Vereniging Verontruste Burgers van Voorne (VVBV)

FCC-fijnstof en fijnstofbelasting in Nederland

Technische, toxicologische en beleidsmatige analyse 2025

Wetenschappelijke onderbouwing van de gezondheids- en milieurisico's

van FCC-fijnstof in de regio Rijnmond

Definitieve versie – november 2025

H.J. Compter

Inhoudsopgave

Inhoud

Inhoudsopgave 2
1 Samenvatting 3
2 Fijnstof in Nederland 4
3 Bronnen van fijnstof 4
4 Schadelijkheid fijnstof algemeen 5
5 Schadelijkheid fijnstof Nederland verschilt per regio 7
6 Er zijn verschillende soorten fijnstof 8
7 Situatie Rijnmond ..... `10
8 Verder onderzoek 14

Bijlagen

1. Beleid in Nederland
2. Technische analyse
3. Bref Refining Mineral Oil and Gas
4. Toxicologische analyse van FCC fijnstof
5. Zware metalen, bron van toxiciteit en milieu-effecten
6. Fluidised Katalytische Kraker
7. Zelfredzaamheid, externalisering en fijnstof van FCC
8. Literatuur

1 Samenvatting

Fluidised Catalytic Cracking (FCC) is een cruciaal proces in aardolieraffinage, maar vormt een van de belangrijkste industriële bronnen van fijnstof in Nederland. FCC-fijnstof bevat zeer fijne, poreuze en reactieve deeltjes met een hoge toxicologische potentie. De fysisch-chemische eigenschappen, waaronder de hoekige structuur, de grote specifieke oppervlakte en het hoge gehalte aan zware metalen en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's), dragen bij aan de verhoogde biologische activiteit en schadelijkheid.

Internationale studies tonen vergelijkbare emissie- en blootstellingspatronen rond FCC-installaties in onder meer Italië, Spanje en de Verenigde Staten, wat de relevantie van de Nederlandse situatie in een breder beleidskader bevestigt. In Nederland zijn de emissies van FCC-installaties in regio's als Voorne-Putten onderwerp van groeiende maatschappelijke zorg en wetenschappelijke aandacht.

De resultaten van toxicologisch en epidemiologisch onderzoek tonen een duidelijke samenhang tussen blootstelling aan FCC-fijnstof en verhoogde risico's op ademhalings-, cardiovasculaire en mogelijk carcinogene effecten. Met name nikkel, vanadium, koper en PAK's dragen bij aan oxidatieve stress, ontstekingsreacties en genotoxische schade.

De Kanker Atlas geeft aan dat er in de regio sprake is van gebieden met meer dan 20 % hogere kans op longkanker dan het Nederlands gemiddelde.

De resultaten onderstrepen de noodzaak tot voorzorg, verscherpt beleid, structurele monitoring en onafhankelijk gezondheidsonderzoek in de regio Voorne-Putten.

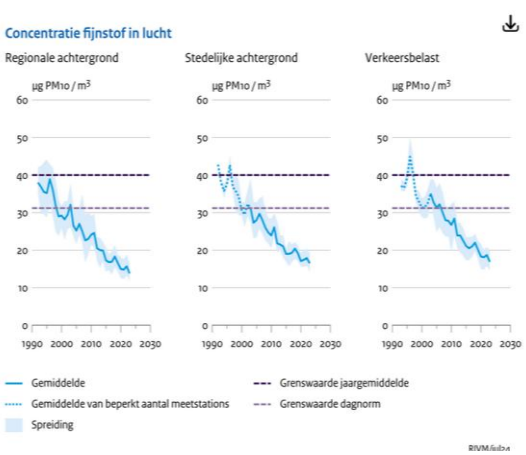
November 2025

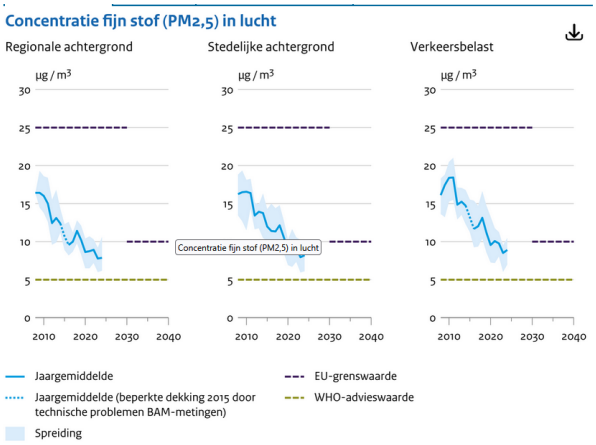
2 Fijnstof in Nederland

Fijnstof en NOX veroorzaken niet-natuurlijke sterfte in Nederland. Er zijn normen voor ontwikkeld:

Stof	Huidige norm (jaargemiddelde)	Nieuwe norm vanaf 2030	WHO-advieswaarde
Stikstofdioxide (NO_2)	40 µg/m³	20 µg/m³	10 µg/m³
Fijnstof $PM_{2.5}$	25 µg/m³	10 µg/m³	5 µg/m³
Fijnstof PM_{10}	40 µg/m³	20 µg/m³	15 µg/m³

Omdat de schadelijkheid van fijnstof lineair is, is er schade zolang er fijnstof is. Dus is het gewenst om te streven naar 0 mg/m3. En de ontwikkelingen zijn positief; zowel in de regio, de stad als bij verkeerswegen. In de jaren 70 van vorige eeuw was dit in Rotterdam 90 µg/m3.

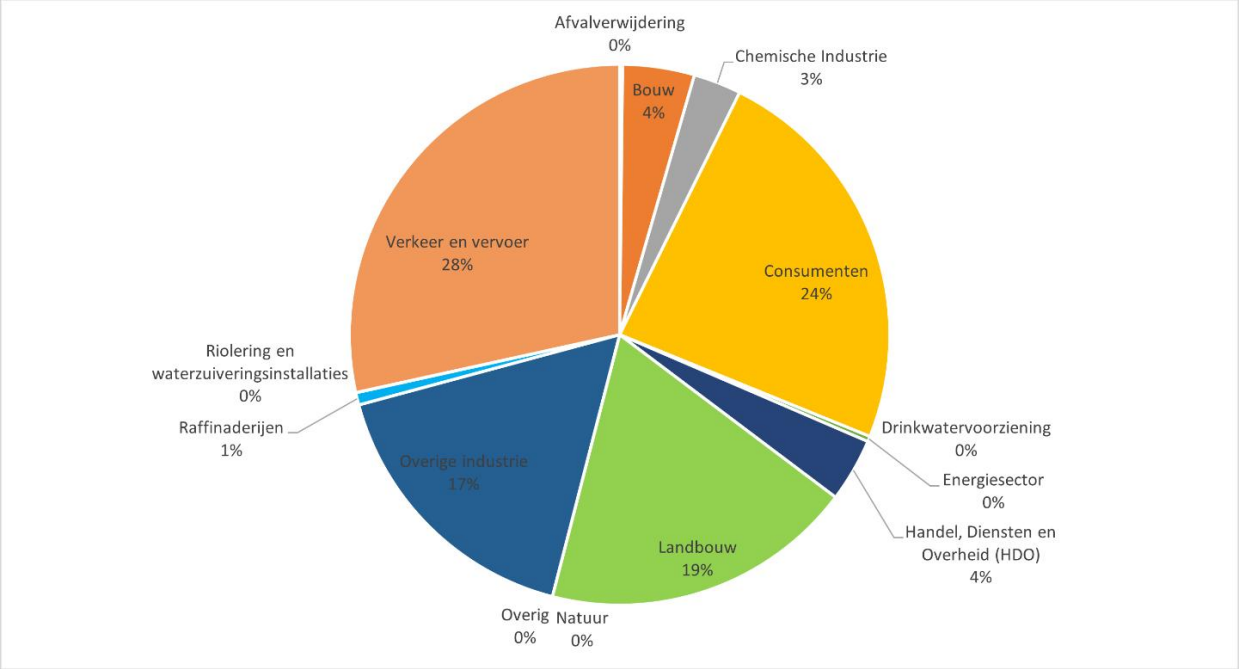




Te verwachten is dat deze norm gemiddeld genomen op termijn de doelen zal behalen. Zowel voor de PM10 (links) als de PM2.5 (rechts).

3 Bronnen van fijnstof

Per jaar wordt er in Nederland 28 miljoen kg (kilogram) fijn stof (PM10 (fijnstof)) direct, dus als stofdeeltje, uitgestoten. Uit onderstaande figuur, waarvan de data is ontleend aan de nationale emissieregistratie, blijkt dat de belangrijkste sectoren Verkeer en Vervoer (28%), Consumenten (24%) en Landbouw (19%) zijn (Emissieregistratie, 2023).



Bij verkeer is te denken aan stof van de banden, remmen, verbrandingsdeeltjes en stof van de weg.

De bijdrage van de raffinaderijen hierin met slechts 1 % lijkt beperkt. Onduidelijk is of deze door RIVM genoemde emissie van 28 miljoen kg ook het fijnstof < 2.5 um omvat.

4 Schadelijkheid fijnstof algemeen

Het PBL rapporteert dat er 46 miljard Euro aan schade is door milieu verontreinigende stoffen.

Een causale relatie tussen luchtverontreiniging en diverse gezondheidseffecten wordt ondersteund door een combinatie van epidemiologische en toxicologische studies. Bovendien is er sprake van steeds meer inzicht in werkingsmechanismen en concentratie-responsfuncties. De WHO studies REVIHAAP en HRAPIE, het HEI rapport en het IARC (International Agency for Research on Cancer) rapport en de recente publicatie van de Global Burden of Disease (Cohen et al. 2017) en de Gezondheidsraad (Gezondheidsraad 2018) geven goed inzicht van de bewijslast voor verschillende gezondheidsuitkomsten. Voor sommige gezondheidseffecten zijn met behulp van deze concentratie-responsfuncties de lokale effecten door te rekenen.

Het effect van luchtverontreiniging is qua ziektelast ongeveer vergelijkbaar met het effect van overgewicht (5%) en groter dan het effect van overmatig alcoholgebruik (3%) of het eten van te weinig fruit of groente (2%). In Nederland, Europa en wereldwijd staat buitenlucht- verontreiniging op de negende plaats als oorzaak van levensduurverkorting en ziektelast (Maas et al. 2015). Maas et al. (2015) geeft een uitgebreid overzicht van de berekende ziektelast door PM2,5 (fijnstof) in Nederland, gebaseerd op relatieve risicocijfers uit WHO (World Health Organization) studies REVIHAAP en HRAPIE en de ESCAPE studie (zie onderstaande tabel) (Pedersen et al. 2013; WHO 2013a; WHO 2013b).

Hoewel de concentraties afnemen, blijft fijnstof een serieus probleem voor de gezondheid.

Jaarlijks overlijden naar schatting 9.000 mensen vroegtijdig door blootstelling aan fijnstof.

De totale schade door fijnstof wordt door het **Longfonds** geraamd op 18 miljard Euro/a. De industrie, energie en raffinaderijen veroorzaken volgens het Longfonds bij elkaar 3,1 miljard euro aan schade. De uitstoot van industriële vervuiling is duidelijk aanwijsbaar bij specifieke bedrijven. De top drie van 2022 bestaat uit Tata Steel (408 miljoen euro schade) en de Rotterdamse raffinaderijen van Esso (€185 miljoen euro) en Shell (176 miljoen euro).

