagste Q-waarden gaven. Deze set oplossingen bevat ook de oplossing waarop de volledige uitwerking van deze analyse is gebaseerd. Om deze te kunnen vergelijken met de rest, is deze zogenaamde base oplossing uit de set gehaald. De spreiding in het resultaat van de 24 resterende oplossingen is te zien in Figuur 4.10, met de bijdragen van de componenten in de verschillende profielen. Sommige elementen verschuiven tussen twee profielen, met name tussen het profiel bodemstof, het profiel industrie en het profiel remstof/verkeer. De grootschalige profielen van zeezout en nitraat-sulfaat zijn zeer stabiel. Deze indicatieve onzekerheidsanalyse kan een onderschatting geven. Bij een meer volledige onzekerheidsanalyse zou ook een groot aantal analyses moeten worden uitgevoerd waarbij sub sets van metingen worden vervangen (DISP en BS-DISP (Paatero et al., 2014)). Deze onzekerheidsanalyse is momenteel nog niet beschikbaar voor de toegepaste analysetechniek, en op dit moment past het niet binnen de randvoorwaarden van deze studie om dit te ontwikkelen en uit te voeren. Een dergelijke onzekerheidsanalyse is wel mogelijk bij een eventueel hoog kwalitatief vervolg waarbij alle data in dezelfde tijdsresolutie zijn gemeten. Conform Bellis et al. (2019) is het ook zeker aan te bevelen om de onzekerheden in de profielen te bepalen. Daarnaast zal in deze studie de kwaliteit van de berekende profielen ook worden beïnvloed door het feit dat een aantal belangrijke elementen niet op locatie zelf maar in De Zilk is gemeten (zie ook paragraaf 4.2.2).



Figuur 4.10 Stabiliteit van de oplossing (WAZ). De blauwe balkjes zijn de bijdrage van de componenten per profiel voor de oplossing met de laagste Q-waarde. Het rode puntje geeft het gemiddelde aan van de 24 profielen met de daarop volgende laagste Q-waarde. De marges die worden weergegeven zijn het 95% betrouwbaarheidsinterval, waarbij waarden < 0 op 0% zijn gesteld. De figuren voor IJM en BEV zijn opgenomen in Bijlage 1

Tabel 4.3 Gemiddelde concentratiebijdrage aan PM_{10} van elk profiel. Het 95% betrouwbaarheidsinterval is geschat als 2 maal de standaarddeviatie van $n=25$ oplossingen. Alle concentraties zijn weergegeven in $\mu g/m^3$. De PM_{10} is berekend als modelmatig onderdeel van het profiel

Profiel	IJmuiden PM_{10}	Wijk aan Zee PM_{10}	Beverwijk PM_{10}
Nitraat en sulfaat	7,21 ± 0,03	9,1 ± 0,08	6,52 ± 0,25
Zeezout	4,58 ± 0,23	5,77 ± 0,14	2,53 ± 0,36
Remstof/verkeer	6,69 ± 0,55	4,99 ± 1,31	3,29 ± 0,69
Industrie	1,40 ± 0,60	2,55 ± 0,88	3,41 ± 0,51
Bodemstof	2,12 ± 0,64		2,48 ± 1,21
PAK		1,63 ± 0,43	
Totale bijdrage	22,00 ± 0,09	24,05 ± 0,03	18,23 ± 0,07

De spreiding in elk van de bijdragen is bepaald door de 25 beste oplossingen te vergelijken. De massa toerekening kan op meerdere manieren worden vastgesteld. In dit rapport kijken we naar de bijdrage van PM_{10} dat in de statistische analyse aan het profiel wordt toegekend. Impliciet wordt de bijdrage van UM hierbij meegenomen. Deze manier van toekenning is in de rest van het rapport toegepast met de data van de beste oplossing. Deze oplossing kan iets kan afwijken van het gemiddelde van de top 25.

Het 95% betrouwbaarheidsinterval in Tabel 4.3 is een maat voor de spreiding in de door het model toegewezen bijdrage van PM_{10} voor elk profiel. Met andere woorden: dit interval laat zien welke verschuivingen (rotatievrijheden) er zijn in deze bijdrage. Des te hoger dit interval, des te groter de verschuivingen in PM_{10} -bijdrage. Zo kunnen we bijvoorbeeld uit Tabel 4.3 zien dat het nitraatrijk en sulfaatrijk profiel een stabielere PM_{10} -bijdrage heeft dan bijvoorbeeld het profiel remstof/verkeer.

Ondanks de mogelijke verschuivingen tussen componenten in verschillende oplossingen wordt de oplossing met de laagste Q-waarde altijd als definitieve oplossing genomen. Zeker bij voldoende runs met verschillende startwaarden (in deze studie 250 runs) is het aannemelijk dat juist die oplossing zich in een globaal minimum bevindt.

4.4 Discussie

4.4.1 *Vergelijking met JOAQUIN*

In de periode april 2013 - mei 2014 zijn op vijf West-Europese locaties PM_{10} -filters bemonsterd en geanalyseerd in het Joint Air Quality Initiative (JOAQUIN) project. Hierbij zaten Wijk aan Zee en Amsterdam als Nederlandse locaties. De meetstrategie was zo ontworpen dat deze kon worden benut voor een bronherkenning voor alle vijf de steden. Voor de PMF-analyse zijn de metingen van de vijf steden samengevoegd tot één dataset (Mooibroek et al., 2016). In totaal zijn vijftien profielen gevonden. Dit aantal is groot, wat vermoedelijk wordt veroorzaakt doordat locaties relatief ver van elkaar verwijderd liggen. Wijk aan Zee en Amsterdam hadden beide een grote gemiddelde bijdrage van stoffen die in de lucht worden gevormd (ammoniumnitraat en ammoniumsulfaat), waarmee ook kan worden verwacht dat de bijdrage weinig lokale verschillen kent (grootschalig). Wijk aan Zee had een iets grotere bijdrage van zeezout, wat overeenkomt met het feit dat Wijk aan Zee dichterbij de kust ligt dan Amsterdam. De bijdrage van verkeer was groter in Amsterdam en de bijdrage van industrie en zeescheepvaart was groter in Wijk aan Zee. Al deze resultaten waren erg plausibel en gaven vertrouwen in de rekentechniek in combinatie met de in JOAQUIN gekozen meetstrategie. De profielen zeezout, ammoniumnitraat-sulfaat, industrie en verkeer die nu zijn gevonden, kwamen ook in de JOAQUIN-studie naar voren. Echter in de JOAQUIN konden veel meer profielen ontrafeld worden, wat naast de diversiteit in locaties waarschijnlijk ook mogelijk was doordat de meetstrategie meer op bronherkenning was toegesneden. De onzekerheden in de onderhavige studie zijn waarschijnlijk groter dan in de JOAQUIN-studie. In de paragraaf over onzekerheden is een aantal geïnventariseerd.

Een andere beperking van het huidige onderzoek, in vergelijking met JOAQUIN, is het feit dat de data van de diverse locaties niet tot één dataset kunnen worden gecombineerd. De consequentie hiervan is dat de profielen op de drie locaties uit onafhankelijke analyses komen, en dat compliceert de vergelijking. Dit speelt op indien we de bijdrage van de profielen op de drie locaties met elkaar willen vergelijken. De gemeten concentraties in de IJmond zijn ook in het verleden geanalyseerd teneinde een relatie met een bron te kunnen leggen (Nijhuis en van Strien, 2015; De Jonge, 2015). De resultaten zijn niet per brontype uitgesplitst en ze zijn daarmee niet een-op-een te vergelijken met de hier gevonden factoren.

Het feit dat de monsters in het algemeen zijn samengevoegd, betekent dat de relatie tussen het tijdstip met hoge concentraties en de metingen verwatert. Dit is nadelig voor de scherpheid van de profielen in het algemeen en kent ook expliciete nadelen. Voor de interpretatie van de profielen zijn de windrichting en de windsnelheid cruciaal. Ze geven inzicht in de locatie van een bron maar ook in de bronkarakteristiek, zoals een hoge pijp, een diffuus proces of verwaaiing. De kans dat de wind redelijk constant is, over een meetperiode van ongeveer een week, is veel kleiner dan de kans dat dit gedurende een dag zo is. Indien we een relatie willen leggen tussen de bijdrage van profielen en effecten op het welzijn van de bewoners, helpt het ook als de dagmonsters niet worden gemengd maar los worden geanalyseerd. Dan kan zeer waarschijnlijk een betere relatie worden gelegd tussen de specifieke momenten die de bewoners als 'ongezonde dagen' beschrijven, de waargenomen concentraties en de bijdrage van de diverse bronprofielen. Bij de ervaren 'ongezonde dagen' kunnen, naast fijnstof, ook andere componenten een rol spelen. Zoals grof stof of irriterende of stinkende gassen. Er kunnen ook andere lokale bronnen een rol spelen. Met name bij houtrook kan de analyse van de monosacharide levoglucosaan, die vrijkomt bij onvolledige verbranding van biomassa zoals hout, onderscheidend zijn.

In de data-analyse is de meeste tijd gaan zitten in opbouwen van de analysesystematiek. Een analyse van de beschikbare meetdata van de GGD Amsterdam of eventuele nieuwe data kan relatief snel worden uitgevoerd.

4.5 Conclusies en aanbevelingen

4.5.1 Conclusies

Op basis van de resultaten van dit hoofdstuk is een aantal conclusies en aanbevelingen geformuleerd.

- De meetstrategie die wordt gebruikt voor samenstellingsmetingen in het luchtmeetnet is gericht op jaargemiddelde concentraties van elementen die voor de gezondheid relevant zijn. Deze strategie is niet op optimaal voor bronherkenning. Zo worden monsters van verschillende dagen samengevoegd. Daarnaast heeft het filtermateriaal storende componenten. Mede door het grote aantal geanalyseerde metalen zijn er desondanks in Wijk aan Zee, IJmuiden en Beverwijk toch elk vijf herkenbare profielen geïdentificeerd. Het ligt voor de hand dat bij een set aan metingen die echt is gericht

op bronherkenning meer en scherpere profielen zijn te identificeren en daarmee beter inzicht kan worden verkregen in de bronnen. Dit geldt voor gemiddelde bijdragen en ook voor de bijdragen op specifieke dagen.

- Twee profielen hebben geen of een kleine bijdrage van lokale (menselijke) bronnen. Dit zijn het profiel nitraat-sulfaat, dat wordt geassocieerd met bronnen op grote afstanden, en het profiel zeezout. Zij zijn samen goed voor ongeveer de helft van de jaargemiddelde PM₁₀-concentraties.
- Er is een profiel remstof/verkeer gevonden met veel koper met een geschatte profielbijdrage van 3 tot 7 µg/m³. Het verloop in de tijd wijst op een dominante bijdrage vanaf het Tata Steelterrein.
- Er is een profiel industrie gevonden met veel ijzer en mangaan met een geschatte profielbijdrage van ongeveer 1 tot 3 µg/m³ aan de PM₁₀-jaargemiddelde concentraties. Met name in Wijk aan Zee lijkt de bijdrage vanaf het Tata Steelterrein dominant. Toch is het niet uitgesloten dat een deel van de bijdrage in het hier gevonden profiel niet rechtstreeks van het Tata Steelterrein komt.
- In Wijk aan Zee is een tweede profiel industrie gevonden met naast andere belangrijke bijdragen ook vrijwel alle PAK. De geschatte bijdrage van dit profiel aan de jaargemiddelde PM₁₀-concentraties is circa 1,6 µg/m³. De bijdrage van de twee profielen industrie in Wijk aan Zee komt daarmee op ~4 µg/m³.
- In IJmuiden en Beverwijk is een profiel bodemstof gevonden met aluminium en silicium. Dit profiel draagt ongeveer 2 µg/m³ bij aan de jaargemiddelde PM₁₀-concentraties.
- De PMF-analyse wijst op een aanzienlijke bijdrage van lage/diffuse bronnen en mogelijk verwaaiing.

4.5.2 Aanbevelingen

Indien een scherpere bronherkenning is gewenst op basis van meetdata uit het luchtmeetnet, worden de volgende aanpassingen aan de meetstrategie aanbevolen:

- Selecteer dagen waarop zo veel mogelijk componenten worden gemeten in plaats van mengmonsters. Dit zorgt niet alleen voor een beter onderscheidend vermogen tijdens de PMF-analyse, maar maakt het ook mogelijk om de bronsamenstelling op 'ongezonde dagen' te bepalen (zie ook Mooibroek et al., 2016).
- Analyseer naast de metalen en PAK ook de ammoniumzouten, chloride en het gehalte van elementair en organisch koolstof (EC/OC) voor een sluitende massabalans. Daarnaast worden de analyses van markers voor de bijdrage van houtstook (levoglucosaan, manosan en galactosan) aangeraden.
- Gebruik filtermateriaal met minder verontreinigende bijdragen aan de samenstellingsanalyses. Als dat niet mogelijk is, helpt het ook als er minder variatie in de verontreinigende bijdrage uit de filters is (met andere woorden: dat de verontreiniging in elke filter min of meer constant is over de gehele batch).

Naast fijnstof spelen er in het IJmondgebied andere issues die hinder veroorzaken, zoals geur en wellicht grof stof. Als die simultaan worden gemeten, kunnen ze mogelijk ook in de bronherkenning worden meegenomen.

5 Conclusie, discussie en aanbevelingen

5.1 Conclusies

In dit onderzoek stond de volgende vraag centraal: 'Waar komen stoffen in de lucht en op de grond in de IJmond vandaan, met name op dagen die als ongezond worden ervaren?' Op basis van bestaande data zijn verschillende wetenschappelijke analyses uitgevoerd om hier meer inzicht in te krijgen. Hiervoor zijn drie verschillende aanpakken gebruikt. Ten eerste is een verdere analyse uitgevoerd op de aanwezigheid van PAK en metalen in de depositie. Ten tweede zijn de in de lucht gemeten concentraties fijnstof, PAK en metalen in het fijnstof in het IJmondgebied vergeleken met gemodelleerde concentraties. Deze gemodelleerde concentraties zijn gebaseerd op de emissies die in de emissiejaarverslagen van Tata Steel zijn gerapporteerd. Ten derde is door middel van Positive Matrix Factorization een indicatieve bronherkenning uitgevoerd op de bestaande samenstellingsmetingen van PAK en metalen van het luchtmeetnet. Hoewel deze analyses meer inzicht geven, kan de precieze bijdrage van de verschillende bronnen aan de aanwezigheid van PAK en metalen, en in het bijzonder van Tata Steel, niet vastgesteld worden.

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste conclusies per aanpak beschreven. Op basis van deze bevindingen is een aantal aanbevelingen geformuleerd die handvatten kunnen bieden voor mogelijke stappen om de onderzoeksvraag beter te kunnen beantwoorden.

5.1.1 *Depositie*

De depositiemetingen maken duidelijk dat de emissies van Tata Steel – en mogelijk ook die van Harsco Metals en Pelt & Hooykaas – fors bijdragen aan de depositie van PAK en metalen in de omgeving. Deze bijdrage is het grootst in Wijk aan Zee en bij de meetlocatie Reyndersweg. Daarnaast is de bijdrage ook waarneembaar op de andere meetlocaties in de IJmond. Deze bevindingen worden bevestigd door recente metingen van Small et al. (2021), die de samenstelling van ruim dertig omgevingsmonsters in het IJmondgebied onderzochten.

Een aanmerkelijk deel van het neergedaalde stof is waarschijnlijk afkomstig van bronnen aan de westzijde van het terrein, waar verschillende opslagen van ijzererts, steenkool, kalksteen en andere grondstoffen liggen, en van opwaaiend stof van het terrein. Echter, ook emissies uit de verschillende processen van de staalfabricage dragen bij aan de verhoogde depositie. Dat geldt in het bijzonder voor de bijdrage van PAK-emissies door de productie van cokes.

Naast Tata Steel dragen ook andere bronnen bij aan de depositie van PAK en metalen. Te denken valt aan andere industriële bronnen, scheepvaart, trein- en wegverkeer, afvalverbranding en elektriciteitsopwekking en natuurlijke bronnen zoals opwaaiend bodemstof en zand. Stofdeeltjes afkomstig van bouwmaterialen, vuurwerkresten en 'historische' bodemverontreiniging kunnen eveneens bijdragen aan de depositie. Op grond van onze analyses kan geen

onderscheid worden gemaakt in de afzonderlijke bijdragen van deze verschillende bronnen.

Omdat uit de risicobeoordeling bleek dat de hoeveelheid lood aangetroffen in de depositie ongewenst is voor de gezondheid, is nog specifiek naar lood gekeken in de analyse. De depositie van lood is op alle meetlocaties in de IJmond structureel verhoogd. Om verschillende redenen is niet goed vast te stellen wat de precieze bijdrage van Tata Steel en andere bronnen is aan de looddepositie in de IJmond.

5.1.2

Vergelijken gemeten en gemodelleerde concentraties

Fijnstof, PAK en metalen in het fijnstof in de lucht in het IJmondgebied zijn op verschillende locaties zowel gemeten als gemodelleerd. Voor de modelberekeningen is uitgegaan van de emissies die in de emissiejaarverslagen van Tata Steel zijn gerapporteerd aan de Emissieregistratie. Uit de vergelijking blijkt dat de gemodelleerde concentratiebijdragen van fijnstof in de lucht over het algemeen goed overeenkomen – binnen de onzekerheden – met de gemeten concentratiebijdragen. Bij het meetpunt Reyndersweg is het verschil groter, maar vanwege de ligging van het meetpunt op korte afstand van bronnen op het Tata Steelterrein is de onzekerheid in de modellering relatief groot. De gemodelleerde PAK-concentratiebijdragen zijn veel en significant lager dan de gemeten concentratiebijdragen. Voor sommige PAK is het verschil zelfs een factor 1000. Deze verschillen tussen de gemodelleerde en gemeten waarden vallen buiten de onzekerheden van meten en modelleren. Dit duidt op onvolledige broninformatie over emissies van PAK. De concentraties metalen in fijnstof in de lucht worden in het algemeen ook lager berekend dan de gemeten waarden. Het verschil is kleiner dan bij de PAK en is verschillend voor de diverse metalen. De onderschatting varieert van maximaal circa een factor 5 voor lood tot circa een factor 50 voor koper. Voor een aantal metalen is het verschil niet significant.

Hoewel dit onderzoek niet tot doel had om de oorzaak van de verschillen tussen meten en modelleren te onderzoeken, zijn er meerdere mogelijke oorzaken te noemen. Zo zijn de emissies van sommige bronnen op het Tata Steelterrein niet bekend in de Emissieregistratie. Dit zijn bijvoorbeeld de emissies van de bedrijven Harsco Metals en Pelt & Hooykaas. Ook is onbekend of alle emissies bij incidenten op het Tata Steelterrein in beeld zijn. Uit de literatuur blijkt dat diffuse emissies (emissies die niet uit schoorstenen komen) in belangrijke mate kunnen bijdragen aan PAK-concentraties in de omgeving van staalindustrie. In de modelberekeningen zijn diffuse emissies echter niet meegenomen. Dit zou een mogelijke oorzaak kunnen zijn van het verschil tussen de gemodelleerde en gemeten concentratiebijdragen. Ook is het mogelijk dat emissies worden onderschat en lager worden opgegeven dan dat ze daadwerkelijk zijn. Deze zaken kunnen leiden tot een onderschatting van de opgegeven emissies.

Doordat de gemodelleerde PAK-concentratiebijdragen en in mindere mate metalen niet goed overeenkomen met de gemeten concentratiebijdragen, kan geen uitspraak worden gedaan welke bronnen verantwoordelijk zijn voor de gemeten concentratiebijdrage vanuit het Tata Steelterrein.

5.1.3 *Positive Matrix Factorization*

Er is een indicatieve bronherkenning uitgevoerd op de bestaande samenstellingsmetingen van PAK, metalen, en elementen in fijnstof op de twee locaties die daar het meest geschikt voor zijn (meetpunt Wijk aan Zee en IJmuiden). Voor sommige analyses zijn ook de data van meetpunt Beverwijk meegenomen. De analyse van deze dataset was uitdagend omdat de metingen op het luchtmeetnet voor een ander doel dan bronherkenning worden uitgevoerd, namelijk voor het vaststellen van de jaargemiddelde concentraties. Hiervoor worden filters samengenomen om analyses op PAK en metalen uit te voeren. Desondanks zijn op de locaties vijf herkenbare bronprofielen geïdentificeerd. Deze profielen geven op dagbasis een inschatting van de bijdragen van dat profiel aan de luchtkwaliteit op het meetpunt.

Een aantal bronprofielen wijst op een herkomst van de stoffen vanaf het Tata Steelterrein. Hierin zit de bulk van de meeste waargenomen metalen en PAK. Het bronprofiel met de meeste metalen bevat niet veel PAK en vice versa. Hoewel deze analyse leidt tot inzicht in een aantal profielen, is het op basis van de huidige meetstrategie maar beperkt mogelijk om goed vast te stellen welke bronnen precies verantwoordelijk zijn voor de stoffen in de lucht, in het bijzonder op dagen dat de luchtkwaliteit als ongezond wordt ervaren.

5.1.4 *Samenvattend*

Tata Steel rapporteert in het e-MJV voor emissies van metaal en PAK naar de lucht alleen de procesemissies uit schoorstenen. Andere bronnen van metalen en PAK, bijvoorbeeld diffuse emissies via openingen in de gebouwen, maken geen onderdeel van uit de verplichte elektronische milieujaarverslagen. Met de emissies uit de Emissieregistratie worden in modelberekeningen de bijdragen van Tata Steel aan metaal- en PAK-concentraties in fijnstof in het algemeen onderschat ten opzichte van metingen. De op metingen gebaseerde bronherkenning (PMF) wijst op een aanzienlijke bijdrage van lage/diffuse bronnen en mogelijk op verwaaiing. Ook de depositiemetingen in het IJmondgebied wijzen op een grote bijdrage van diffuus en verwaaiend fijnstof én grof stof. Uit de verschillende analyses blijkt dat de grootste bron(nen) van metalen niet per se de grootste bron(nen) van de PAK is (zijn), zowel qua depositie als concentraties in de lucht.