Het **Astmafonds** heeft CE gevraagd om, in samenwerking met IRAS, een actueel overzicht te maken van de stand van de wetenschap rond de gezondheidseffecten van luchtvervuiling en de maatschappelijke die deze met zich meebrengen. De belangrijkste conclusie is dat de effecten van luchtvervuiling de maatschappij per jaar minimaal 4 miljard euro (en maximaal 40 miljard) kosten. Het grootste deel daarvan is het gevolg van vroegtijdige sterfte door langdurende blootstelling aan fijn stof. Ongeveer een kwart van dit bedrag wordt bepaald door het ontstaan of de toename van ziekten en klachten als COPD (met name chronische bronchitis), ontstekingsreacties in de luchtwegen, vermindering van longfunctie en verergering van bestaande longklachten (waaronder astma-aanvallen).

Tabel. Omvang van een aantal aan fijn stof (PM2,5) en NO2 (Stikstofdioxide) gerelateerde ziektebeelden in 2013 ten opzichte van de situatie zonder luchtverontreiniging. De getallen kennen een onzekerheidsmarge: voor de schatting van de levensduurverkorting is deze ca. 30%; voor de andere effectmaten is deze groter (Maas et al. 2015).

Gezondheidsindicator	Ziektelast door fijn stof en NO2	Aandeel in de totale ziektelast
Vroegtijdige sterfte bij blootstelling gedurende gehele levensduur		
Levensduurverkorting bij langjarige blootstelling	13 maanden per persoon gemiddeld	
Jaarlijkse gezondheidseffecten die daarnaast optreden		
Postneonatale sterfte	13 per jaar	8% van de totale postneonatale sterfte
Bronchitisklachten onder kinderen met luchtwegaandoeningen (aantal kinderen)	12.400	15% van kinderen met klachten; 1% van alle kinderen
Jaarlijks aantal nieuwe gevallen van chronische bronchitis bij volwassenen	6.900	21% van alle bronchitispatiënten;
Aantal vroegtijdige doden door verhoogde dagelijkse niveaus PM10 (fijnstof) en O_3	2.400	2% van alle jaarlijkse sterftegevallen
Ziekenhuisspoedopnamen voor hart/vaatklachten	2.600	1% van alle klinische opnamen voor hart- en vaatklachten
Ziekenhuisspoedopnamen voor luchtwegklachten	2.200	2% van alle klinische opnamen voor luchtwegklachten

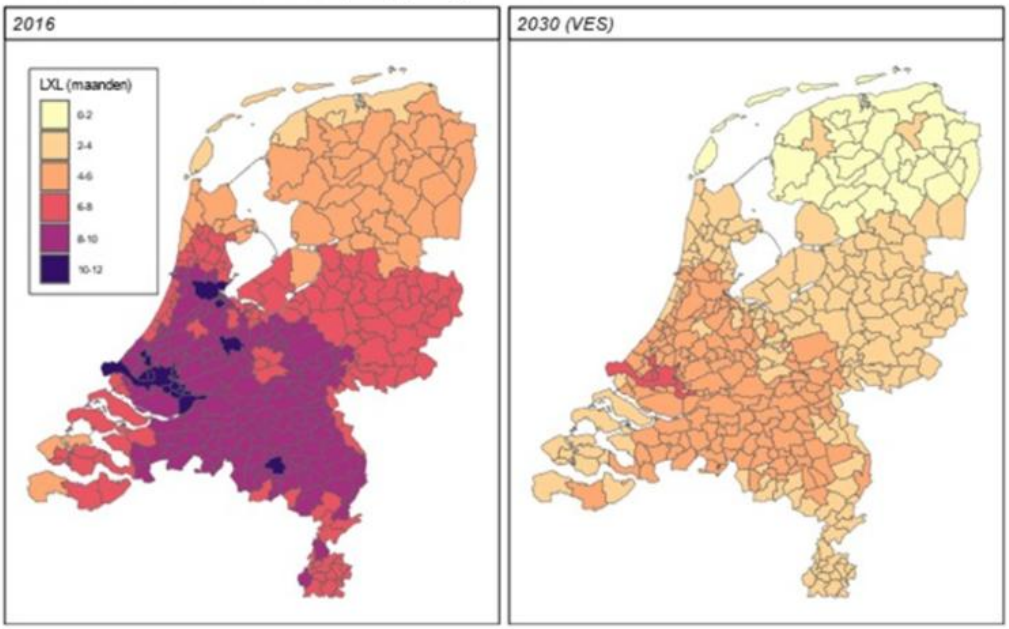
Gezondheidsindicator	Ziektelast door fijn stof en NO2	Aandeel in de totale ziektelast
Werkverzuim (dagen)	4.500.000	6% van het totale verzuimdagen
Aantal dagen met klachten bij kinderen met astma	500.000	6% van het totale aantal astmaklachten onder astmatische kinderen
Dagen met beperkte lichamelijke activiteit (inclusief werkverzuim, ziekenhuisspoedopnames, dagen met klachten)	20.000.000	6% van het totale jaarlijks aantal dagen met beperkte activiteit (gemiddeld is dat 1 dag per jaar door luchtverontreiniging)
Laag geboortegewicht (	2.400	21% van alle lage geboortegewichten (1% van alle geboortes)
Longkanker	1.200	11% van alle longkankersterfte

5 Schadelijkheid fijnstof Nederland verschilt per regio

Gemeenten

De onderstaande kaarten toont het berekende levensduurverlies per gemeente. De kaart links voor 2016. De kaart rechts toont het levensduurverlies in 2030 als al het vastgestelde luchtbeleid plus het SLA-beleid wordt uitgevoerd. De kaarten laten ook zien dat er verschillen zijn tussen gemeenten. Dat komt omdat de luchtverontreiniging in Nederland niet overal hetzelfde is.

Gemiddeld levensduurverlies (LXL) per gemeente



Maar er is geen zicht op specifieke locaties in de nabijheid van industrie en de schadelijkheid van het fijnstof. Alle gemeenten scoren boven de 5 ugr/Nm3 2.5 um fijnstof. De waarden liggen tussen 7 en 9 ugr. Zuid Holland kent de grootse vermindering van de levensverwachting door schadelijk fijnstof in Nederland.

Provincies

De onderstaande tabel geeft voor elke provincie aan wat de gemiddelde blootstelling is per inwoner aan PM2,5 en NO2 voor het KEV- en het VES-scenario. Ook staat in de tabel wat voor elke provincie het gemiddelde levensduurverlies is in 2016 en in 2030 onder de twee genoemde scenario's.

	Basisjaar 2016			KEV 2030			VES 2030		
	Blootstelling gemiddeld (per inwoner in ug/m3)		levensduurverlies (gemiddeld/ mnd)	Blootstelling gemiddeld (per inwoner in ug/m3)		levensduurverlies (gemiddeld/ mnd)	Blootstelling gemiddeld (per inwoner in ug/m3)		levensduurver (gemiddeld/ mnd)
Provincie	PM2,5	NO2		PM2,5	NO2		PM2,5	NO2	
Drenthe	8,1	10,9	5,2	5,4	6,4	2,1	5,3	6,2	2,0
Flevoland	8,8	13,6	6,3	6,2	7,8	3,1	6,2	7,5	2,9
Fryslân	7,3	9,9	4,4	5,1	6,0	1,8	5,0	5,8	1,8
Gelderland	10,3	16,2	8,1	7,2	9,2	4,1	7,1	8,8	3,9
Groningen	7,7	10,8	4,9	5,3	6,4	2,1	5,2	6,2	2,0
Limburg	9,9	16,2	7,8	6,9	8,3	3,6	6,8	8,0	3,5
Noord-Brabant	10,8	18,3	9,0	7,6	10,8	4,8	7,5	10,3	4,6
Noord-Holland	9,3	18,8	8,3	6,9	11,8	4,7	6,9	11,1	4,4
Overijssel	9,4	13,5	6,7	6,3	7,7	3,1	6,3	7,3	3,0
Utrecht	10,6	19,1	9,1	7,6	10,9	4,9	7,5	10,3	4,6
Zeeland	8,3	15,4	6,6	6,3	10,0	3,8	6,2	9,8	3,7
Zuid-Holland	9,8	22,7	9,8	7,4	14,5	5,8	7,3	13,7	5,1

6 Er zijn verschillende soorten fijnstof

6.1 Samenstelling

In Nederland wordt er nog geen echt onderscheidt gemaakt in fijnstof. Maar in werkelijkheid is er een heel groot verschil in giftigheid van de aan de fijnstof gebonden chemische stoffen. Sommige zijn absoluut onschadelijk, zoals zeezout, zelfs als dat een heel groot deel is van het fijnstof.

Maar er zijn er ook met heel veel risico, zoals poly aromatische koolwaterstoffen en zware metalen. In het bijzonder de deeltjes die vrijkomen van verbranding veroorzaken de meest voorkomende ziekte effecten zoals als oxidatie stress en ontstekingen. (Låg et al., 2020; Lomnicki et al., 2014; Miller, 2020; Wu et al., 2018).

6.2 Deeltjes grootte en samenstelling

De schadelijke gezondheidsgevolgen van fijn stof zijn vermoedelijk ook afhankelijk van de grootte van de fijn stofdeeltjes. De grovere PM_{10}-deeltjes zijn waarschijnlijk minder schadelijk (maar vermoedelijk niet onschadelijk) dan $PM_{2,5}$ omdat ze in de bovenste luchtwegen worden tegengehouden.

Er zijn steeds meer aanwijzingen dat de kleine (zwarte) roetdeeltjes schadelijker zijn voor de gezondheid dan de grovere deeltjes van het fijn stof (PM_{10} met een diameter tussen 2,5 en 10 µm) of stikstofdioxide (NO_2) (*WHO Europe, 2005* (WHO Europe, Health effects of transport-related air pollution, Copenhagen (2005)); *Janssen et al., 2011* (Janssen, N. A. H., Hoek, G, Simic-Lawson, M, Fischer, P.H., ten Brink, H, Keuken, M, Atkinson, RW., Anderson, H. R., Brunekreef, B., Cassee, FR., van Bree, L., Black Carbon as an Additional Indicator of the Adverse Health Effects of Airborne Particles Compared with PM10 and PM2.5 (2011))).

Dit zogeheten verbrandingsaerosol bestaat hoofdzakelijk uit deeltjes die nog veel kleiner zijn dan $PM_{2,5}$. Omdat er nog geen definitieve en kwantitatieve gegevens zijn over de mogelijke verschillen in schadelijkheid tussen bestanddelen van fijn stof (*WHO Europe, 2006* (WHO Europe, Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution, Copenhagen (2006))) adviseert de Wereldgezondheidsorganisatie vooralsnog om de omvang van de gezondheidseffecten in de bevolking te berekenen alsof in het heterogene fijn stofmengsel van zowel PM_{10} als $PM_{2,5}$ elke component gezondheidskundig even belangrijk is (*WHO Europe, 2005* (WHO Europe, Air quality guidelines; Global update 2005, Copenhagen (2005))). Dit is dan ook als uitgangspunt bij de risicoschatting genomen (*Maas et al., 2015* (Maas, R.J.M., Fischer, P.H., Wesseling, J., Houthuijs, D.J.M., Cassee, F., Luchtkwaliteit en gezondheidswinst, Bilthoven (2015))).

6.3 Structuur en oppervlak

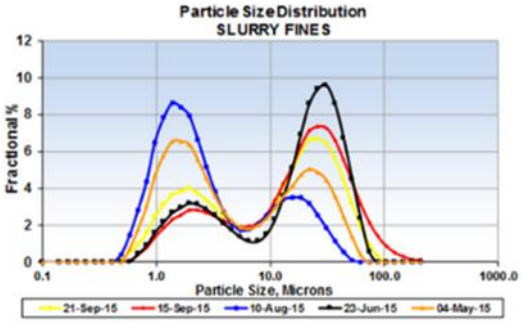
De afgifte van de poly aromatische koolwaterstoffen en zware metalen van de stofdeeltjes in de longen is afhankelijk van het oppervlak van de deeltjes. Poreus materiaal heeft een heel groot inwendig oppervalk dat de snelheid van de afgifte sterk verhoogt.