5.2 **Aanbevelingen**

- 1) Als er beter inzicht is gewenst in de bronnen die stoffen naar de lucht uitstoten, wordt aanbevolen om te werken aan een zo compleet mogelijke melding en registratie van de genoemde emissies. Dit zou afgesproken kunnen worden in het kader van vergunningverlening en handhaving. Voor het Tata Steelterrein gaat het dan in het bijzonder om de bronnen die metalen en PAK uitstoten. Aanbevolen wordt om dan ook aandacht te besteden aan lage en diffuse bronnen, zoals de bijdrage van fijnstof en grof stof aan de uitstoot van metalen en PAK. Ook kan het melden en registreren van emissies bij incidenten bijdragen aan betere broninformatie. Op basis van deze broninformatie kan – met behulp van rekenmodellen – beter worden vastgesteld waar stoffen vandaan komen en ontstaat er een beter beeld van de

- emissies, concentraties in de lucht, ook buiten de meetpunten, en mogelijk van de effectiviteit van potentiële maatregelen.
- 2) De meetstrategie op de meetlocaties van het luchtmeetnet is afgestemd op het vaststellen van de jaargemiddelde concentraties. Als op basis van data uit het luchtmeetnet meer inzicht is gewenst in de bronbijdrage van specifieke bronnen, dan is een andere meetstrategie nodig. In die meetstrategie is het belangrijk identiek te meten voor alle componenten en locaties en ook de metingen te registreren per dag. Met zo'n meetaanpak is het ook mogelijk om een relatie te leggen met bijvoorbeeld incidenten met bijzondere emissies. Belangrijk is dan om een aantal storende achtergrondbijdragen aan de elementen, zoals Na en Si, te reduceren, bijvoorbeeld door ander filtermateriaal te gebruiken. In dit onderzoek is niet onderzocht hoe een dergelijke meetstrategie concreet moet worden uitgewerkt.
 - 3) Om het effect van emissiebeperkende maatregelen in relatie tot depositie te monitoren, is het aan te bevelen om na invoering van maatregelen gedurende enkele jaren de hoeveelheid depositie van PAK en metalen in de IJmond te meten. Hiermee kan worden gemonitord of de depositie van PAK en metalen daadwerkelijk vermindert. Dit kan verschillende jaren na elkaar worden gedaan, wat inzicht geeft in trends van de hoeveelheden stofdepositie. Aanbevolen wordt om dit twee maal per jaar te rapporteren, bijvoorbeeld in het voorjaar en het najaar. Op die manier worden ook mogelijke seizoensinvloeden op de emissies en weersomstandigheden meegenomen.

Dankwoord

Voor dit rapport heeft het RIVM onderzoek gedaan naar bronnen van stoffen in de IJmond. Een groot aantal mensen heeft dit mogelijk gemaakt. Daarom willen we de volgende mensen bedanken voor hun inzet voor dit onderzoek:

De collega's van Centrum Veiligheid en Centrum Milieukwaliteit voor het kritisch meedenken over de aanpak en de inhoudelijke review.

Collega's Ben Bom en Jacques Stroh van de Centrale Facilitaire Ondersteuning, afdeling 'Rekenen en data GIS' worden vriendelijk bedankt voor het maken van de figuren met de staafdiagrammen in hoofdstuk 2.

GGD Amsterdam, in het bijzonder Dave de Jonge, en Omgevingsdienst Noordzeekanaalgebied, in het bijzonder Erik Petit en André Veenings, voor het beschikbaar stellen van data, het geduldig beantwoorden van vele vragen en de uitgebreide review.

For the work presented in chapter 4 and the subsequent scientific manuscript (in press) we would like to thank Dr. Uwayemi Sofowote from the Ontario Ministry of the Environment, Conservation and Parks (Canada) and Dr. Philip Hopke (Bayard D. Clarkson Distinguished Professor Emeritus, Clarkson University (Potsdam, USA) and Adjunct Professor, Department of Public Health Sciences, University of Rochester School of Medicine and Dentistry (Rochester, USA) for their valuable time, comments and additional research thusfar on this subject.

Referenties

Abbasi, S., Wahlström, J., Olander, L., Larsson, C., Olofsson, U. and Sellgren, U. (2011) 'A study of airborne wear particles generated from organic railway brake pads and brake discs', *Wear*. Elsevier BV, 273(1), pp. 93-99. doi: 10.1016/j.wear.2011.04.013.

Agrawal, H., Malloy, Q.G.J., Welch W.A., Miller J.W., Cocker D.R. (2008) In-use gaseous and particulate matter emissions from a modern ocean going container vessel, *Atmospheric Environment*, **42**: 5504-5510.

Almeida S.M., Lage J., Fernández B., Garcia S., Reis M.A., Chaves P.C. (2015) Chemical characterization of atmospheric particles and source apportionment in the vicinity of a steelmaking industry. *Science of the Total Environment*, **521-522**: p. 411-420.

Amato, F., Schaap, M., Denier van der Gon, H.A.C., Pandolfi, M., Alastuey, A., Keuken, M. and Querol, X. (2013) Short-term variability of mineral dust, metals and carbon emission from road dust resuspension. *Atmospheric Environment*, **74**, pp. 134-140. doi: 10.1016/j.atmosenv.2013.03.037.

Beddows D.C.S. and Harrison R.M. (2018) Identification of specific sources of airborne particles emitted from within a complex industrial (steelworks) site. *Atmospheric Environment*, **183**: p. 122-134.

Belis, C.A., Karagulian, F., Amato, F., Almeida, M., Artaxo, P., Beddows, D.C.S., Bernardoni, V., Bove, M.C., Carbone, S., Cesari, D., Contini, D., Cuccia, E., Diapouli, E., Eleftheriadis, K., Favez, O., El Haddad, I., Harrison, R.M., Hellebust, S., Hovorka, J., Jang, E., Jorquera, H., Kammermeier, T., Karl, M., Lucarelli, F., Mooibroek, D., Nava, S., Nøjgaard, J.K., Paatero, P., Pandolfi, M., Perrone, M.G., Petit, J.E., Pietrodangelo, A., Pokorná, P., Prati, P., Prevot, A. S. H., Quass, U., Querol, X., Saraga, D., Sciare, J., Sfetsos, A., Valli, G., Vecchi, R., Vestenius, M., Yubero, E. and Hopke, P.K. (2015) A new methodology to assess the performance and uncertainty of source apportionment models II: The results of two European intercomparison exercises. *Atmospheric Environment*, **123**: 240-250. doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.10.068.

Belis, C., Favez, O., Mircea, M., Diapouli, E., Manousakas, M., Vratolis, S., Gilardoni, S., Paglione, M., Decesari, S., Mocnik, G., Mooibroek, D., Salvador, P., Takahama, S., Vecchi, R. and Paatero, P. (2019) European guide on air pollution source apportionment with receptor models (Update 2019). Publications Office of the European Union. doi: 10.2760/439106.

Belis, C.A., Pernigotti, D., Pirovano, G., Favez, O., Jaffrezo, J.L., Kuenen, J., Denier van Der Gon, H., Reizer, M., Riffault, V., Alleman, L.Y., Almeida, M., Amato, F., Angyal, A., Argyropoulos, G., Bande, S., Beslic, I., Besombes, J.-L., Bove, M.C., Brotto, P., Calori, G., Cesari, D., Colombi, C., Contini, D., De Gennaro, G., Di Gilio, A., Diapouli, E.,

El Haddad, I., Elbern, H., Eleftheriadis, K., Ferreira, J., Vivanco, M.G., Gilardoni, S., Golly, B., Hellebust, S., Hopke, P.K., Izadmanesh, Y., Jorquera, H., Krajsek, K., Kranenburg, R., Lazzeri, P., Lenartz, F., Lucarelli, F., Maciejewska, K., Manders, A., Manousakas, M., Masiol, M., Mircea, M., Mooibroek, D., Nava, S., Oliveira, D., Paglione, M., Pandolfi, M., Perrone, M., Petralia, E., Pietrodangelo, A., Pillon, S., Pokorna, P., Prati, P., Salameh, D., Samara, C., Samek, L., Saraga, D., Sauvage, S., Schaap, M., Scotto, F., Sega, K., Siour, G., Tauler, R., Valli, G., Vecchi, R., Venturini, E., Vestenius, M., Waked, A. and Yubero, E. (2020) 'Evaluation of receptor and chemical transport models for PM₁₀ source apportionment', *Atmospheric Environment: X*, 5, p. 100053. doi: 10.1016/j.aeaoa.2019.100053.

Berkhout, H., van den Hoek K., Hoogerbrugge R. (2011) Stofwolken in Drenthe, *Tijdschrift Lucht* nr **3**: 10-11.

Brown, S.G. and Hafner, H.R. (2005) 'Multivariate Receptor Modeling Workbook', pp. 1-236

Caricchia, A.M., Chiavarini, S., Pezza, M. (1999) Polycyclic aromatic hydrocarbons in the urban atmospheric particulate matter in the city of Naples (Italy). *Atmospheric Environment* **33**: 3731-3738.

Cesari, D., Genga, A., Ielpo, P., Siciliano, M., Mascolo, G., Grasso, F.M., Contini, D. (2014) Source apportionment of PM_{2.5} in harbor-industrial area of Brindisi (Italy): Identification and estimation of the contribution of in-port ship emissions, *Science of the Total Environment* **497-498**: 392-400

Cetin B., Yatkin S., Bayram A., Odabasi M. (2007) Ambient concentrations and source apportionment of PCBs and trace elements around an industrialized area in Izmir, Turkey. *Chemosphere*, **69**: 1267-1277.

Ciaparra, D., Aries, E., Booth, M.-J., Anderson, D.R., Almeida, S.M., Harrad, S. (2009). Characterisation of volatile organic compounds and polycyclic aromatic hydrocarbons in the ambient air of steelworks. *Atmospheric Environment*, **43**: p. 2070-2079.

Crespi, A., Bernardoni, V., Calzolari, G., Lucarelli, F., Nava, S., Valli, G. and Vecchi, R. (2016) Implementing constrained multi-time approach with bootstrap analysis in ME-2: An application to PM_{2.5} data from Florence (Italy). *The Science of the total environment*, **541**: 502-511. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.08.159.

Czech, H., Schnelle-Kreis, J., Streibel, T., Zimmermann, R. (2017) New directions: Beyond sulphur, vanadium and nickel - About source apportionment of ship emissions in emission control areas. *Atmospheric Environment*, **163**: 190-191. doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.05.017.

Donahue, N.M., Robinson, A.L. and Pandis, S.N. (2009) Atmospheric organic particulate matter: From smoke to secondary organic aerosol. *Atmospheric Environment*, **43**(1): 94-106.
doi: 10.1016/j.atmosenv.2008.09.055.

Elberse J.E., Mennen M.G., Hoogerbrugge R., Mooibroek D., Zoch J.P., Dusseldorp A., Janssen N. (2021) Tussentijdse resultaten Gezondheidsonderzoek in de IJmond. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven. RIVM-rapport nr. 2021-0061.

<https://www.rivm.nl/publicaties/tussentijdse-resultaten-gezondheidsonderzoek-in-ijmond>

Emissieregistratie

<http://www.emissieregistratie.nl/erpubliek>

Erbrink Stacks Consult (2020) Verspreidingsberekeningen ZZS (zeer Zorgwekkende Stoffen) bij Tata Steel. Rapport 2020R013.

Franke J. (2013). Potential toxicity of unburned coal. Triton Environmetal Consultants Ltd., Canada.