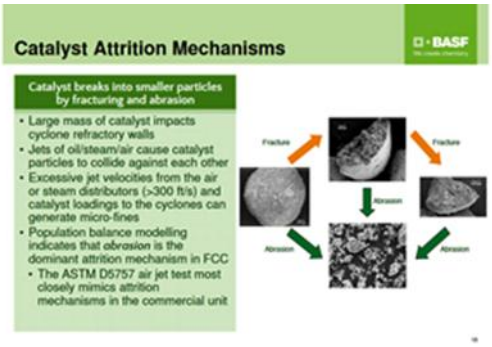
Als het materiaal hoekig is, dan zal het sterker het langweefsel beschadigen en zich hechten aan de longen, zodat ook de afgifte duur verlengt en snelheid van afgifte vergroot.

6.4 Deeltjes van Fluidised Katalytische Krakers.

Bij de regeneratie van het katalysator materiaal van Fluidised Katalytische Krakers die worden toegepast in de Nederlandse raffinaderijen, komt fijnstof vrij dat als basis afgebroken katalysator materiaal heeft.

Het uiteindelijke stof dat de schoorsteen verlaat bestaat uit ultrafijn, zeer poreus en hoekig stof, die beladen is met poly aromatische koolwaterstoffen en zware metalen uit de ruwe olie en de bijgemengde resten. Het hecht zich door scherpe kanten door een karkas van aluminium silicaat faujasite en is beladen met Ar, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, HFK, Se, Zn, NOx, SO2, C en CH.





Dit zijn dus extreem risicovolle deeltjes. In Texas is er door onderzoek van B. Williams naar de gezondheid van omwonenden van de olie-industrie vastgesteld dat er sprake was van een verhoogde kans op verschillende vormen van kanker met een statisch significante invloed van de afstand tot de olie raffinaderijen.

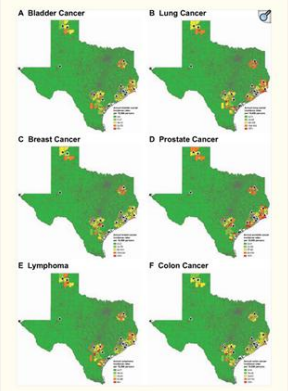


Table 2.

Age-standardized rates of cancer by proximity to oil refinery

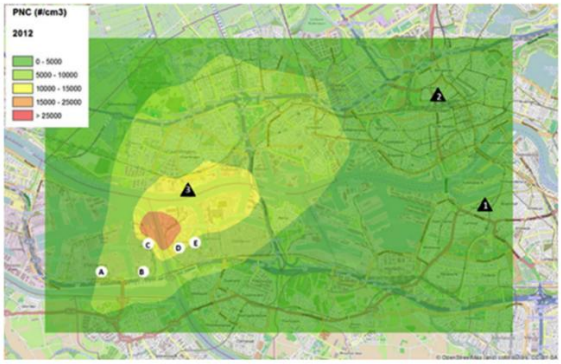
Distance from oil refinery, miles	Total population	No. of case patients (rate per 10 000 individuals)						
		Cancer patients						Control patients
		Bladder	Lung	Prostate[a]	Breast[b]	Colon	Lymphoma	Fracture
0-10	2 213 854	5537 (25.0)	23 382 (105.6)	20 876 (191.7)	28 962 (257.5)	13 036 (58.9)	15 305 (69.1)	63 077 (284.9)
11-20	2 433 988	5615 (23.1)	20 904 (85.9)	21 921 (184.4)	31 265 (251.1)	11 677 (48.0)	15 110 (62.1)	64 395 (264.6)
21-30	1 654 423	3772 (22.8)	13 781 (83.3)	14 806 (182.9)	20 458 (242.2)	7570 (45.8)	9614 (58.1)	44 090 (266.5)

7 Situatie Rijnmond

Uit de Emissie registratie 2023 in kg/a blijkt dat de Shell/BP en Esso de grote vervuilers in de regio Rotterdam zijn met ammoniak, arseen, benzeen, cadmium, chloriden, chroom, cyaniden, distikstof, koolstof, etheen, fijn en grof stof, CO, CO2, koper, lood, methaan, Ni, HFK, seleen, stikstof oxide tolueen, VOS, Waterstofcyanide, Zink en SO2. AVR stoot alleen meer Hg uit.

Ook blijkt dat de raffinaderijen van 25 stoffen meer dan de helft uitstoten van de emissie in de Rotterdamse regio.

Bij een landelijke analyse valt de hoge uitstoot van de raffinaderijen op van butaan, ethaan, Hg, CO2, grof stof, vinylchloride, seleen en SO2.



Figuur 3 Bijdrage van 5 industriële bronnen met hoge SO_2-emissies aan de jaargemiddelde PN-concentratie in Rotterdam/Vlaardingen in 2012. De letters A t/m E geven de ligging van de industriële bronnen weer, de nummers 1 t/m 3 geven de meetlocaties weer.[22]

Uit TNO-metingen (2023) blijkt dat FCC-installaties verantwoordelijk zijn voor 20 – 40 % van de totale metaalgerelateerde fijnstofemissie van de Nederlandse raffinagesector. Specifieke tracers, waaronder nikkel (Ni) en vanadium (V), worden in verhoogde concentraties aangetroffen in luchtmonsters op afstanden tot 5 km van raffinaderijen.
DCMR (2022) rapporteerde dat het aandeel van FCC-gerelateerd fijnstof in de totale $PM_{2.5}$-belasting in de regio Rijnmond tussen 5 en 12 % bedraagt, afhankelijk van windrichting en bedrijfsregime van de installatie.

RIVM-metingen (2024) tonen aan dat de jaargemiddelde concentraties van Ni en V in de omgeving van raffinaderijen herhaaldelijk de EU-doelwaarden benaderen of overschrijden (20 ng/m³ voor Ni). De concentraties nemen exponentieel af met afstand, maar blijven aantoonbaar verhoogd tot enkele kilometers buiten het industrieterrein.
Het Planbureau voor de Leefomgeving (2021) concludeerde dat FCC-emissies een significante bijdrage leveren aan de achtergrondconcentraties van ultrafijnstof in stedelijke gebieden rond Rotterdam.

Hoewel grootschalige epidemiologische studies naar FCC-specifiek fijnstof in Nederland nog beperkt zijn, wijzen lokale gezondheidsstatistieken op hogere prevalenties van luchtwegaandoeningen en cardiovasculaire problematiek in woongebieden nabij raffinaderijen (RIVM, 2024).
Toxicologische analyses tonen aan dat de metalen- en PAK-fracties in FCC-fijnstof overeenkomen met de meest reactieve componenten van industrieel stof (Costa & Dreher, 1997; Du & Turner, 2015). Het RIVM (2024) merkt op dat de combinatie van ultrafijne fracties, metaalionen en koolstofhoudende deeltjes een hogere biologische activiteit heeft dan stedelijk $PM_{2.5}$, wat een plausibele verklaring vormt voor de waargenomen gezondheidsverschillen.

7.1 De aan de olie industrie te koppelen kankersoorten

In de Kanker Atlas van het IKNL is de afwijking van het landelijk gemiddelde van vele kankersoorten aangegeven. Concentreren we ons op de in Texas gemelde kanker soorten, dan ontstaat de volgende tabel.

	Long	blaas	borst	prostaat	lymphe	darm
Rotterdam	37	-2	-2	-19	2	-7
Charloos	29	6	-11	-17	1	-8
Schiedam	23	7	-8	-18	2	-3
Hoogvliet	23	11	0	-10	0	-3
Overschie	21	3	-3	-4	1	-10
Spijkenisse	17	13	-5	-7	2	-4
Hellevoetsluis	9	5	0	-11	10	-10
Vlaardingen	7	4	-7	-1	5	-3
Rozenburg	7	11	-2	0	1	4
Hoek vanHolland	-4	5	-3	7	1	-4
Zuidland	-8	1	-2	-2	1	-5
Maassluis	-17	8	-3	0	4	-1
Voorne aan Zee	-18	2	-4	-8	3	-4

Heel opvallend is dat longkanker zeer hoog scoort. In het bijzonder voor gebieden boven de Waterweg. Benedenwinds van de raffinaderijen. Ook opvallend is dat longkanker in Hellevoetsluis en Spijkenisse hoog scoren.

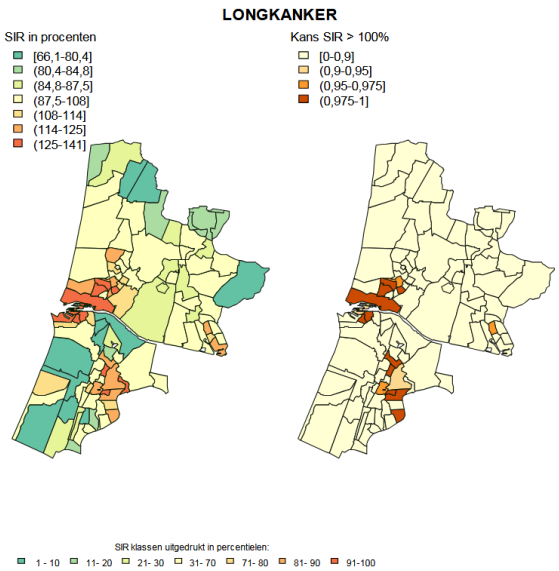
Onderstaand een overzicht van de belangrijkste toxicologische mechanismen die relevant zijn voor blootstelling aan FCC-fijnstof. De tabel vat de wetenschappelijke inzichten samen over de interactie van deeltjes met biologische systemen, inclusief de rol van metalen, PAK's en de fysische deeltjesstructuur.

Mechanisme	Biologisch proces	Potentiële gezondheidseffecten
Oxidatieve stress	Vorming van vrije radicalen door metalen en PAK's	DNA-schade, ontsteking, celdood
Cytotoxische effecten	Directe schade aan epitheelcellen en macrofagen	Longontsteking, verminderde longfunctie
Ontstekingsreacties	Activatie van cytokinen en immuuncellen	Astma, COPD, chronische luchtweginfecties
Systemische verspreiding	Translocatie van ultrafijne deeltjes in bloedbaan	Hart- en vaatziekten, verhoogd risico op infarct
Genotoxische effecten	Interactie van PAK's en metalen met DNA	Mutaties, kanker, epigenetische veranderingen

7.2 GGD Rotterdam Rijnmond

Een epidemiologische verklaring van bovenstaande verschillen begint met onderzoek naar verschillen in gedrag. In de GGD Rotterdam Rijnmond gezondheidsrapportage zijn geen wezenlijke verschillen in drank, levensverwachting, roken, lichaamsgewicht te vinden. Maar de Sociaal economische status kan bepalend zijn, maar ook de emissie uit het verleden.

Is er sprake van beroepsziekten bij mannen? Hoe aan te tonen dat er sprake is van een statische significantie van stof van FCC van de raffinaderijen zoals bij Tata?



Figuur 8a. Incidenties van longkanker in de totale bevolking (links) en de kans dat de SIR statistisch significant is verhoogd (rechts)

7.3 De bronnen van de raffinaderij stof

Om vast te stellen welke schade er mogelijk is, moet bekend zijn welke emissies er nu plaats door wie wat de vergunning voor schrijft en wat de praktijk is. Ook moet duidelijk zijn wat technisch realiseerbaar en economisch verantwoord is.

Table 1 Dutch refineries nameplate capacities and CO_2 emissions

Refinery site	Crude oil nameplate capacity [kt/yr][1)]	Crude oil nameplate capacity [PJ/yr][2)]	Direct CO_2 emissions 2016 [kt/yr][3)]	Direct CO_2 emissions 2017 [kt/yr][3)]	Direct CO_2 emissions 2018 [kt/yr][3)]	Direct CO_2 emissions 2019 [kt/yr][3)]
BP Refinery Rotterdam B.V.	20,000	854	2,292	2,074	2,254	2,151
ESSO Refinery Rotterdam	9,100	389	2,106	2,068	1,583	2,376
Gunvor Petroleum Rotterdam B.V.	4,500	192	420	448	397	421
Shell Nederland Raffinaderij B.V.	21,000	897	4,254	3,831	4,211	4,357
Vitol B.V.	3,500[4)]	149	74	115	102	109
Zeeland Refinery N.V.	8,907[4)]	380	1,552	1,601	1,633	1,588
Total	**67,007**	**2,861**	**10,699**	**10,137**	**10,180**	**11,002**
Direct CO_2 emissions/ crude oil intake			0.197	0.189	0.185	0.194

1) Data source: Facts & Figures on the Rotterdam Energy port and Petrochemical cluster (Port of Rotterdam, 2017)
2) Calculated based on average crude oil daily capacity and heating value of 42.7 MJ/kg for crude oil (RVO, 2018)
3) Nederlandse Emissieautoriteit (NEa, 2020)
4) Private communication with company, 2019

Deze raffinaderijen mogen volgens de bestaande BREF 10 tot 50 mg/m3 stof uitstoten, waarbij er geen onderscheid wordt gemaakt naar de grootte, samenstelling en structuur van de stof. Voor nieuwe installaties is sprake van een bandbreedte van 10 tot 25 mg/nm3. Hierbij wordt het opstellen van 4 ESP afvangers genoemd als “beste”.

Buitengewoon hoge waarden ten opzichte van installaties met vergelijkbare stof afvang, zoals kolencentrales en vuilverbrandingsinstallaties. Daar is sprake van een uitstoot van enkele mg/m3 en absoluut gezien < 5 mg/nm3. Ook is daar sprake van 6 ESP afvangers.

Technisch is het dus mogelijk om de emissie van stof met 90 % te verminderen.
Maar de BREF laat op fysiek en economische gronden de hogere uitstoot toe.

Er wordt gesteld dat voor bestaande eenheden de toepasbaarheid van:

- elektrostatische stoffilters mogelijk beperkt door de beschikbaarheid van ruimte
- natte gaswassing in zeer droge gebieden beperkt is door schaarste aan water en mogelijk ook beperkt kan zijn door problemen met de afvoer van de bijproducten van de behandeling (bv. afvalwater met een hoog gehalte aan zouten)

Hier rijzen dus vragen:

- waarom geen onderscheid naar de schadelijkheid van het fijnstof door samenstelling, grootte en structuur?
- Waarom zo makkelijk gezegd geen ruimte? Men kan ook in de hoogte bouwen of er naast!
- Waarom maximaal 4 velden en geen 6, zoals in andere sectoren wel normaal is?

De essentie lijkt te liggen in de kosten die per kg vermeden stof in raffinaderijen moeten gemaakt. Onbegrijpelijk dat deze bij centrales en vuilverbrandingsinstallaties lager liggen dan bij raffinaderijen!

De in volgend jaar te verschijnen BREF Raffinaderijen moet worden aangescherpt vanwege de zeer grote risico's met stof van FCC en de onvergelijkbaarheid met andere BREF's voor centrales en vuilverbrandingsinstallaties.

8 Verder onderzoek

We zien een toenemend besef dat fijnstof des te schadelijker is naarmate het kleiner is, meer het zware metalen en verbrandingsresten bevat. Nog niet is onderkend dat er ook nog scherp hoekig snijdende fijnstof is die mogelijk longweefsel nog meer beschadigt.

Het is wenselijk dat de Gezondheidsraad, Natuur en Milieu, Antoni van Leeuwen Ziekenhuis, Longfonds, Astma Fonds zich hier over uitspreken.!

Worden de raffinaderijen de Tata's en Chemours van de toekomst voor Rotterdam?

Het is logisch om aan te sluiten bij de lopende onderzoeken van RIVM: De blootstelling aan fijnstof en stikstofoxide leidt tot een verwachte levensduurverkorting van gemiddeld 2,5 maand voor bewoners in de IJmond. Met metingen, berekeningen en analyses wordt onderzocht wat de uitstoot is in dit gebied en wat de mogelijke effecten hiervan zijn op de gezondheid van omwonenden. Het effect van ultrafijn stof op de gezondheid is vrij onbekend. Het RIVM gaat deze deeltjes meten en onderzoekt de gezondheidseffecten door blootstelling aan ultrafijn stof.

Voorstel voor monitoring en epidemiologisch onderzoeksopzet

Doel: Kwantificeren van FCC-bijdrage aan lokale PM-exposities en evalueren van gezondheidseffecten bij omwonenden en (optioneel) werknemers. Hieronder volgt een praktisch voorstel.

Belangrijkste elementen

1. Emissiemetingen en bron aanwijzing:
- Continue PM2.5/PM10 monitoring op meerdere locaties (boven en bendenwinds, dichtbij en ver af).
- Periodieke chemische analyse van PM (metalen, PAH-analyse, organische fracties).
- Gebruik van tracers: lanthanoïden, V, Ni en specifieke katalysatormarkers.
- Wind-based nonparametric regression en PMF/CMB voor bronaanwijzing.

2. Biomonitoring:
- Urine-metalen (Ni, V) en eventueel PAH-metabolieten (1-hydroxypyrene) in representatieve steekproeven van omwonenden (bijv. kinderen en volwassenen).
- Herhaalde metingen (seizoensgebonden) om variatie vast te leggen.

3. Gezondheidsmonitoring / epidemiologie:
- Cross-sectionele gezondheidsenquêtes (respiratoire symptomen, medische voorgeschiedenis), gecombineerd met longfunctietests (spirometrie).
- Cohortopzet indien mogelijk (follow-up 3-5 jaar) voor incidentie van chronische aandoeningen.
- Gebruik van gezondheids administratieve data (huisarts-/ziekenhuisopnamen) voor ecologische analyses en time-series analyses bij emissie-episoden.

4. Statistische aanpak:
- Gemixte effectenmodellen voor individuele-level analyses (medename van andere epidemiologische factoren zoals leeftijd, Sociaal economische status, gewicht, roken).
- Time-series en case-crossover analyses voor acute effecten gekoppeld aan periodieke emissies.
- Vermogensberekening: voor respiratoire symptomen ~1000 deelnemers (afhankelijk van verwachte effectgrootte); voor biomonitoring 100–300 deelnemers per groep.

5. Kwaliteitsborging:
- ISO/EN-gecertificeerde analysemethoden (EN 13284-1 voor stofmonsters, ICP-MS voor metalen).
- Kalibratie van meetapparatuur en externe validatie van laboratoriumanalyses.

6. Rapportage en communicatie:
- Periodieke rapporten naar stakeholders en openbare samenvattingen voor bewoners.
- Protocol voor snelle follow-up bij verhoogde meetwaarden of acute emissie gerelateerde incidenten.

Bijlage 1 Beleid in Nederland

1.1 DCMR: Beste beschikbare technieken BBT

In het belang van het bereiken van een hoog niveau van bescherming van het milieu moeten aan de vergunningvoorschriften worden verbonden die nodig zijn om de nadelige gevolgen die de inrichting voor het milieu kan veroorzaken, te voorkomen of, als dat niet mogelijk is, zoveel mogelijk – bij voorkeur bij de bron – te beperken en ongedaan te maken. Daarbij wordt ervan uitgegaan dat in de inrichting ten minste de voor de inrichting in aanmerking komende beste beschikbare technieken (BBT) worden toegepast.

Als op een activiteit of op een type productieproces binnen de inrichting waarvoor een vergunning is aangevraagd, geen BBT-conclusies of informatiedocumenten over BBT van toepassing zijn, of als de van toepassing zijnde BBT-conclusies of informatiedocumenten niet alle mogelijke milieueffecten van de activiteit of het proces behandelen, moet het bevoegd gezag de BBT zelf vaststellen. Hierbij houdt het bevoegd gezag in ieder geval rekening met:

- de toepassing van technieken die weinig afvalstoffen veroorzaken;
- de toepassing van stoffen die minder gevaarlijke zijn dan stoffen of mengsels als omschreven in artikel 3 van de EG-verordening indeling, etikettering en verpakking van stoffen en mengsels;
- de ontwikkeling, waar mogelijk, van technieken voor de terugwinning en opnieuw gebruiken van de bij de processen in de inrichting uitgestoten en gebruikte stoffen en van afvalstoffen;
- vergelijkbare processen, apparaten of wijzen van bedrijfsvoering die met succes in de praktijk zijn beproefd;
- de vooruitgang van de techniek en de ontwikkeling van de wetenschappelijke kennis;
- de aard, de effecten en de omvang van de betrokken emissies;
- de data waarop de installaties in de inrichting in gebruik zijn of worden genomen;
- de tijd die nodig is om een betere techniek toe te gaan passen;
- het verbruik en de aard van de grondstoffen, met inbegrip van water- en de energie-
- efficiëntie;
- de noodzaak om het algemene effect van de emissies op en de risico's voor het milieu te voorkomen of tot een minimum te beperken;
- de noodzaak ongevallen te voorkomen en de gevolgen daarvan voor het milieu te beperken.

De op één van deze criteria vastgestelde BBT moet een milieubeschermingsniveau garanderen dat ten minste gelijkwaardig is aan het niveau in de BBT-conclusies.

1.2 Schone Lucht Akkoord (hierna: SLA)

Er wordt over het algemeen uitgegaan van een monotone relatie tussen de concentratie fijn stof en gezondheidseffecten, er is geen drempelwaarde waaronder geen effecten optreden. De reden hiervan is dat tot op het laagst onderzochte fijn stof niveau gezondheidseffecten zijn gevonden. Enkele recente studies laten effecten op sterfte zien bij concentraties lager dan 10 µg/m^3 PM2,5 (fijnstof) (Crouse et al. 2015; Crouse et al. 2012; Pinault et al. 2016; WHO (World Health Organization) 2013a). De WHO adviseerde in 2005 te streven naar een waarde van 20 µg/m^3 PM10 (fijnstof) en 10µg/m^3 PM2,5 (WHO 2005), waarbij de advieswaarde voor PM2,5 leidend is. De gezondheidskundige advieswaarden van de WHO voor fijn stof liggen aanmerkelijk lager dan de huidige wettelijke grenswaarden (zie Wet -en regelgeving) die niet alleen op gezondheidskundige informatie zijn gebaseerd, maar waarbij ook economische en politieke argumenten een rol spelen. Aangezien de Europese grenswaarden in Nederland voor een belangrijk deel gehaald worden, vindt het grootste deel van de gezondheidseffecten van fijn stof dus onder de normen plaats. De WHO is momenteel bezig met een herziening van de advieswaarden voor fijn stof.

1.3 Omgevingsvisie Zuid Holland:

Provinciale Staten meldt dat ook de provincie Zuid-Holland dit akkoord heeft ondertekend. Met het SLA committeren de verschillende overheden zich aan de ambitie om de luchtkwaliteit in Nederland permanent te verbeteren.

Het doel van het SLA is de gezondheidsschade door luchtvervuiling in 2030 te verminderen met minimaal 50 procent ten opzichte van 2016. Voor onder meer de energiesector en de industrie heeft de rijksoverheid zich als doel gesteld om de emissie-eisen aan te laten sluiten aan de onderkant van de BBT-range van een BBT-conclusie.