<https://www.portvancouver.com/wp-content/uploads/2015/03/k-2013-01-21-fsd-discussion-of-potential-toxicity-of-unburned-coal-triton.pdf>

Forello, A. C. (2021) *Development and optimisation of experimental and modelling approaches to characterise high-time resolution atmospheric aerosol and its sources.*, PhD thesis, Università Degli Studi Di Milano. SRM 1649a.; *Urban Road Dust*; National Institute of Standards and Technology OR National Bureau of Standards; U.S. Department of Commerce: Gaithersburg, MD (6 december 2007).

Geraets L., Schulpen S. (2019). Inschatting gezondheidsrisico's grafietregen Wijk aan Zee. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven. Brief d.d. 3 juni 2019. DOI 10.21945/RIVM-rapportage-grafietregen-wijk-aan-zee.

<https://www.rivm.nl/documenten/inschatting-gezondheidsrisicos-grafietregen-wijk-aan-zee/>

Gezondheidsraad (2018) Gezondheidswinst door schonere lucht. Den Haag: Gezondheidsraad; publicatienr. 2018/01.

Gómez-Carracedo, M.P., Andrade, J.M., López-Mahía, P., Muniategui, S. and Prada, D. (2014) A practical comparison of single and multiple imputation methods to handle complex missing data in air quality datasets. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, **134**: 23-33. doi: 10.1016/j.chemolab.2014.02.007.

Grigoratos, T., Martini, G. (2015) Brake wear particle emissions: a review. *Environ. Sci. Pollut. Res.* <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3696-8>

Hendriks, C., Kranenburg, R., Kuenen, J., van Gijlswijk, R., Wichink Kruit, R., Segers, A., Denier van der Gon, H. and Schaap, M. (2013) The origin of ambient particulate matter concentrations in the Netherlands. *Atmospheric Environment*, **69**: 289–303. doi: 10.1016/j.atmosenv.2012.12.017.

Hoogerbrugge, R., Nguyen, P.L., Wesseling, J., Schaap, M., Wichink Kruit, R.J., Kamphuis, V., Manders, A.M.M., Weijers, E.P. (2011) Assessment of the level of sea salt in PM₁₀ in the Netherlands: Yearly average and exceedance days. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven. RIVM rapport 680704014.

Hoogerbrugge R. et al. (2021) Grootschalige concentratie- en depositiekaarten Nederland. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven. RIVM rapport 2021-0068.

Hulskotte, J.H.J., Roskam, G.D. and Denier van der Gon, H.A.C. (2014) Elemental composition of current automotive braking materials and derived air emission factors. *Atmospheric Environment*, **99**: 436-445. doi: 10.1016/j.atmosenv.2014.10.007.

Jang E., Alam M.S., Harrison R.M. (2013) Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban air using positive matrix factorization and spatial distribution analysis. *Atmospheric Environment*, **79**: 271-285.

Jonge, de, D. (2013) Datarapport luchtkwaliteit IJmond 2012. Rapportnr. GGD/LO 13-1112, GGD Amsterdam.

Jonge, de, D. (2014) Datarapport luchtkwaliteit IJmond 2013. Rapportnr. GGD/LO 14-1107, GGD Amsterdam.

Jonge, de, D. (2015) Datarapport luchtkwaliteit IJmond 2014. Rapportnr. 15-1125, GGD Amsterdam.

Jonge, de, D. (2015a) Evaluatie metingen 2011-2013 PM₁₀, PM_{2,5}, PAK en zware metalen in de IJmond. Rapportnr. 14-1138, GGD Amsterdam.

Jonge, de, D. (2016) Datarapport luchtkwaliteit IJmond 2015, rapportnr. 16-1128, GGD Amsterdam.

Jonge, de, D. (2017) Datarapport luchtkwaliteit IJmond 2016, rapportnr. 17-1107, GGD Amsterdam.

Jonge, de, D. (2018) Datarapport luchtkwaliteit IJmond 2017, rapportnr. 18-1131, GGD Amsterdam.

Jonge, de, D. (2019) Datarapport luchtkwaliteit IJmond 2018, rapportnr. 19-1138, GGD Amsterdam.

Jonge, de, D. (2020) Datarapport luchtkwaliteit IJmond 2019, rapportnr. 20-1125, GGD Amsterdam.

Jonge, de, D. (2021) Datarapport luchtkwaliteit IJmond 2020, rapportnr. 21-1101, GGD Amsterdam.

Josse, J. and Husson, F. (2016) missMDA: A Package for Handling Missing Values in Multivariate Data Analysis. *Journal of Statistical Software*. Foundation for Open Access Statistics, **70**(1). doi: 10.18637/jss.v070.i01.

Kavindra K., Sokhi R., Grieken R. van (2008) Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: Source attribution, emission factors and regulation. *Atmospheric Environment*, **42**: 2895-2921.

Khalili N.R., Scheff P.A., Holsen T.M. (1995) PAH source fingerprints for coke ovens, diesel and gasoline engines, highway tunnels, and wood combustion emissions. *Atmospheric Environment*, **29**: 533-542.

Khaparde, V.V., Bhanarkar A.D., Majumdar D., Rao C.V.C. (2016). Characterization of polycyclic aromatic hydrocarbons in fugitive PM₁₀ emissions from an integrated iron and steel plant. *Science of the Total Environment*. **562**: p. 155-163.

Koppejan, J. en De Bree, F. (2018). Kennisdocument houtstook in Nederland. Project PB201704. Procede Biomass BV (i.s.m. Bureau Blauw BV), Enschede.

<https://www.rvo.nl/sites/default/files/2018/09/Kennisdocument%20houtstook%2020180910definitief.pdf>

Lee, E., Chan, C. K. and Paatero, P. (1999) Application of positive matrix factorization in source apportionment of particulate pollutants in Hong Kong. *Atmospheric Environment*, **33**(19): 3201-3212. doi: 10.1016/S1352-2310(99)00113-2.

Lee, D. S. and Pacyna, J. M. (1999) An industrial emissions inventory of calcium for Europe. *Atmospheric Environment*, **33**(11): 1687-1697. doi: 10.1016/S1352-2310(98)00286-6.

Libasin, Z., Zia Ul-Saufie, A., Ahmat, H. and Nur Shaziayani, W. (2020) Single and Multiple Imputation Method to Replace Missing Values in Air Pollution Datasets: A Review, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 616, p. 012002. doi: 10.1088/1755-1315/616/1/012002.

Liberti, L., Notarnicola M., Primerano R., Zannetti P. (2006). Air pollution from a large steel factory: Polycyclic aromatic hydrocarbon emissions from coke-oven batteries. *Journal of the Air and Waste Management Association*. **56**(3): p. 255-260.

Lijzen J.P.A. (ed.). (2009) Historische immissies en depositie in de omgeving van Corus. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven. RIVM-rapport 601797001/2009. <https://www.rivm.nl/publicaties/historische-immissies-en-depositie-in-omgeving-van-corus-deelrapport-2-in-reeks>

Loxham, M., Cooper, M.J., Gerlofs-Nijland, M.E., Cassee, F.R., Davies, D.E., Palmer, M.R., Teagle, D.A.H. (2013) Physicochemical characterization of airborne particulate matter at a mainline underground railway station. *Environ. Sci. Technol.*, **47**: 3614-3622. <https://doi.org/10.1021/es304481m>

Manders, A.M.M., Schaap, M., Jozwicka, M., Arkel, F. van, Weijers, E.P. and Matthijsen, J. (2009) The contribution of sea salt to PM₁₀ and PM_{2.5} in the Netherlands. PBL report 500099004, Bilthoven, the Netherlands.

Marcazzan, G.M., Vaccaro, S., Valli, G. and Vecchi, R. (2001) Characterisation of PM₁₀ and PM_{2.5} particulate matter in the ambient air of Milan (Italy). *Atmospheric Environment*, **35**(27): 4639-4650. doi: 10.1016/S1352-2310(01)00124-8.

Masclat P., Mouvier G., Nikolaou K. (1986) Relative decay index and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Atmospheric Environment* **20**: 439-446.

Mazzei, F., D'Alessandro, A., Lucarelli, F., Nava, S., Prati, P., Valli, G. and Vecchi, R. (2008) Characterization of particulate matter sources in an urban environment. *The Science of the total environment*, **401**(1-3): 81-89. doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.03.008.

Mennen M.G., Geraets L., Burg W. ter, Elberse J.E., Putten E.M. van, Boshuis-Hilverdink M.E., Veen N.W. van (2021). Depositieonderzoek IJmond 2020. Monsternamen, analyse en risicobeoordeling van PAK en metalen in neergedaald stof binnen- en buitenshuis in de IJmondregio. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven. RIVM-rapport 2021-0110. <https://www.rivm.nl/publicaties/depositieonderzoek-ijmond-2020-monsternamen-analyse-en-risicobeoordeling-van-pak-en>

Molenaar, R. (2010) Vervolgonderzoek fijnstof emissies IJmond. Fase 1. DCMR Milieudienst Rijnmond.

Mooibroek, D., Schaap, M., Weijers, E.P. and Hoogerbrugge, R. (2011) Source apportionment and spatial variability of PM_{2.5} using measurements at five sites in the Netherlands. *Atmospheric Environment*, **45**: 4180-4191. doi: 10.1016/j.atmosenv.2011.05.017.

Mooibroek, D., Staelens, J., Cordell, R., Panteliadis, P., Delaunay, T., Weijers, E., Vercauteren, J., Hoogerbrugge, R., Dijkema, M., Monks, P.S., Roekens, E. (2016) PM₁₀ source apportionment in five north western European cities - Outcome of the Joaquin project. *Issues in Environmental Science and Technology*, **42**: 264-292.

Moreno, T., Querol, X., Alastuey, A., de la Rosa, J., Sanchez de la Campa, A. M., Minguillon, M.C., Pandolfi, M., Gonzales-Castanedo, Y., Monfort, E., Gibbons, W. (2010) Variations in vanadium, nickel and lanthanoid element concentrations in urban air. *Science of the Total Environment*, **408**(20): 4569-4579.

Nguyen, P.L. & Hoogerbrugge, R. (2014) Methods used to compensate for the effect of missing data in air quality measurements. RIVM letter report 2014-0079, Bilthoven.

Nijhuis N.J., Van Strien R.T. (2015). Fijnstof in de IJmond: Samenstelling en gezondheidskundige relevantie. Rapport in opdracht van Provincie Noord-Holland. GGD Amsterdam.

Norris, G., Duvall, R.M. and Brown, S. (2014) EPA Positive Matrix Factorization (PMF) 5.0 Fundamentals and User Guide, pp. 1-124.

Oravisjärvi K., Timonen K.L., Wiikinksoiki T., Ruuskanen A.R., Heinanen K., Ruuskanene J. (2003) Source contributions of PM_{2.5} particles in the urban air of a town situated close to a steel works. *Atmospheric Environment*, **37**: p. 1013-1022.

Paatero, P. (1999) The Multilinear Engine - A Table-Driven, Least Squares Program for Solving Multilinear Problems, Including then-Way Parallel Factor Analysis Model. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, **8**(4): 854–888. doi: 10.1080/10618600.1999.10474853.

Paatero, P. and Hopke, P. K. (2003) Discarding or downweighting high-noise variables in factor analytic models. *Analytica Chimica Acta*, **490**: 277-289. doi: 10.1016/S0003-2670(02)01643-4.

Paatero, P., Eberly, S., Brown, S.G. and Norris, G.A. (2014) Methods for estimating uncertainty in factor analytic solutions. *Atmospheric Measurement Techniques*, **7**: 781–797. doi: 10.5194/amt-7-781-2014.