Dit doel is verwoord in de Omgevingsvisie Zuid-Holland, gewijzigd op 8 maart 2023. Hierin wordt gesteld dat het een beleidskeuze is om de luchtkwaliteit te verbeteren met als doel de gezondheidsschade aan mensen en de schade aan de natuur te beperken en daardoor bij te dragen aan een gezonde woon- en leefomgeving. De basis van het provinciale luchtkwaliteitsbeleid is om in samenwerking met andere partijen aan de wettelijke Europese luchtkwaliteitseisen te voldoen. De Provincie Zuid-Holland streeft verder naar het in 2030 behalen van de in 2019 geldende WHO-advieswaarden voor luchtkwaliteit. De doelen voor de luchtkwaliteit gaat de provincie bereiken door uitvoering van het Schone Lucht Akkoord, de provinciale maatregelen ter verbetering van de luchtkwaliteit en de inzet van het instrumentarium in het kader van Vergunningverlening toezicht en handhaving (VTH). Vervolgens is de inzet van de provincie nader door haar uitgewerkt in de "Nota VTH 2024 - 2027" van 24 oktober 2023. In deze nota worden de volgende zaken genoemd, die te relateren zijn aan de uitvoering van het SLA:

- De provincie hanteert bij omgevingsvergunningen de Beste Beschikbare Technieken (BBT) als uitgangspunt voor vergunningen. Waar gewenst en haalbaar wordt bij het verlenen van omgevingsvergunningen gekeken of maatregelen kunnen worden voorgeschreven die verder gaan dan BBT. Specifiek is daarbij aandacht voor omgevingsveiligheid en gezondheid.
- Waar milieu hygiënisch gewenst en haalbaar wordt gekeken of verder dan BBT-maatregelen kunnen worden voorgeschreven. Dit in het kader van het terugdringen van de milieudruk en het beschermen van de gezonde en veilige leefomgeving.
- Het is onze ambitie om zo dicht mogelijk aan de onderkant van de BBT-range te vergunnen met als doel de luchtkwaliteit te verbeteren en daarmee uitvoering te geven aan de industriemaatregelen uit het SLA.BP: Zorg is de emissie van de regenerator, NOx oude stookinstallaties, SO2, geluid en energie.

1.4 Milieu federatie Zuid Holland: Project ‘Stop het stille gif’

PFAS vervuilen onze bodem, ons water en ons lichaam. Vrijwel iedereen in Nederland draagt deze schadelijke stoffen inmiddels in het bloed – vaak boven veilige gezondheidskundige grenzen. De gevolgen zijn ernstig: PFAS kunnen ons immuunsysteem aantasten, cholesterol verhogen en het risico op kanker vergroten.

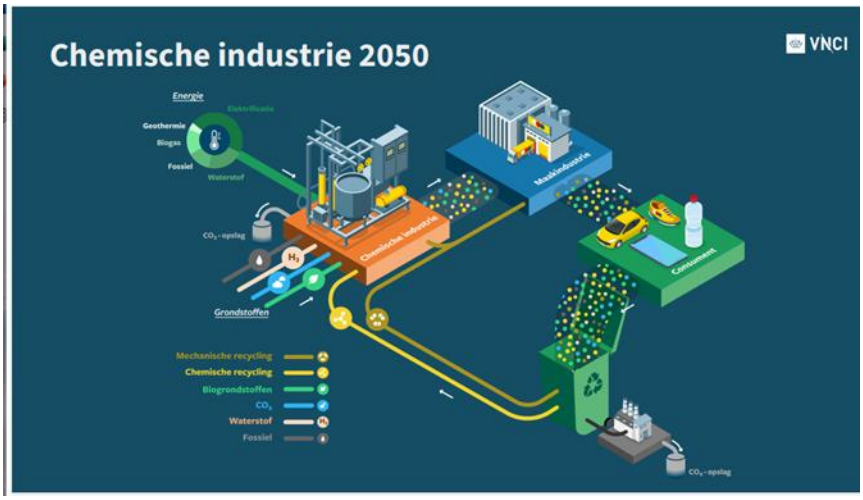
Ondanks dat de risico’s al jaren bekend zijn, gaan bedrijven door met het lozen en gebruiken van PFAS. Zwakke regels en falend toezicht zorgen ervoor dat de vervuiling zich verder verspreidt, terwijl bewoners en natuur de prijs betalen.

Wat doen wij? De Natuur en Milieufederaties Noord- en Zuid-Holland pleiten voor een totaalverbod op PFAS, strengere handhaving en steun voor bewoners en actiegroepen die lokaal in actie komen.

Samen vergroten we de druk op overheid en industrie, en bouwen we aan een gezonde leefomgeving.

1.5 VNCI: De chemische industrie

De VNCI streeft naar uitstoot van nul in 2050.



1.6 SEO

Het instituut Sociaal Economisch Onderzoek van de Universiteit van Amsterdam stelt een belasting voor op fijnstof.

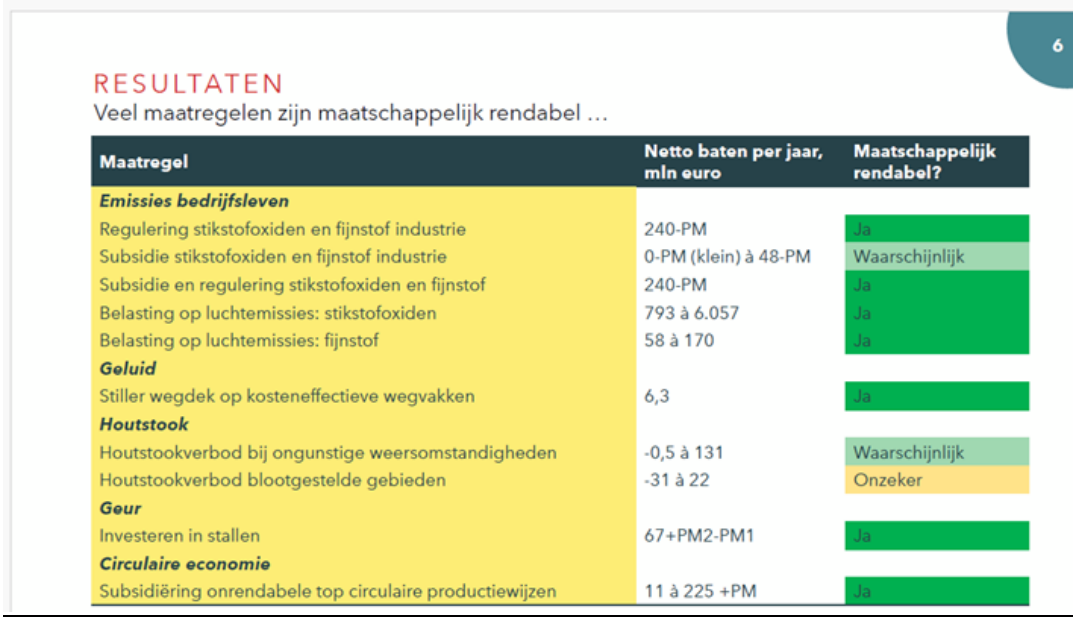


5

AANPAK

Welke maatregelen zijn onderzocht?

Maatregel	Toelichting
Emissies bedrijfsleven	
Regulering stikstofoxiden en fijnstof industrie	Verplichtstelling kosteneffectieve maatregelen
Subsidie stikstofoxiden en fijnstof industrie	Subsidie kosteneffectieve maatregelen
Subsidie en regulering stikstofoxiden en fijnstof	Combinatie subsidie en verplichtstelling
Belasting op luchtemissies: stikstofoxiden	Hoogte belasting = externe kosten
Belasting op luchtemissies: fijnstof	Hoogte belasting = externe kosten
Geluid	
Stiller wegdek op kosteneffectieve wegvakken	Kosteneffectieve investeringen in stil asfalt
Houtstook	
Houtstookverbod ongunstig weer	Betreft fijnstof, vooral van open haarden
Houtstookverbod blootgestelde gebieden	Betreft fijnstof in dichtbevolkte gebieden, vooral open haarden
Geur	
Investeren in stallen	Verplichtstelling
Circulaire economie	
Onrendabele top circulaire productiewijzen	Subsidie voor bedrijven



6

RESULTATEN

Veel maatregelen zijn maatschappelijk rendabel …

Maatregel	Netto baten per jaar, mln euro	Maatschappelijk rendabel?
Emissies bedrijfsleven		
Regulering stikstofoxiden en fijnstof industrie	240-PM	Ja
Subsidie stikstofoxiden en fijnstof industrie	0-PM (klein) à 48-PM	Waarschijnlijk
Subsidie en regulering stikstofoxiden en fijnstof	240-PM	Ja
Belasting op luchtemissies: stikstofoxiden	793 à 6.057	Ja
Belasting op luchtemissies: fijnstof	58 à 170	Ja
Geluid		
Stiller wegdek op kosteneffectieve wegvakken	6,3	Ja
Houtstook		
Houtstookverbod bij ongunstige weersomstandigheden	-0,5 à 131	Waarschijnlijk
Houtstookverbod blootgestelde gebieden	-31 à 22	Onzeker
Geur		
Investeren in stallen	67+PM2-PM1	Ja
Circulaire economie		
Subsidiëring onrendabele top circulaire productiewijzen	11 à 225 +PM	Ja

1.7 TNO: Fijnstofnorm behaald, probleem niet opgelost

TNO komt met het volgende voorstel:

1. **Brongericht** en iteratief de **fijnstofsamenstelling** bepalen. Hoeveel fijnstof komt er in een bepaald gebied voor? Om wat voor soort fijnstofdeeltjes met bijbehorende eigenschappen gaat het? Wat zijn de bronnen? In deze verkennende fase spelen vooral onafhankelijke (kennis)instellingen een belangrijke rol.

2. Brongerichte en specifieke **monitoringsstrategie** inrichten. Provincies, gemeenten, (milieu)omgevingsdiensten en kennisinstellingen gaan aan de slag met lange-termijn-monitoring van fijnstofeigenschappen, zoals grootte en **reactiviteit**. Daarbij maken zij gebruik van een meetinstrumentarium om doelgericht beleid te ontwikkelen.

3. In kaart brengen van luchtkwaliteit in ruimte en tijd. Zo is het mogelijk om op lokaal niveau te achterhalen hoe de fijnstofkaart eruit ziet en wat **de meest belaste plekken** zijn. En met de nodige ondersteuning van kennisinstellingen, omgevingsdiensten en GGD kunnen gemeenten en/of provincies gepaste maatregelen nemen om de blootstelling op de meest belaste locaties te verminderen.

4. Lokaal een **gezondheidsrelevante indicator voor fijnstofmengsels** bepalen. Hier bepalen we **de impact van lokale fijnstofmengsels op de volksgezondheid**. Vooral op dit vlak hebben we nog een grote informatieachterstand en zullen we dus op zoek moeten naar nieuwe manieren om meer inzicht te krijgen in de gezondheidsimpact van verschillende fijnstofdeeltjes. Innovatieve (data) technologie zou een belangrijke rol kunnen spelen. Op basis van alle verzamelde informatie en analyses wordt het mogelijk om sneller in te spelen op een lokale situatie. Hiermee kunnen kennisinstellingen, omgevingsdiensten en GGD in de toekomst gericht aangeven welke maatregelen er lokaal nodig zijn en welke gezondheidswinst dat oplevert.

5. **Lokaal fijnstofbeleid voor gezondheidswinst opzetten**. De (lokale) overheid maakt op basis van het voorgaande een fijnstofbeleid dat rekening houdt met de factoren die in een specifieke omgeving van belang zijn. Niet op elke plek zijn veel maatregelen nodig, het gaat om de juiste

maatregel op de juiste plek. Om dat zo gericht mogelijk te kunnen doen, gaat de overheid in gesprek met gezondheidsdiensten en (industriële) stakeholders. Zo houdt de overheid niet alleen een vinger aan de pols, maar leveren die gesprekken ook informatie op die weer van pas komt bij het doorvoeren van verbeteringen. Naast een goede monitoring is er ook een vorm van lokale handhaving nodig om erop toe te zien dat alle partijen zich aan de afspraken houden

1.8 Fijnstof dossier RIVM

Stof waarschijnlijk altijd schadelijk

Er kunnen geen veilige niveaus worden aangetoond waarbij geen schadelijke gezondheidseffecten van fijn stof optreden. Dit houdt in dat er op basis van in epidemiologische studies geen buitenluchtconcentratie is aan te geven waar beneden geen gezondheidseffecten worden gevonden. Daarom zullen er ook beneden de huidige grenswaarden voor fijn stof in de buitenlucht gezondheidseffecten kunnen optreden. Dit betekent dat, er gezondheidswinst mag worden verwacht bij elke microgram minder fijn stof ongeacht de aard of samenstelling van het fijn stof. Wel is bekend dat niet al het fijn stof even schadelijk is en dat beleid dus kan prioriteren op basis van toxiciteit en blootstellingscenario's.

Bij de gezondheidseffecten van fijn stof is niet aan te geven welke individuen het precies betreft. Wel is aannemelijk dat bij een grotere gevoeligheid het risico op gezondheidseffecten groter is. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan oudere mensen met hart- en vaat-, en luchtweg- en longaandoeningen vanwege een verminderde functie van afweermechanismen.

Bij fijn stof (en luchtverontreiniging in bredere zin) wordt vooral over vroegtijdige sterfte of levensduurverkorting gesproken. Het totaal aan gezondheidseffecten lijkt echter omvangrijker. Naast vroegtijdige sterfte worden in onderzoeken ook effecten waargenomen als verergering van bestaande ziekten, zoals aandoeningen van hart- en vaatstelsel- en luchtwegen en longen, en de hiermee verbonden toename van ziekenhuisopnames, klachten en symptomen en verzuim op school en werk. Met andere woorden, mensen die hoog worden belast hebben een minder kwaliteit van leven. Deze effecten komen op grotere schaal in de bevolking voor dan vroegtijdige sterfte en dragen bij aan de totale ziektelast in de bevolking. Deze effecten zijn echter vaak minder goed te berekenen door het gebrek aan bruikbare registratiesystemen. Dit verklaart dan hier veel minder over is gepubliceerd.

Fijn stof is een mengsel van veel verschillende soorten chemische bestanddelen afkomstig van een scala aan antropogene en natuurlijke bronnen. Zowel fijn stof (PM 10) als het fijnere deel van fijn stof (PM 2,5) zijn geassocieerd met gezondheidseffecten. De Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) beschouwt PM 2,5 als schadelijker voor de gezondheid dan de deeltjes groter dan 2,5 µ m (WHO, 2006a), waarbij deze laatste fractie echter wel degelijk ook wordt geassocieerd met gezondheidseffecten. Binnen PM 2,5 wordt ook nog ultrafijn stof, PM 0,1 , onderscheiden. De schadelijkheid van de kleinere fracties is mede ingegeven door de notie dat hoe kleiner de deeltjes zijn hoe verder ze in de longen kunnen doordringen (afbeelding 4.1). Zeer kleine deeltjes zouden zo zelfs in de bloedbaan kunnen geraken en daarmee direct in contact kunnen komen met hart en andere organen. Aangezien ultrafijn stof zeer weinig bijdraagt aan de totale massa van fijn stof zijn de huidige normen voor PM 2,5 en PM 10 wellicht niet optimaal.

Huidig onderzoek wijst in de richting dat in ieder geval de kleine (zwarte) roetdeeltjes bij gezondsheidsschade van belang zijn. Het gaat hier om deeltjes die vrij komen bij verbrandingsprocessen zoals bij alle verkeersvormen, energieopwekking, raffinaderijen, bij houtkachels en sommige industriële activiteiten. Dit geeft richting aan de vraag welke chemische bestanddelen van fijn stof

de oorzaak zijn van de gezondheidseffecten.

Naast organische stoffen worden ook oplosbare metalen in verband gebracht met nadelige effecten op de gezondheid. Andere bestanddelen van fijn stof zoals zeezout en ook het sulfaat- en nitraatfractie in fijn stof zijn duidelijk minder schadelijk. Vaststaat dat niet al het fijn stof even schadelijk is en dat er waarschijnlijk betere indicatoren kunnen worden ontwikkeld die de causale relaties kunnen onderbouwen. Gezien de complexe samenstelling van fijn stof is nog niet vastgesteld wat het precieze gevolg van vermindering van de genoemde componenten is op de terugdringing van gezondheidsschade.

Ondanks de mogelijke verschillen in schadelijkheid tussen bestanddelen van fijn stof (WHO, 2006b) is de Wereldgezondheidsorganisatie er tot voor kort van uitgegaan dat in het heterogene fijnstofmengsel van zowel PM 10 als PM 2,5 elke component gezondheidskundig even belangrijk is. De belangrijkste reden is het gebrek aan gegevens over de samenstelling van fijn stof die in epidemiologisch onderzoek kunnen worden gebruikt. Dit is dan ook tot nu toe steeds als uitgangspunt bij de risicoschattig genomen. Hierbij speelt bovendien een rol, dat onbekend is wat de effecten zullen zijn op de gezondheid bij vermindering van de individuele bestanddelen. Op korte termijn zal de WHO echter op basis van de resultaten van wetenschappelijk onderzoek van de laatste jaren met een nieuwe beoordeling van de situatie komen. **Wel is het steeds duidelijker geworden dat vooral roet bijdraagt aan de gezondheidseffecten**

Bijlage 2 Technische analyse

Technische Analyse van Fijnstofemissies uit Fluidised Catalytic Cracking (FCC)-installaties

Dit rapport behandelt de aard, samenstelling, emissiebronnen, gezondheids- en milieueffecten van fijnstof afkomstig uit Fluidised Catalytic Cracking (FCC)-installaties binnen de aardolieraffinage. FCC-fijnstof bestaat voornamelijk uit aluminosilicaten, metalen (Ni, V, Fe, Cu), koolstofdeeltjes en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's). Deze stoffen vormen significante risico's voor zowel gezondheid als milieu. Met toepassing van Best Beschikbare Technieken (BBT) kunnen emissies echter worden beperkt tot onder de Europese emissiegrenswaarden (<20 mg/Nm³).

1. Inleiding

Fluidised Catalytic Cracking (FCC) is een essentieel proces in de raffinage van aardolie, bedoeld om zware fracties om te zetten naar lichtere producten zoals benzine en LPG. Tijdens dit proces komt fijnstof vrij, voornamelijk tijdens de regeneratie van de katalysator. Dit rapport analyseert de samenstelling, emissiepunten, gezondheidsrisico's en beheersmaatregelen van FCC-fijnstof op basis van Europese BBT-conclusies en wetenschappelijke literatuur.

2. Procesbeschrijving

De FCC-installatie bestaat uit twee hoofdsecties: de reactor en de regenerator. In de reactor wordt zware gasolie gekraakt met behulp van een vaste katalysator. In de regenerator wordt de gebruikte katalysator gereinigd door verbranding van kool (coke). Tijdens deze regeneratie ontstaan hete rookgassen die fijnstof, SO_2, NO_x en metalen bevatten. Deze gassen worden via cyclonen, elektrostatische filters en eventueel natte gaswassers gereinigd voordat ze via de schoorsteen worden geëmitteerd.

3. Samenstelling en fysisch-chemische eigenschappen

FCC-fijnstof bestaat voornamelijk uit deeltjes van aluminosilicaat met metalen zoals nikkel (Ni), vanadium (V), ijzer (Fe) en koper (Cu). Daarnaast bevat het koolstofhoudende fracties (cokes) en sporen van PAK's. De deeltjesgrootte varieert meestal tussen 0,1 en 10 µm, met een significante fractie in het $PM_{2.5}$-bereik.

4. Emissiepunten en emissiekenmerken

De belangrijkste emissiebronnen binnen de FCC zijn:
- De regeneratoruitlaat (hoofdemissiepunt voor fijnstof)
- Cycloonlekkages
- Catalyst handling (transport en opslag)

Typische concentraties zonder reiniging liggen tussen 300 en 1500 mg/Nm³, terwijl na toepassing van elektrostatische filters of scrubbers waarden van 5–20 mg/Nm³ worden bereikt.

5. Gezondheids- en milieueffecten

De gezondheidsrisico's zijn primair gerelateerd aan de inhalatie van fijne en ultrafijne deeltjes. $PM_{2.5}$ kan diep in de longen doordringen en ontstekingsreacties veroorzaken. De aanwezigheid van Ni en V verhoogt de toxiciteit en draagt bij aan carcinogeniciteit. Voor het milieu vormt neerslag van metaalhoudend stof een risico voor bodem en vegetatie, met accumulatie van zware metalen in de bovenste bodemlagen.

6. Best Beschikbare Technieken (BBT)

De belangrijkste BBT-maatregelen voor beperking van fijnstofemissies uit FCC-installaties zijn:
- Toepassing van meertrapscyclonen (rendement 80–95%)
- Elektrostatische filters (rendement 95–99,9%)
- Natte gaswassers (rendement 90–98%)
- Combinatiesystemen (ESP + scrubber, >99,9%)
- Optimalisatie van de regeneratiecondities (volledige verbranding, minimale O_2-excessen)

Continue emissiemeting (CEMS) en periodieke monsterneming volgens EN 13284-1 worden aanbevolen.

7. Risico-evaluatie

Zonder adequate reiniging zijn de emissies en blootstellingsniveaus potentieel significant. De toepassing van BBT-technieken beperkt deze risico's substantieel. Belangrijk is de redundantie van filtersystemen en de aanwezigheid van alarmering bij storingen.

8. Conclusie

FCC-fijnstof is een complexe mix van anorganische en organische componenten met zowel gezondheids- als milieurelevante risico's. De emissies kunnen effectief worden gecontroleerd door toepassing van elektrostatische filters en natte gaswassers. Naleving van de Europese emissienormen (<20 mg/Nm³) is haalbaar met moderne installaties en adequaat onderhoud. Continue monitoring blijft noodzakelijk om de prestaties van de reinigingssystemen te waarborgen.

Bijlage 3 BREF – Refining of Mineral Oil and Gas (Gereduceerde Vertaling)

Dit hoofdstuk bevat een gereduceerde Nederlandstalige vertaling van de relevante passages uit het Europese BREF-document 'Refining of Mineral Oil and Gas' (Europese Commissie, JRC Sevilla, 2015), met nadruk op fijnstofemissies (particulate matter) en de bijbehorende Best Beschikbare Technieken (BBT).

9.1 Toepassingsgebied

Het document beschrijft de beste beschikbare technieken (BBT) voor de raffinage van aardolie en aardgas binnen de EU, overeenkomstig Richtlijn 2010/75/EU betreffende industriële emissies (IED). Het geldt voor alle hoofdprocessen in raffinaderijen, waaronder destillatie, reforming, hydrotreating en Fluidised Catalytic Cracking (FCC).

9.2 Emissies van stofdeeltjes

Fijnstofemissies ontstaan voornamelijk bij FCC-regeneratoren, waar cokes op de katalysator wordt verbrand, en bij handling van katalysatorpoeder. De emissies bestaan uit katalysatordeeltjes (aluminosilicaat), onverbrande koolstof, metalen (Ni, V, Fe, Cu) en PAK's.