Paatero, P. and Tapper, U. (1994) Positive matrix factorization: A non-negative factor model with optimal utilization of error estimates of data values. *Environmetrics*, **5**(2): 111–126. doi: 10.1002/env.3170050203.

Pacyna, J.M., Pacyna E.G. (2001) An assessment of global and regional emissions of trace metals to the atmosphere from anthropogenic sources worldwide. *Environ. Rev.*, **9**(4): 269-298.

Palmisani, J., Di Gilio, A., Franchini, S.A., Cotugno, P., Miniero, D.V., D'Ambruso, P. and de Gennaro, G. (2020) Particle-Bound PAHs and Elements in a Highly Industrialized City in Southern Italy: PM Chemical Characterization and Source Apportionment after the Implementation of Governmental Measures for Air Pollution Mitigation and Control. *International journal of environmental research and public health*, **17**(13): 4843. doi: 10.3390/ijerph17134843.

Pandolffi M., Gonzales-Castanedo Y., Alastuey A., de la Rosa J., Mandilla E., Sanchez da la Campa, A., et al (2011) Source apportionment of PM₁₀ and PM_{2.5} at multiple sites in the strait of Gibraltar by PMF: impact of shipping emissions. *Environmental Science pollution Research*, **28**: 260-269.

- Pandolffi, M., Mooibroek, D., Hopke, P., van Pinxteren, D., Querol, X., Herrmann, H., Alastuey, A., Favez, O., Hüglin, C., Perdrix, E., Riffault, V., Sauvage, S., van der Swaluw, E., Tarasova, O. and Colette, A. (2020) Long-range and local air pollution: what can we learn from chemical speciation of particulate matter at paired sites?. *Atmospheric Chemistry and Physics*, **20**(1): 409-429. doi: 10.5194/acp-20-409-2020.
- Pant, P. and Harrison, R.M. (2013) Estimation of the contribution of road traffic emissions to particulate matter concentrations from field measurements: A review. *Atmospheric Environment*, **77**: 78-97. doi: 10.1016/j.atmosenv.2013.04.028.
- Park, D., Oh, M., Yoon, Y., Park, E., Lee, K., 2012. Source identification of PM₁₀ pollution in subway passenger cabins using positive matrix factorization. *Atmospheric Environment*, **49**: 180-185.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.11.064>
- Pernigotti, D., Belis, C.A., Spanó, L. (2016) SPECIEUROPE: The European data base for PM source profiles. *Atmospheric Pollution Research*, 7 (2), pp. 307-314. DOI: 10.1016/j.apr.2015.10.007
<https://source-apportionment.jrc.ec.europa.eu/Specieurope/index.aspx>
- Pitchford, M., Poirot, R.L., Schichtel, B.A., Malm, W.C. (2009) Characterization of the Winter Midwestern Particulate Nitrate Bulge, *Journal of the Air & Waste Management Association*, **59**(9): 1061-1069. doi: 10.3155/1047-3289.59.9.1061
- Qing X., Yutong Z. and Shenggao L. (2015) Assessment of heavy metal pollution and human health risk in urban soils of steel industry city (Anshan), Liaoning, Northeast China. *Ecotox and Environ Safety* **120**: 377-385.
- Quinteros, M.E., Lu, S., Blazquez, C., Cárdenas-R.J.P., Ossa, X., Delgado-Saborit, J.-M., Harrison, R. M. and Ruiz-Rudolph, P. (2019) Use of data imputation tools to reconstruct incomplete air quality datasets: A case-study in Temuco, Chile. *Atmospheric Environment*, **200**: 40-49. doi: 10.1016/j.atmosenv.2018.11.053.
- Rachwal, M., Magiera, T., Wawer, M. (2015). Coke industry and steel metallurgy as the source of soil contamination by technogenic magnetic particles, heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons. *Chemosphere* **138**: 863-873.
- Remus, R., Aguado Monsonet, M. A., Roudier, S. and Delgado Sancho, L. (2013) *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production, Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control)*. Joint Research Centre, pp. 1-627. doi: 10.2791/97469.
- Schaap, M., Weijers, E.P., Mooibroek, D., Nguyen, L. (2010) Composition and origin of particulate matter in the Netherlands. PBL report 500099007, Bilthoven, the Netherlands.

Seibert, R., Nikolova, I., Volná, V., Krejčí, B. and Hladký, D. (2020) Air Pollution Sources' Contribution to PM_{2.5} Concentration in the Northeastern Part of the Czech Republic. *Atmosphere*. MDPI AG, **11**(5): 522. doi: 10.3390/atmos11050522.

Small J.A., Van Hoek C.J.G., Schollbach K., Moosavi-Khoonsari E., Van der Does F.J.L., Melzer S., De Jong T.P.R., De Bie T., Versfeld R.A., De Roo M., Van der Laan S.R. (2020). A method for analysis of nuisance dust from integrated steel works: chemical and mineralogical characteristics of contributing sources. *Environ Sci Eur* **32**: 135.

Small J.A., Van Hoek C.J.G., Van der Does F.J.L., Seinen A.-B., Melzer S., Tromp P., Van der Laan S.R. (2021). Screening coarse airborne dust for lead-rich phase occurrence during characterization of particle mineralogy, chemistry and provenance: application to deposits in the vicinity of an integrated steelworks. *Minerals* **11**:929.

Song, X.-H., Polissar, A. V. and Hopke, P. K. (2001) Sources of fine particle composition in the northeastern US. *Atmospheric Environment*, **35**(31): 5277–5286. doi: 10.1016/S1352-2310(01)00338-7.

Srivastava, R.K., Miller, C.A., Erickson, C. and Jambhekar, R. (2004) Emissions of sulfur trioxide from coal-fired power plants. *Journal of the Air & Waste Management Association*, **54**(6): 750–62. doi: 10.1080/10473289.2004.10470943.

Stella A., Piccardo M.T., Pala M., Balducci D., Cipolla M., Ceppi M., Valerio F. (2012). Temporal and spatial variations of polycyclic aromatic hydrocarbon concentrations around a coke oven plant. *Journal of the Air and Waste Management Association*, **62**(9): 1003-1011.

Sverdrup, H.U., Johnson, M.W. and Flemming, R.H. (1942) Chemistry of Sea Water, in: *The Oceans Their Physics, Chemistry, and General Biology*. New York: Prentice-Hall, Inc., pp. 165-227.

Taiwo A.M., Harrison R.M., Shi Z. (2014) A review of receptor modelling of industrially emitted particulate matter. *Atmospheric Environment*, **97**: 109-120.

Thorpe, A., Harrison, R.M. (2008) Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: a review. *Sci. Total Environ.* **400**: 270-282. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.06.007.

Thunis, P., Clappier, A., Tarrason, L., Cuvelier, C., Monteiro, A., Pisoni, E., Wesseling, J., Belis, C.A., Pirovano, G., Janssen, S., Guerreiro, C., Peduzzi, E. (2019) Source apportionment to support air quality planning: Strengths and weaknesses of existing approaches. *Environment International*, **130**: 104825, ISSN 0160-4120.

Tsai, J.-H., Lin, K.-H., Chen, C.-Y., Ding, J.-Y., Choa, C.-G. and Chiang, H.-L. (2007) Chemical constituents in particulate emissions from an integrated iron and steel facility. *Journal of hazardous materials*, **147**(1–2): 111-119. doi: 10.1016/j.jhazmat.2006.12.054.

Uria-Tellaetxe, I. and Carslaw, D.C. (2014) Conditional bivariate probability function for source identification. *Environmental Modelling & Software*, **59**: 1-9. doi: 10.1016/j.envsoft.2014.05.002.

Van Ryswyk, K., Anastasopoulos, A.T., Evans, G., Sun, L., Sabaliauskas, K., Kulka, R., Wallace, L., Weichenthal, S. (2017) Metro commuter exposures to particulate air pollution and PM_{2.5}-associated elements in three Canadian cities: The urban transportation exposure study. *Environ. Sci. Technol.*, **51**: 5713–5720.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.6b05775>

Viana, M., Hammingh, P., Colette, A., Querol, X., Degraeuwe, B., de Vlieger, I., van Aardenne J. (2014) Impact of maritime transport emissions on coastal air quality in Europe. *Atmospheric Environment*, **90**: 96-105.

WHO (2021) WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization; 2021. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

Xie M., Zhang S., Cui Z., Cao X. (2021) Distribution Characteristics and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soils of a Steel Enterprise in East China. *Bulletin of Environmental Contamination Toxicology* **106**: 873-877.

Yang H.-H., Lai S.-O., Hsieh L.-T., Hsueh H.-J., Chi T.-W. (2002) Profiles of PAH emission from steel and iron industries. *Chemosphere* **48**: 1061-1074.

Zhou T., Bo X., Qu J., Wank L. Zhou J., Li S. (2019) Characteristics of PCDD/Fs and metals in surface soil around an iron and steel plant in North China Plain. *Chemosphere* **216**: 413-418.

Bijlage 1 Nadere analyse van de profielen en onzekerheden

De profielen die in de PMF analyse zijn gevonden zijn beschreven in hoofdstuk 4. In deze bijlage wordt de duiding van de profielen verder uitgewerkt.

B1.1 Profiel: zeezout



Figuur B.1.1 CBPF-windanalyse voor zeezout. Achtergrond CBPF: Luchtfoto Actueel Ortho HR (Kadaster, www.pdok.nl, 2021) CC BY 4.0. Tata Steelterrein (IBIS, 2020)

Hoge bijdragen van Cl^- , Na^+ en Mg^{2+} kenmerken deze factor. Deze elementen worden geassocieerd met bijdragen van zeezout (Sverdrup et al., 1942). Het ontbreken van bijdragen van secundaire anorganische aerosolen in dit profiel suggereert een korte verblijftijd in de lucht. In het profiel zijn ook sporen gevonden van Ca^{2+} en K^+ ; deze elementen worden ook geassocieerd met zeezout (Sverdrup et al., 1942; Mooibroek et al., 2016). De Na^+/Cl^- verhouding voor IJmuiden en Wijk aan Zee is respectievelijk 0,75 en 1,13. Bij Wijk aan Zee is de ratio veel hoger dan de verwachte ratio van 0,65. Deze hoge ratio kan zijn beïnvloed door twee oorzaken. Ten eerste zijn de chloridemetingen niet van de meetlocaties zelf, maar van het achtergrondstation in De Zilk. Ten

tweede is de onzekerheid in de natriummetingen groot door de problemen met de blanco waarden.

Op alle locaties is de bijdrage van dit profiel het hoogst in de herfst/winterperiode, in lijn met eerder onderzoek (Manders et al., 2010). Uit de CPF-analyses bleek dat de grootste bijdragen van zeezout plaatsvinden van het noordwesten naar het zuidwesten, overeenkomend met de ligging van de Noordzee. In Nederland worden vaak hoge concentraties zeezout waargenomen tijdens (winter)stormen, waarbij hoge windsnelheden hogere golven en daaropvolgende schuimvorming bevorderen. Op basis van de samenstelling van de factor wordt deze factor aangeduid als 'zeezout'.

Opgemerkt dient te worden dat het zeezoutprofiel voor Beverwijk een hoge bijdrage van chroomconcentraties ($2,0 \text{ ng/m}^3$) bevat. Chroom wordt vaak geassocieerd met industriële activiteiten (De Jonge, 2015; Mooibroek et al., 2016) met betrekking tot kolenverbranding en ijzer- en staalproductie (Taiwo et al., 2014).