9.3 Gezondheids- en milieurisico's

FCC-fijnstof bevat een groot aandeel respirabele deeltjes (PM10 en PM2.5) die leiden tot luchtweg- en cardiovasculaire effecten bij langdurige blootstelling. Metalen en PAK's verhogen de toxiciteit en dragen bij aan carcinogeniciteit. Daarnaast dragen sulfaat- en nitraatdeeltjes bij aan secundaire aerosolen.

9.4 BAT-geassocieerde emissieniveaus (BAT-AELs)

De BAT-AELs voor fijnstof uit FCC-regeneratoren zijn vastgesteld op 2–20 mg/Nm³ (3% O_2, droge basis). Ter vergelijking: oudere installaties zonder BBT konden 300–1500 mg/Nm³ uitstoten. Andere relevante waarden: SO_2 20–150 mg/Nm³ en NO_x 100–350 mg/Nm³.

9.5 Best Beschikbare Technieken (BBT)

De BREF identificeert de volgende technieken als BBT voor beperking van fijnstofemissies:
- Meertrapscyclonen (rendement 80–95%)
- Elektrostatische filters (ESP) (rendement 95–99,9%)
- Natte gaswassers (scrubbers) (rendement 90–98%)
- Combinatie ESP + scrubber (>99,9%)
- Optimalisatie van de regeneratie (volledige verbranding, lage O_2)

9.6 Monitoring en naleving

De BREF schrijft continue emissiemetingen (CEMS) voor bij FCC-regeneratoren met een gasdebiet >100.000 Nm³/h, jaarlijkse kalibratie van apparatuur en rapportage conform de IED-vereisten. Moderne installaties kunnen met deze maatregelen PM-emissies onder 10 mg/Nm³ behalen.

9.7 Samenvatting

Toepassing van elektrostatische filters en/of natte gaswassers wordt beschouwd als Best Beschikbare Techniek voor de beperking van stofemissies uit FCC-installaties. Met deze technieken kunnen emissieniveaus tussen 2 en 20 mg/Nm³ worden bereikt, in overeenstemming met de Europese emissierichtlijnen.

Bijlage 4 Toxicologische Analyse van FCC-fijnstof

Dit hoofdstuk behandelt de toxicologische en fysisch-chemische eigenschappen van fijnstof afkomstig uit Fluidised Catalytic Cracking (FCC)-installaties, met nadruk op de specifieke schadelijkheid ten opzichte van andere fijnstofbronnen.

1 Fysisch-chemische kenmerken

FCC-fijnstof bestaat hoofdzakelijk uit zeer fijne aluminosilicaatdeeltjes afkomstig van de katalysator. Deze deeltjes zijn hoekig, poreus en hebben een groot specifiek oppervlak (20–200 m^2/g). Ze adsorberen zware metalen (Ni, V, Fe, Cu) en organische verbindingen zoals PAK's en roet. Door hun open structuur en katalytische eigenschappen zijn ze chemisch zeer reactief.

2 Toxiciteitsmechanismen

De schadelijkheid van FCC-fijnstof wordt bepaald door verschillende elkaar versterkende mechanismen:
1. Oxidatieve stress door metaalgeïnduceerde radicalenvorming (Fenton-reacties).
2. Ontstekingsreacties in longweefsel door mechanische prikkeling door hoekige deeltjes.
3. Genotoxische effecten door PAK's en metalen, die DNA-schade veroorzaken.
4. Systemische verspreiding van ultrafijne fracties (<0,1 µm) via de bloedbaan.

3 Vergelijking met ander fijnstof

In vergelijking met stedelijk of verkeersgerelateerd fijnstof (zoals dieselroet) is FCC-fijnstof gemiddeld 2–5 keer toxischer per massa-eenheid. Dit komt door de combinatie van fijnheid, katalytische activiteit en de aanwezigheid van metalen en PAK's. FCC-stof veroorzaakt sterkere oxidatieve stress, langdurige ontstekingsreacties en een hogere kans op DNA-schade.

4 Gezondheidsrisico's

Langdurige blootstelling aan FCC-fijnstof kan leiden tot chronische luchtwegaandoeningen, cardiovasculaire effecten en verhoogd kankerrisico. De kleinste fracties ($PM_{2.5}$ en kleiner) kunnen doordringen tot in de alveoli en systemisch verspreid worden. Zware metalen zoals nikkel en vanadium dragen bij aan carcinogeniteit en lever- of nierbelasting.

5 Conclusie

FCC-fijnstof is aanzienlijk schadelijker dan gemiddeld stedelijk of industrieel fijnstof. De combinatie van zeer fijne, hoekige, poreuze aluminosilicaatdeeltjes met een groot oppervlak, vervuild met zware metalen, roet en PAK's, maakt deze stof biologisch zeer actief en potentieel carcinogeen. Een streng emissie- en blootstellingsbeheer is daarom essentieel in raffinaderijomgevingen.

Bijlage 5 Zware metalen: bronnen, toxiciteit en milieueffecten

1. Arseen

Arseen komt in zowel natuurlijke als antropogene vormen voor. De anorganische, industriële verbindingen zijn het meest toxisch. Chronische blootstelling veroorzaakt huidafwijkingen, bloedarmoede, perifere neuropathie en verhoogde risico's op long- en huidkanker (WHO, 2013).

2. Cadmium

Cadmium is een zeer giftig metaal dat zich ophoopt in organismen. Belangrijke bronnen zijn zinkproductie, fossiele brandstoffen en meststoffen. Inademing of opname via voedsel leidt tot nierschade, botontkalking, longemfyseem en carcinogene effecten (IARC 100C, 2012).
In ecosystemen is cadmium toxisch voor bodemorganismen en remt het de afbraak van organisch materiaal, waardoor bodemstructuur en -functie worden aangetast.

3. Lood

Lood wordt nog toegepast in batterijen, legeringen en glasproducten. Het accumuleert in het skelet en veroorzaakt bloedarmoede, nier- en hersenbeschadiging en verminderde vruchtbaarheid. Kinderen zijn bijzonder gevoelig door neurotoxische effecten (EEA, 2022).
Ecologisch verstoort lood de bodemfauna en accumuleert het in aquatische organismen, wat effecten veroorzaakt in de voedselketen.

4. Nikkel

Nikkel veroorzaakt contacteczeem, luchtwegirritatie en bij langdurige blootstelling verhoogde incidentie van long- en neuskanker (IARC Vol. 100C). Deeltjes van nikkel komen vooral vrij bij verbranding en metallurgische processen.

5. Chroom

Chroom(III) is een essentieel sporenelement dat betrokken is bij de glucose- en vetstofwisseling. De zeswaardige variant, chroom(VI), is sterk oxidatief en genotoxisch. Inhalatie van Cr(VI) veroorzaakt long- en neuscarcinomen en kan leiden tot nier- en leverschade (Gezondheidsraad 2019). In het milieu is Cr(VI) zeer giftig voor waterorganismen; verzuring bevordert opname door planten.

6. Kwik

Kwik is uiterst toxisch en wordt nog steeds in kleine hoeveelheden uitgestoten bij verbranding en mijnbouw. In het milieu wordt anorganisch kwik door micro-organismen omgezet in methylkwik, dat zich ophoopt in vissen en zo in de voedselketen terechtkomt.
Blootstelling leidt tot neurologische schade, nierfunctiestoornissen en ontwikkelingsproblemen bij foetussen (UN Minamata Convention, 2021).

7. Zink

Zink is essentieel in lage doses maar schadelijk in hoge concentraties. Het wordt toegepast in verzinking, legeringen en pigmenten. Overmatige blootstelling veroorzaakt maag- en huidklachten en kan de stofwisseling verstoren (Baars et al., 2001).

In het milieu tast een te hoge zinkbelasting micro-organismen en planten aan, waardoor biodiversiteit afneemt in zinkrijke bodems.

Conclusie

De onderzochte zware metalen vertonen uiteenlopende toxicologische profielen, maar delen drie kenmerken:

1. **Bio-accumulatie** in mens en milieu;
2. **Persistentie** – ze worden nauwelijks afgebroken;
3. **Synergetische effecten** – combinaties (zoals Ni + V + PAK's in FCC-fijnstof) vergroten de totale toxiciteit.

Integratie van deze kennis is essentieel voor brongericht emissiebeleid, gezondheidsmonitoring en risicobeoordeling van FCC-gerelateerde fijnstofemissies

Bijlage 6 Fluidised Katalytische Krakers

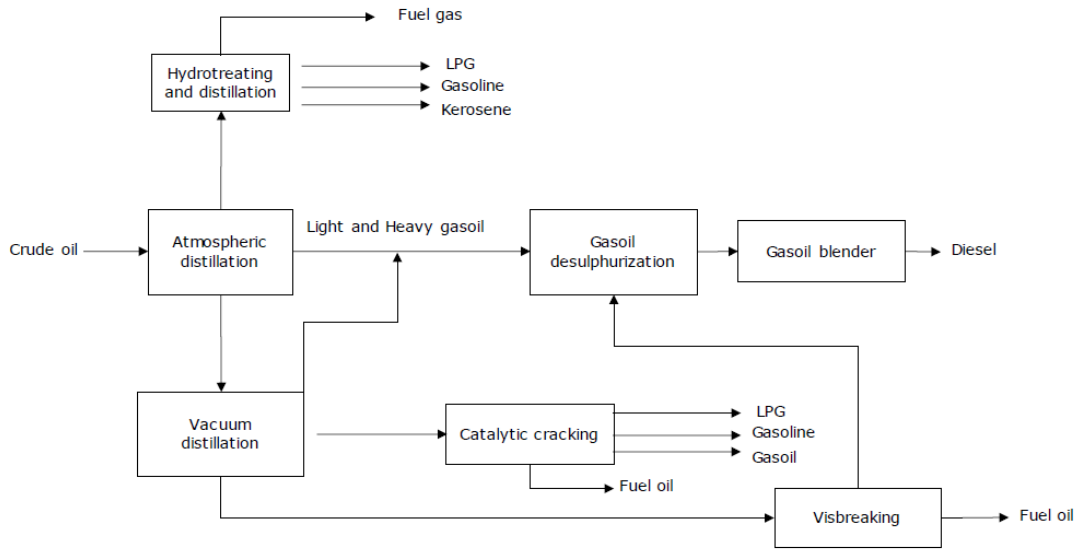


Figure 5 BP refinery process diagram

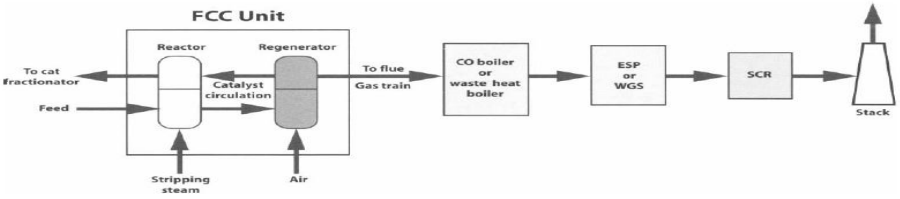


Figure J.1 Generic process flow diagram for FCCU and ancillary flue gas treatment.

Fluidised katalytische krakers (FCC's) zijn grote raffinage-eenheden die zwaardere fracties uit de ruwe-olie- en vacuümdistillatiekolommen omzetten in lichtere producten van benzine- en distillaatkwaliteit. Tijdens het kraken worden complexe moleculen in de voedingsstroom afgebroken tot eenvoudigere moleculen. Katalysatoren maken het mogelijk dit proces bij lagere temperaturen uit te voeren dan anders het geval zou zijn. Ze verhogen bovendien de omzetting, opbrengst en selectiviteit.