In Beverwijk bevat de zeezoutfactor ook bijdragen van elementen gekoppeld aan bodemstof; de bijdrage van Si in het zeezoutprofiel is bijna identiek aan de bijdrage in het bodemstofprofiel. Dit is een indicatie dat voor Beverwijk de zeezoutfactor waarschijnlijk gemengd is met bijdragen van bodemstof. Dit kan komen doordat bij harde westenwind (met zeezout) deze eerst over een locatie met potentieel bodemstof vliegt voordat ze in Beverwijk aan komt. Het bodemstofprofiel bij IJmuiden, de andere plaats waar een dergelijk profiel is gevonden, was verrijkt met chroom, waarmee een bodemstofbijdrage in de zeezoutfactor bij Beverwijk een logische verklaring is voor het daarin aanwezige chroom.

B1.2 Profiel: industrie



Figuur B1.2 CBPF-windanalyse voor het industrieprofiel. Achtergrond CBPF: Luchtfoto Actueel Ortho HR (Kadaster, www.pdok.nl, 2021) CC BY 4.0. Tata Steelterrein (IBIS, 2020)

In deze factor worden dominante en hoge bijdragen van Fe, Mn, Pb, Se, Ti, Vi en Zn gevonden op alle locaties. De aanvullende metalen Al, Ca en Tl zijn redelijk constant, maar in sommige gevallen per locatie verschillend. Bijdragen van de bovengenoemde metalen worden vaak toegeschreven aan industriële activiteiten die verband houden met de productie van staal (Mazzei et al., 2008; Taiwo et al., 2014; Beddows en Harrison, 2018; Palmisani et al., 2020; Seibert et al., 2020). Onderzoek door Palmisani et al. (2020), in een vergelijkbaar sterk geïndustrialiseerd gebied dat wordt beïnvloed door de staalindustrie, toont aan dat Fe, Mn en Zn verband houden met hoogovens en cokesovens die worden gebruikt voor de productie van ijzer en staal. Bovendien kunnen de emissies van Fe en Pb die in dit profiel worden gevonden, ook worden toegeschreven aan een sinterfabriek die wordt geassocieerd met staalproductie (Taiwo et al., 2014). Mazzei et al. (2008) vonden een Fe-Mn-bron (hoogoven) en een Zn-Pb-bron (gerelateerd aan andere fabrieken van de staalsmelterij) op een meetlocatie die werd beïnvloed door staalproductie. In ons onderzoek kon de scheiding tussen deze twee industrieprofielen niet worden gemaakt. Wellicht zijn die twee aparte (soorten) bronnen wel aanwezig, maar kunnen ze niet worden onderscheiden doordat de locaties dichter

bij elkaar zitten of door de meetstrategie waarbij filters worden samengevoegd.

Bij IJmuiden en Wijk aan Zee worden ook grote bijdragen van calcium, aluminium en titanium (Ca, Al en Ti) in dit profiel gevonden. Dit kan komen doordat Tata Steel in de staalproductie kalksteen (met veel Ca) gebruikt. Calcium kan ook afkomstig zijn van bodemstof, bouwactiviteiten en meststoffen, maar het wordt ook in verband gebracht met voertuigemissies en ijzer- en staalfabrieken (Lee en Pacyna, 1999; Sylvestre et al., 2017). Hoewel Al en Ti typisch worden geassocieerd met bodemstof, werd Si niet aan deze factor toegewezen. De aanwezigheid van Al zonder Si geeft aan dat de Al-bijdrage in deze factor verband kan houden met de productie van legeringen in staalfabrieken (Rahn, 1976).

In het industrieprofiel wordt ook kobalt (Co) aangetroffen. Kobalt, in combinatie met Zn, Pb en Ni, wordt vaak geassocieerd met zowel verbranding van steenkool (Marcazzan et al., 2001; Pacyna and Pacyna, 2001) als met de productie van staal en legeringen (Lee et al., 1999; Song et al., 2001). De berekende factoren op alle drie de locaties bevatten bijdragen van Zn, Pb en Ni, maar alleen op Beverwijk (0,06 ng/m³) en Wijk aan Zee (0,08 ng/m³) bevatten de profielen bijdragen van Co. Bij IJmuiden was de bijdrage van Co aan deze factor te verwaarlozen.

Wijk aan Zee is de enige locatie die een bijdrage van chroom (1,1 ng/m³) laat zien. Chroom wordt vaak geassocieerd met industriële activiteiten (De Jonge, 2015; Mooibroek et al., 2016) gerelateerd aan kolenverbranding en ijzer- en staalproductie (Taiwo et al., 2014; Beddows en Harrison, 2018). De aanwezigheid van chroom in Wijk aan Zee is consistent met eerdere bevindingen (De Jonge, 2015; Mooibroek et al., 2016) en met het recente depositieonderzoek (Mennen 2021). Bij zowel IJmuiden als Wijk aan Zee worden ook bijdragen van CO, NO, NO₂ en SO₂ in deze factor gevonden. Verontreinigende gassen, zoals NO, NO₂ en SO₂ maken vaak deel uit van de uitstoot van industrieën (Tsai et al., 2007; Tsai et al., 2008). Beddows en Harrison (2018) ontdekten dat CO mogelijk verband houdt met sinterfabrieken en hoogovens, terwijl SO₂ werd geassocieerd met de sinterfabriek in combinatie met het transport van de grondstoffen in Port Talbot, Wales. Het industrieprofiel in Wijk aan Zee en in Beverwijk bevat naast SO₂ ook een behoorlijke hoeveelheid sulfaat, SO₄²⁻. Vaak wordt sulfaat gevormd na atmosferische oxidatie van SO₂ en het zou daarom goed passen in een grootschalig profiel. Sulfaat in PM₁₀ kan echter ook afkomstig zijn van primaire emissies, meestal in combinatie met hoge temperatuurverbranding. Dit kan voorkomen bij bepaalde klassen van zeeschepen en snelle omzetting van SO₃-gas (gevormd bij zeer hoge temperaturen, vergeleken met SO₂) in zwavelzuur (Srivastava et al., 2004). Een ander voorbeeld van een dergelijk verbrandingsproces bij hoge temperatuur is steenkoolpyrolyse bij hoge temperaturen (carbonisatie). Tijdens dit proces wordt steenkool gedurende 14-28 uur verhit tot 1000-1100 graden Celsius om cokes (vast), gassen (onder andere SO₂) en vloeistoffen te produceren (Remus et al., 2013). Er zijn verschillende ontzwavelingsmethoden beschikbaar om de zwavelemissies in de atmosfeer te verminderen, maar zelfs de beste

ontzwavelingsmethode is slechts voor ongeveer 95% effectief (Remus et al., 2013). Vandaar dat er enige primaire emissies van sulfaten kunnen zijn rond staalproductie-industrieën.

Samenvattend: De enigszins verschillende samenstelling van deze factor voor drie meetlocaties in dezelfde regio suggereert een mengsel van verschillende industrieel gerelateerde processen. Op basis van de bijdragen van Fe, Mn, Ca, Cr, Pb, Se, Tl, Ti, V en Zn heeft het merendeel van de bijdragen in dit profiel betrekking op processen gekoppeld aan de staalindustrie (Tata Steel).

B1.3 Profiel: remstof/verkeer



Figuur B1.3 CBPF-windanalyse voor het profiel remstof/verkeer. Achtergrond CBPF: Luchtfoto Actueel Ortho HR (Kadaster, www.pdok.nl, 2021) CC BY 4.0. Tata Steelterrein (IBIS, 2020)

In het CBPF windprofiel in Figuur 4.6 zijn de windrichting en de windsnelheid weergegeven. De windsnelheid geeft informatie over de aard van de bron. In Wijk aan Zee zien we dat er ook hoge concentraties voorkomen bij flinke wind uit het zuiden. Dat zou kunnen wijzen op opwervend materiaal (wind als bron).

Het profiel remstof/verkeer lijkt een samenstelling te zijn van bijdrages uit verschillende bronprocessen. De belangrijkste metalen in dit profiel

op beide meetpunten zijn Cu, Mo, Sb en Zn, die vaak worden geassocieerd met remslijtage-emissies (Pant en Harrison, 2013; Amato et al., 2013; Hulskotte et al., 2014, Grigoratos en Martini, 2015; Thorpe en Harrison, 2008). Remslijtage wordt niet alleen veroorzaakt door emissies van het wegverkeer, maar ook het spoorvervoer kan aanzienlijk bijdragen aan de concentraties van deze elementen gekoppeld aan remstof (Abbasi et al., 2011; Van Ryswyk et al., 2107; Loxham et al., 2013; Park et al., 2011; 2012).

Bij IJmuiden bevatte dit profiel ook bijdragen van NO, NO₂, H₂S, BC (variërend tussen 40 en 48% van de totale bijdrage per component) en een kleine bijdrage van SO₄²⁻ (0,4 µg/m³). Deze bijdragen worden daarom hier nader bekeken. De bijdragen van NO₂, NO en BC kunnen wijzen op de invloed van (lokaal) verkeer. Bijvoorbeeld: de bijdrage van NO₂ aan dit profiel is in IJmuiden aanzienlijk groter dan in Wijk aan Zee (R=11,1/5,9 µg/m³ = 1,9). Deze verhouding is veel groter dan de verhouding in de bijdrage aan de PM₁₀ van het remstofprofiel (verhouding=6,7/5 = 1,3). Dit wijst erop dat het profiel remstof/verkeer in IJmuiden meer wordt beïnvloed door NO₂-bronnen dan in Wijk aan Zee. Dit is niet onrealistisch, omdat het meetpunt in IJmuiden nabij een drukke weg ligt. Het meetpunt in Wijk aan Zee ligt op een parkeerplaats in een woonwijk met minder doorgaand wegverkeer. De bron voor remstof die het profiel in Wijk aan Zee domineert lijkt dus, vergeleken met wegverkeer, relatief weinig bij te dragen aan de NO₂-concentraties.

Bij Wijk aan Zee is een vergelijkbare samenstelling gevonden, zij het dat op deze locatie geen Zn aan deze factor is toegekend. Het ontbreken van Zn in deze factor bij Wijk aan Zee, normaliter ook onderdeel van remslijtage-emissies, kan mogelijk worden verklaard door de hoge impact van industriële emissies die alle Zn-bijdragen op deze locatie domineert.

B1.4 Nitraatrijk en sulfaatrijk profiel



Figuur B1.4 CBPF-windanalyse voor het nitraatrijk en sulfaatrijk profiel. Achtergrond CBPF: Luchtfoto Actueel Ortho HR (Kadaster, www.pdok.nl, 2021) CC BY 4.0. Tata Steelterrein (IBIS, 2020)

Dit profiel bestaat voornamelijk uit markers geassocieerd met fijnstofnitraten en fijnstofsulfaten met hoge bijdragen van NH_4^+ , NO_3^- en SO_4^{2-} . Deze componenten worden doorgaans geassocieerd met secundaire anorganische aerosolen, maar zoals eerder beschreven kunnen deeltjesvormige sulfaten ook afkomstig zijn van primaire emissies (Srivastava et al., 2004). In de berekende bijdragen van deze profielen wordt op beide locaties een seizoenspatroon waargenomen. Hierbij zijn de berekende bijdragen in de herfst/winter hoger dan in de lente/zomer. De omgevingstemperatuur heeft grote invloed op de omkeerbare reactie die verantwoordelijk is voor de vorming van ammoniumnitraat (NH_4NO_3) in deeltjesvorm. Bij deze reactie is het ammoniumnitraat in thermodynamisch evenwicht met de gasvormige ammoniak (NH_3) en salpeterzuur (HNO_3) (Pitchford et al., 2009). Op het noordelijk halfrond zijn lage temperaturen in de herfst/winter gunstig voor de vorming van ammoniumnitraat, terwijl hoge temperaturen in de lente/zomer de vorming van gasvormige componenten bevorderen (Pitchford et al., 2009; Mooibroek et al., 2011; Mooibroek et al. 2016).

Het profiel bevat ook bijdragen van stikstofoxide (NO) en stikstofdioxide (NO₂). Oxidatie van NO₂, voornamelijk uitgestoten door verbrandingsprocessen, is verantwoordelijk voor de vorming van nitraat. Dit profiel bevat dus ook markers die betrekking hebben op verbrandingsprocessen, zoals gevonden bij verbrandingsmotoren. Black Carbon (BC), dat ook kan vrijkomen bij verbrandingsprocessen, draagt ook bij aan dit profiel. De bijdragen van verbrandingsprocessen, met name verkeersbijdragen van NO, NO₂ en BC in dit profiel, kunnen waarschijnlijk worden toegeschreven aan de achtergrondconcentraties van verkeer gerelateerde bronnen in Nederland (Hendriks et al., 2013).

B1.5 PAK-profiel



Figuur B1.5 CBPF-windanalyse voor het PAK-profiel. Achtergrond CBPF: Luchtfoto Actueel Ortho HR (Kadaster, www.pdok.nl, 2021) CC BY 4.0. Tata Steelterrein (IBIS, 2020)

Dit profiel is alleen bij Wijk aan Zee gevonden en toont alle bijdragen van PAK-metingen op die locatie. Wijk aan Zee heeft ook een grotere correlatie tussen de gemeten PAK-congeneren dan IJmuiden. Dit kan verklaren dat in IJmuiden de PAK zijn verdeeld over de diverse profielen en dat er geen specifiek profiel met alle PAK-bijdragen is gevonden. Een andere reden voor de dominante aanwezigheid van PAK in Wijk aan Zee kan een invloed zijn van een of meer dominante bronnen op het nabijgelegen Tata Steelterrein zijn die verband houden met de productie

en het gebruik van cokes. Hoge concentraties indeno(1,2,3-cd)pyreen, benzo[k]fluorantheen en chryseen worden vaak geassocieerd met processen die verband houden met de productie van cokes, sinteren, ijzerproductie en staalproductie (Khaparde et al., 2016; Stella et al. (2012)). Palmisani et al. (2020) vonden een dominante bron van PAK gerelateerd aan de cokesovens in hun onderzoek in een sterk geïndustrialiseerde stad in Zuid-Italië die werd beïnvloed door de staalproductie. Daarom is het waarschijnlijk dat deze factor in Wijk aan Zee een onregelmatige en diffuse emissiebron volgt die verband houdt met de productie van cokes en de verbranding van kolen.

In de literatuur wordt voor de identificatie van bronnen van PAK gebruikgemaakt van ratio's tussen PAK-congeneren. Hierbij moet worden opgemerkt dat PAK-emissies veelal niet te linken zijn aan een individuele bron, mede door hun enigszins labiele aard die soms grote instabiliteit in de atmosfeer kan veroorzaken (Galarneau, 2008). De ratio's zijn dan ook alleen toepasbaar voor screeningsdoeleinden bij pas uitgestoten PAK in de buurt van hun bronnen. In dit rapport hebben we een aantal verhoudingen samengesteld op basis van PAK met 4 tot 6 ringen die zich bij voorkeur verdelen in de deeltjesfase.

In Palmisani et al. (2020) worden ratio's tussen gemeten PAK nabij staalindustrie in Zuid-Italië vergeleken met waarden eerder gerapporteerd in de literatuur. De verhoudingen voor $IcdP/(IcdP+BghiP)$ (= 0,52) en $IcdP/BghiP$ (= 1,07) uit deze studie komen aardig goed overeen met de gerapporteerde waarden van Palmisani et al. (2020) en met de hierin gerapporteerde referentiewaarden van kolenverbranding (Palmisani et al., 2020). De verhoudingen voor $BaP/BghiP$ (=0,61) in dit onderzoek zijn ook vergelijkbaar met de verhoudingen gevonden door Palmisani et al. (2020), maar lager dan de door de auteurs gerapporteerde referentiewaarde voor verbranding van kolen.

De verhouding tussen $BaA/(BaA + Chry)$ (=0,47) komt goed overeen met de verhoudingen gevonden in de literatuur voor de uitstoot van cokes en steenkoolverbranding (Khaparde et al., 2016). Het PAK-profiel uit deze studie toont ook sporenbijdragen van Cd, Co, Fe, Mo, Pb, Se en Tl. Deze metalen kunnen tot op zekere hoogte in steenkool aanwezig zijn: Fe is bijvoorbeeld van nature in steenkool aanwezig als FeS. De exacte samenstelling van reguliere en metallurgische steenkool ('cokeskolen') kan echter variëren per batch of per gebruikte steenkool. Daarom kunnen sommige processen op verschillende tijdstippen verschillende elementen uitstoten. In dit onderzoek kan bijvoorbeeld de gevonden Se in de industrie-factor het gevolg zijn van het gebruik van metallurgische kolen in sommige processen, terwijl de PAK-factor die bij Wijk aan Zee wordt gevonden juist tijdens het cokes proces vrijkomt. Het profiel vertoont hogere ratio's van $IcdP/(IcdP+BghiP)$ en $IcdP/BghiP$ vergeleken met de verhouding berekend uit NIST SRM 1649a Urban Road Dust profiel (SRM 1649a). Hieruit concluderen we dat de geselecteerde PAK-bijdragen in dit profiel vermoedelijk niet door een bijdrage van verkeer worden gedomineerd.

Eerder onderzoek laat verder zien dat er tot op 3 km van het terrein van Tata Steel, voornamelijk in de noordelijke richting (Wijk aan Zee),

verhoogde gehalten aan PAK in de bodem voorkomen (Lijzen, 2009). Het hier gevonden profiel bevat geen berekende bijdragen van de metalen die gekoppeld zijn aan bodemstof (Al, Si, Fe), waardoor de gevonden bijdrage van dit profiel kan worden gekoppeld aan een primaire emissie, bijvoorbeeld uit de cokesfabrieken ten zuiden van het meetpunt Wijk aan Zee.

B1.6 Bodemstofprofiel



Figuur B1.6 CBPF-windanalyse voor het bodemstofprofiel. Achtergrond CBPF: Luchtfoto Actueel Ortho HR (Kadaster, www.pdok.nl, 2021) CC BY 4.0. Tata Steelterrein (IBIS, 2020)

Dit profiel is alleen gevonden in IJmuiden en Beverwijk. Het profiel bevat in IJmuiden hoge bijdragen van Al, Ca, Si, Ti en Li, die allemaal in verband worden gebracht met bodemstof (Amato et al., 2013). Het profiel heeft ook een aanzienlijke Na-bijdragen (IJM: $1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en enigszins hoge hoeveelheden Mg (IJM: $0,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in deze factor, mogelijk gerelateerd aan de afzetting van zeezout. Het ontbreken van Cl in deze factor, mogelijk als gevolg van chloridedepletie, toont aan dat de bijdrage van Na en Mg verband kan houden met resuspensie van eerdere depositie van zeezout. Bij IJmuiden worden ook bijdragen gevonden van componenten die verband houden met remslijtage (Cu, Mo, Sb), wat opnieuw wijst op een opleving van eerdere deposities. In dit profiel bevat IJmuiden ook de grootste Cr-bijdragen op deze locatie

(1,3 ng/m³). Primaire bijdragen vanaf het industrieterrein voor chroom zijn voornamelijk te verwachten vanuit het noorden. Mogelijk worden de hoogste bijdragen van chroom in dit profiel bijgedragen door de bronnen van bodemstof. Dit zou mogelijk kunnen duiden op resuspensie van eerdere deposities.

B1.7 Onzekerheden in metingen gebruikt in de PMF-analyse

In paragraaf 4.2.5, waarin de achtergrond van de PMF-analyse kort wordt weergegeven, is ook gesproken over het toepassen van de onzekerheid van de metingen als maat voor de betrouwbaarheid hiervan. In de PMF-analyse wordt daardoor meer gewicht gegeven aan betrouwbare metingen en krijgen deze meer invloed op de uiteindelijke oplossing.

Gedetailleerde informatie over de onzekerheden voor elke individuele meting van metalen en PAK was niet beschikbaar. Op basis van de beschikbare gegevens hebben we een schatting gemaakt van de onzekerheden (Comero et al. (2009)). Eerdere onderzoeken, van Kim en Hopke (2005; 2007), hebben de invloed bepaald van geschatte onzekerheden versus bekende onzekerheden op de uitkomsten van een PMF-analyse. Deze vergelijking toonde aan dat de resulterende factoren van een PMF-analyse met behulp van bekende of geschatte onzekerheden erg op elkaar lijken (Kim en Hopke, 2007). Op basis van eerder onderzoek met vergelijkbare chemische analyse (Mooibroek et al., 2011; 2016) is, waar nodig, de hier gebruikte relatieve standaard deviatie (RSD) zodanig geschat dat het de onzekerheden tussen verschillende soorten weerspiegelt. Aangezien alleen de detectiegrens (LOD) en schattingen voor de RSD beschikbaar zijn, wordt de analytische onzekerheid unc_{ij} voor elk monster berekend als (Norris et al., 2014):

$$unc_{ij} = \sqrt{(0.5 \cdot LOD_{ij})^2 + (RSD_j \cdot c_{ij})^2}$$

met LOD_{ij} als de detectielimiet, RSD_j als relatieve standaard deviatie van de component en c_{ij} als de concentratie van het monster. Op deze manier wordt de onzekerheid in de metingen bepaald door de detectiegrens bij lage concentraties en door de RSD bij hoge concentraties. In Tabel B1.1 worden de gebruikte waarden van de detectiegrens en de RSD weergegeven.

Zoals eerder aangegeven, wordt de berekende onzekerheid van geïmputeerde meetwaarden individueel met een factor 5 verhoogd teneinde de invloed van deze artificiële waarden op de uiteindelijke oplossing te verminderen (zie ook paragraaf 4.2.4). Daarnaast zijn er nog aanvullende redenen om de onzekerheden van individuele componenten op een locatie te verhogen. Zo worden van componenten waarbij een deel van de meetwaarden onder de detectiegrens ligt de onzekerheden ook met een factor verhoogd. Daarnaast zijn op alle locaties de onzekerheden voor natrium en silicium verhoogd vanwege de in paragraaf 4.2.3 beschreven blanco problematiek. Tabel B1.1 geeft ook een overzicht van de toegepaste factoren op de berekende onzekerheden voor elke locatie.

Tabel B1.1 Gebruikte detectiegrens (LOD), relatieve standaard deviatie (RSD) en eventuele extra factor op de onzekerheden voor elke locatie.

LOD is in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, met uitzondering van de metalen (μg). Hierbij is de LOD nog gedeeld door het totale aangezogen volume om het om te rekenen naar $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De genoemde factor is de factor waarmee de berekende onzekerheid per meetwaarde is vermenigvuldigd alvorens gebruikt te worden in de PMF-analyse

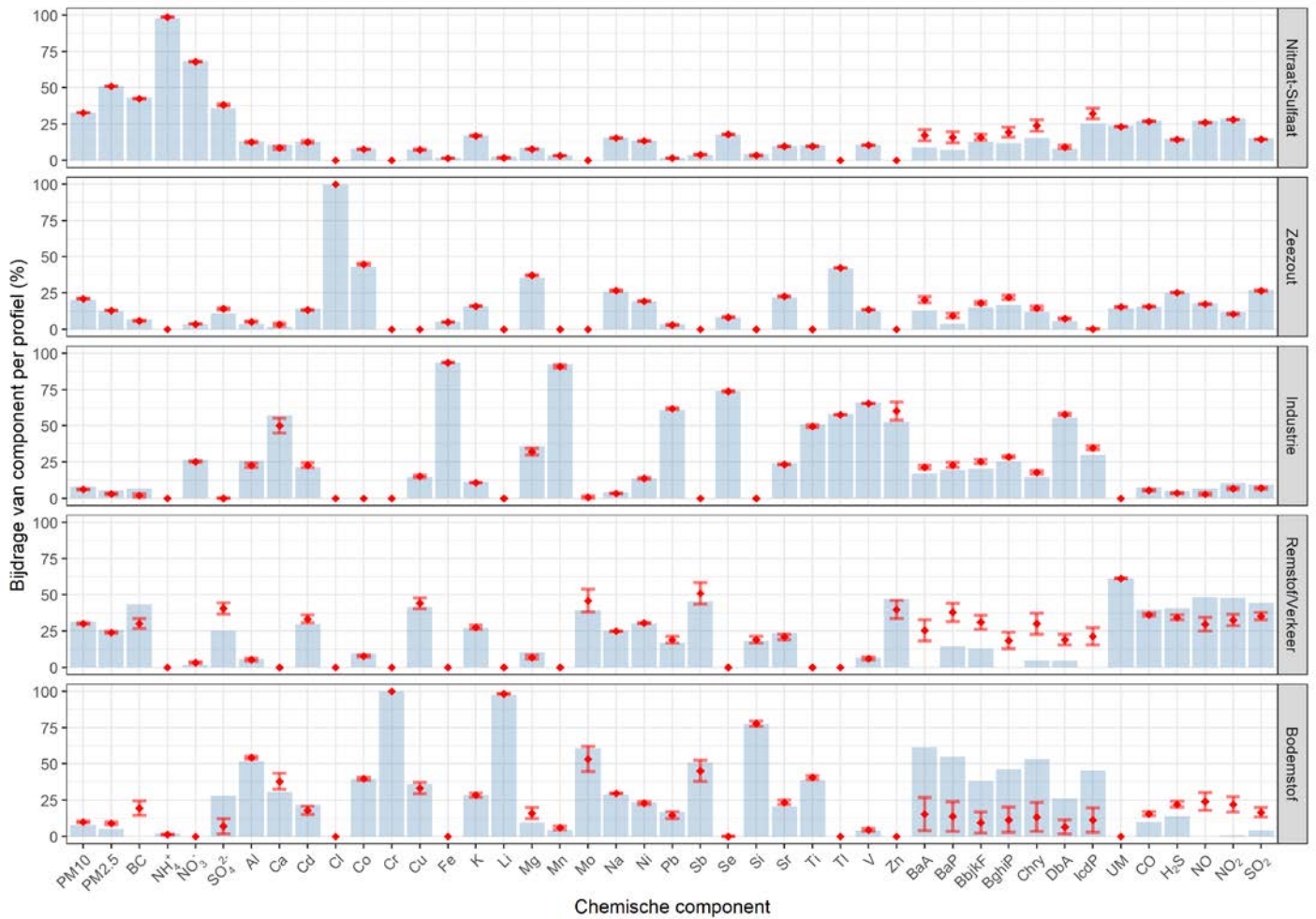
Component	LOD	RSD	IJM	WAZ	BEV
PM ₁₀	5	15%			
PM _{2.5}	5	15%			
BC	0.2	15%			
NH ₄	0,014	10%			
NO ₃	0,007	10%			
SO ₄	0,004	10%			
Al *	2,5	7%			
Ca *	2,5	11%			
Cd *	0,005	6%	x5	x5	x5
Cl	0,007	10%			x5
Co *	0,005	7%			
Cr *	0,005	6%			
Cu *	0,005	7%			
Fe *	1	7%			
K *	2,5	10%			
Li *	0,005	8%			
Mg *	2,5	10%	x10	x10	x10
Mn *	0,005	8%			
Mo*	0,005	5%			
Na *	2,5	10%	x10	x10	x10
Ni *	0,05	5%			
Pb *	0,005	5%			
Se *	0,05	7%	x5	x5	x10
Si *	2,5	10%	x10	x10	x10
Sr *	0,005	6%	x10	x10	x10
Ti *	0,25	7%	x5		x5
Tl *	0,005	5%	x10	x10	x10
V *	0,005	6%			
Y *	0,005	6%			
Zn *	0,25	5%			
BaA	0,0005	14%			
BaP	0,0005	15%			
BbjkF	0,0020	15%			
BghiP	0,0009	16%			
Chry	0,0008	14%			
DbA	0,0004	17%			

Component	LOD	RSD	IJM	WAZ	BEV
IcdP	0.0011	16%			
CO.g	1.15	15%			
H2S	0.5	15%			
NO	1.3	15%			
NO2	1.9	15%			

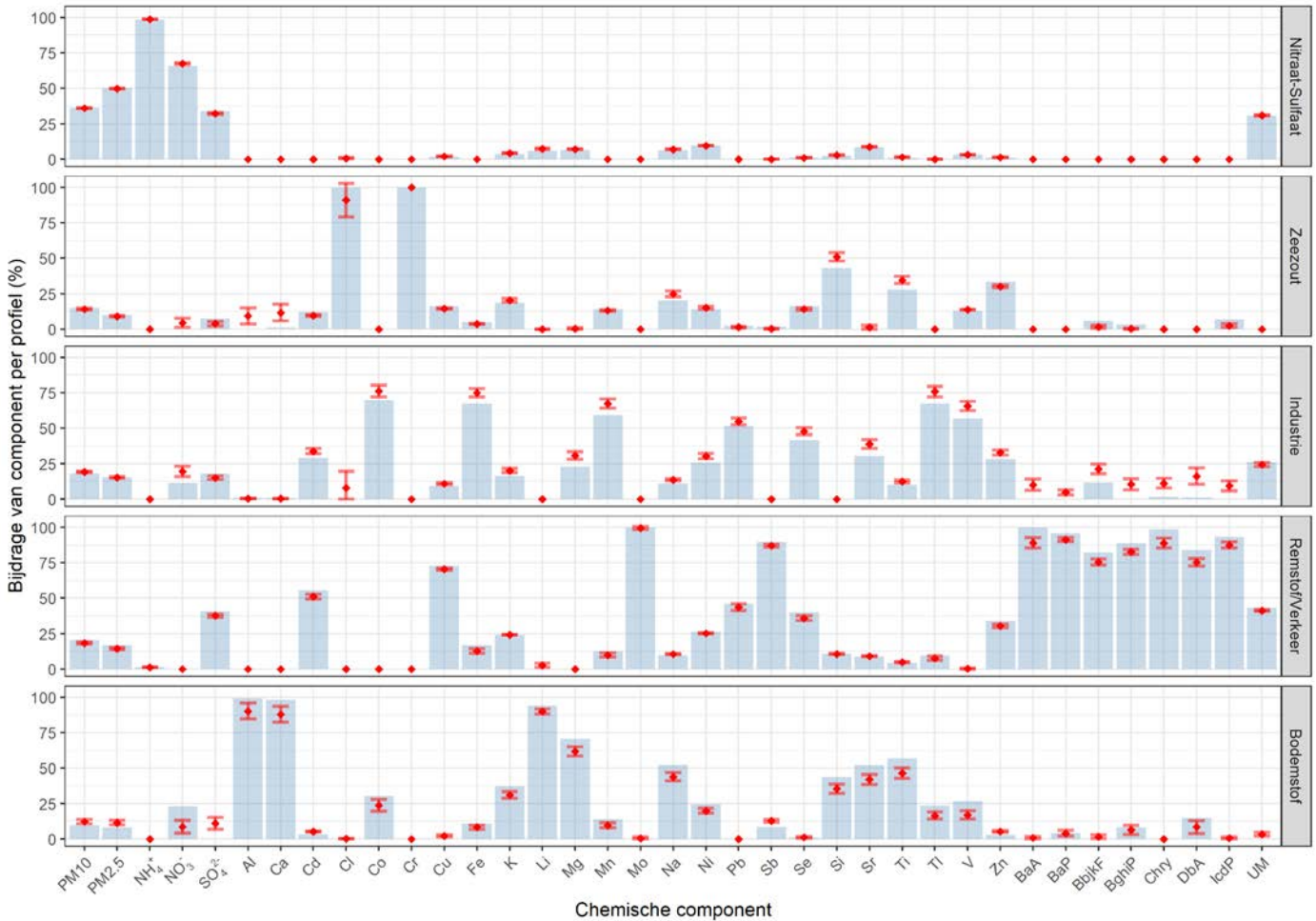
* De gepresenteerde LOD is in μg , en correspondeert met de metingen van de filters. Voor deze analyse is de LOD daarom gedeeld door het aangezogen volume van alle gepoolde monsters en is deze waarde toegepast als LOD. Daarenboven op is op alle componenten nog een extra onzekerheid in het model toegevoegd van 15%.

Naast de berekende onzekerheden is er ook nog een extra modelonzekerheid toegevoegd van 15% voor alle componenten. Deze extra onzekerheid bestaat uit de onzekerheden die niet vallen onder de meetonzekerheid, zoals de variatie in de bronprofielen en de chemische veranderingen in de atmosfeer.

De onzekerheden in de resultaten van de PMF-analyse zijn ook afhankelijk van de stabiliteit van de multivariate analyse. Daarom zijn de 25 beste oplossingen met elkaar vergeleken. In paragraaf 4.3.7. wordt in Figuur 4.10 de stabiliteit van de oplossing op WIJZ weergegeven. Voor de volledigheid worden de stabiliteit van de oplossingen op IJM en BEV in de Figuren B1.7 en B1.8 weergegeven.



Figuur B1.7 Stabiliteit van de oplossing (IJM). De blauwe balkjes zijn de bijdrage van de componenten per profiel voor de oplossing met de laagste Q-waarde. Het rode puntje geeft het gemiddelde aan van de 24 profielen met de daarop volgende laagste Q-waarde. De marges die worden weergegeven zijn het 95% betrouwbaarheidsinterval, waarbij waarden < 0 op 0% zijn gesteld



Figuur B1.8 Stabiliteit van de oplossing (BEV). De blauwe balkjes zijn de bijdrage van de componenten per profiel voor de oplossing met de laagste Q-waarde. Het rode puntje geeft het gemiddelde aan van de 24 profielen met de daarop volgende laagste Q-waarde. De marges die worden weergegeven zijn het 95% betrouwbaarheidsinterval, waarbij waarden < 0 op 0% zijn gesteld

RIVM

De zorg voor morgen begint vandaag