FCC-installaties zijn van onschatbare waarde voor raffinaderijen, gezien de verslechterende kwaliteit van de voedingsstromen, de toenemende vraag naar lichtere producten en de steeds strengere productspecificaties. FCC's vergroten de flexibiliteit van raffinaderijen met betrekking tot zowel de voedingsstoffen die ze kunnen verwerken als de kwaliteit en samenstelling van de producten die ze kunnen produceren.

De FCC-katalysator wordt continu geregenereerd om de koolstofafzetting (cokes) op het oppervlak te verbranden. Afhankelijk van de beschikbaarheid van zuurstof bevatten de rookgassen CO_2, CO en verschillende koolwaterstoffen (VOCs, SVOCs, PAK's, dioxinen, furanen), meestal in kleine hoeveelheden. De fijnere katalysatordeeltjes ontsnappen via de uitlaat van de FCC-regenerator. Half-/niet-vluchtige zware metalen, waaronder nikkel, cadmium, seleen, kwik, arseen, chroom, mangaan, barium, beryllium, kobalt, lood en andere gevaarlijke metalen, worden uitgestoten via de uitlaatstroom — ofwel als afzettingen op katalysatordeeltjes, of in dampvorm.

De hoeveelheid katalysator die circuleert tussen de regenerator en de reactor bedraagt ongeveer 5 kg per kg voedingsstof, wat overeenkomt met ongeveer 4,66 kg per liter voedingsstof. Een FCC-eenheid die 11.900 m³ per dag verwerkt, zal dus ongeveer 55.900 ton katalysator per dag circuleren. Het katalysatorverlies bedraagt:
2,2 / 30.000 × 55.900 = 4,5 ton per dag.

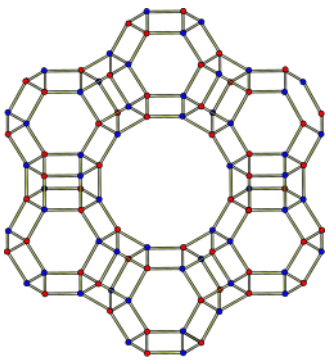
Aangezien blootstelling aan fijnstof (zwevende deeltjes) al lange tijd wordt beschouwd als een gezondheidsrisico, werd fijnstof in de oorspronkelijke Clean Air Act van 1970 aangewezen als een van de criteria-verontreinigende stoffen. De bezorgdheid over fijnstof was aanvankelijk gebaseerd op de effecten op de luchtwegen, zoals het verergeren van astma, bronchitis en emfyseem. In de afgelopen jaren hebben echter talrijke epidemiologische studies blootstelling aan fijnstof in verband gebracht met een veel breder scala aan negatieve gezondheidseffecten, waaronder cardiovasculaire aandoeningen zoals aderverkalking (atherosclerose), ischemische beroertes (veroorzaakt door een verminderde bloedtoevoer naar de hersenen) en hartaanvallen.

Studies tonen ook aan dat blootstelling aan fijnstof kan samenhangen met andere gezondheidseffecten, zoals verminderde cognitieve functies, autisme en een verhoogd risico op diabetes. Zuigelingen en kinderen, ouderen en mensen met hart- of longaandoeningen zijn het meest gevoelig voor de effecten van fijnstof. Verhoogde blootstelling aan PM2.5 wordt bovendien geassocieerd met een groter risico op ernstige uitkomsten bij infectieziekten van de luchtwegen; een recent onderzoek toonde aan dat een kleine toename in langdurige blootstelling aan PM2.5 kan leiden tot een aanzienlijke stijging van het sterftecijfer door COVID-19.

Katalysatorstof staat ook bekend als fijnstof of PM dat gebonden is in de rookgassen die de uitlaat van de regenerator verlaten. Deze deeltjes kunnen ook ontsnappen als hinderlijke diffuse emissies tijdens onderhoudsbeurten aan de regenerator of bij het periodiek verwijderen of aanvullen van verouderde katalysatoren. Ze zijn carcinogeen vanwege de aanwezigheid van nikkel in de katalysator en vormen dus een chemisch gezondheidsrisico. De regenerator is de grootste bron van PM-emissies in een raffinaderij.

De emissie-eisen voor kleine deeltjes (FCC-fijnstof, met name PM) zijn afhankelijk van de regelgeving van de bevoegde autoriteiten en de raffinaderij zelf, maar een veelvoorkomende PM-norm is gebaseerd op de hoeveelheid koolstof die in de regenerator wordt verbrand. In wezen mag voor elke 1000 kg cokes die wordt verbrand, slechts 1 pond kg of minder de FCC-regenerator verlaten (wat overeenkomt met 95–125 mg/Nm³ in de VS en 80–500 mg/Nm³ in de EU). Strengere concentraties van 50 mg/Nm³ zijn elders gemeld, en mogelijk zal dit vóór 2050 verder dalen tot 10 mg/Nm³.

Katalysatormateriaal



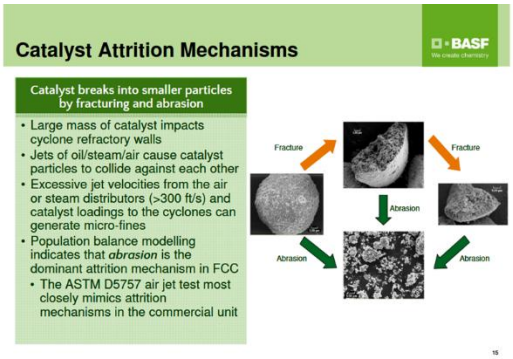
Structuur van de aluminosilicaatkooi in faujasiet (een type moleculaire zeef van aluminosilicaat, gekenmerkt door een faujasietachtige structuur bestaande uit een raamwerk van sodalietkooien en een driedimensionaal poreus kanalenstelsel. Dit maakt het materiaal geschikt voor katalytische toepassingen vanwege het grote poriënvolume en de thermische stabiliteit).

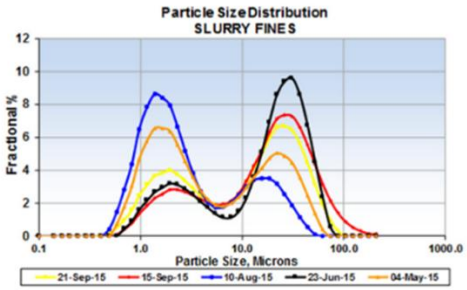
De hoekpunten worden bezet door aluminium- of siliciumatomen, terwijl de verbindende staven worden ingenomen door oxide (O^{2-}) of hydroxide (OH^-)-groepen. Speciale modificaties van faujasiet zijn sterke vaste zuren, die bij hoge temperaturen de herschikking van C–C-bindingen veroorzaken zoals die in FCC-eenheden optreden.

Een moderne FCC-katalysator bestaat uit vier hoofdcomponenten: Kristallijn zeoliet ,matrix, bindmiddel, vulmiddel.

Zeoliet is de actieve component en vormt ongeveer 15% tot 50% van het gewicht van de katalysator. Faujasiet (ook wel Type Y genoemd) is het zeoliet dat in FCC-eenheden wordt gebruikt. De zeolieten zijn sterke vaste zuren (vergelijkbaar met 90% zwavelzuur).

De alumina-matrixcomponent van een FCC-katalysator draagt ook bij aan de katalytisch actieve plaatsen. De bindmiddel- en vulmiddelcomponenten zorgen voor de fysieke sterkte en structurele integriteit van de katalysator. Het bindmiddel is meestal siliciumsol, en het vulmiddel is doorgaans klei (kaolien).





Dus scherp gevormd fijnstof met zeer veel kleine deeltjes die diep de longen indringen en daar zware metalen afgeven.

Bijlage 7 Zelfredzaamheid, externalisering en fijnstof van FCC

Bedrijven zijn wettelijk verplicht om schade aan de omgeving door incidenten met hun installaties zoveel mogelijk te voorkomen. *Zoveel mogelijk*, want volledige zekerheid is onbetaalbaar. Bedrijven moeten hun kosten laag houden om te kunnen concurreren en winst maken voor hun aandeelhouders. Daardoor ontstaat er altijd een spanningsveld tussen het streven naar hoge veiligheid en economie.

Maar een hoge veiligheid is ook het belang van het bedrijf. Het gaat om veiligheid van medewerkers, de beschikbaarheid van de installatie, de relatie met de omliggende bedrijven, de woonomgeving van hun medewerkers en de goede naam bij de klanten.

Volledige zekerheid bij installaties is bovendien onmogelijk. Er kunnen altijd dingen misgaan: door menselijke fouten, ontwerpfouten of slechte materialen, door invloeden van buitenaf, corrosie, veroudering of doordat pas later blijkt dat iets schadelijker is dan gedacht.

De overheid gebruikt rekenmodellen en regels om veiligheid via vergunningen te waarborgen. Maar die modellen — zoals Safeti voor veiligheidsberekeningen — en regels — zoals de BREF's (Europese richtlijnen voor de beste beschikbare technieken in de industrie) — lopen vaak achter bij de werkelijkheid. Techniek, installaties, stoffen en inzichten veranderen sneller dan de wetgeving. Tegelijk wil de overheid de eisen niet te streng maken, om de concurrentie positie van bedrijven niet in gevaar te brengen.

Voor de bestrijding van incidenten zijn er de bedrijfsbrandweer en de gemeentelijke brandweer. Maar ook die hebben hun grenzen. Het is niet realistisch om veel mensen op te leiden en paraat te houden voor een groot incident dat misschien eens in een miljoen jaar gebeurt. Bedrijven willen dan de kosten van een bedrijfsbrandweer niet dragen, terwijl gemeenten juist proberen de kosten van hun brandweer te verlagen.

Zo ontstaat een situatie waarin het tóch mis kan gaan. Bedrijven kunnen of willen niet alles betalen, de overheid loopt achter, en de samenleving wil de extra kosten niet dragen. Het gevolg: de risico's verschuiven naar de burgers.

Dat heet *externalisering* — het verplaatsen van risico's en verantwoordelijkheden naar buiten het bedrijf of de overheid. In dit geval: naar de omwonenden van de industrie.

We noemen dat vervolgens *zelfredzaamheid*: bij een incident moeten omwonenden zichzelf in veiligheid brengen en een veilige plek vinden tot het gevaar voorbij is. In feite betekent dit dat het bedrijf, de overheid en de gemeenteraad de gevolgen van een incident over de schutting gooien — recht de tuin van de omwonende in.

De burger wordt geacht te luisteren naar het luchtalarm, zijn mobiele telefoon bij zich te hebben en te weten hoe hij zich in veiligheid brengt. Dat is het offer dat je geacht wordt als omwonende van de industrie te accepteren in het belang van het grotere geheel.

Maar dat offer mag niet zijn het inleveren van de gezondheid cq. het verlies van levensjaren.

Het effect van fijnstof is duidelijk. En nog duidelijker is het gevaar van fijnstof van FCC.

Bijlage 8 Literatuur

Voor een volledige APA-verantwoorde versie van het rapport "FCC-fijnstof en fijnstofbelasting in Nederland" door H.J. Compter (VVBV, 2025), zijn hieronder de wetenschappelijke bronnen en referenties volgens de APA-stijl uitgewerkt. Deze lijst bevat internationale, Europese en Nederlandse literatuur die al in het rapport werd genoemd, aangevuld met correcte APA-vermeldingen.

APA-literatuurlijst

Baars, A. J., Theelen, R. M. C., Janssen, P. J. C. M., Hesse, J. M., van Apeldoorn, M. E., Meijerink, M. C. M., Verdam, L., & Zeilmaker, M. J. (2001). *Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels*. Bilthoven: RIVM.

Burr, W. S., Dufresne, A., & Rochon, K. (2018). The Oakville Oil Refinery Closure and Its Influence on Local Hospitalizations: A Natural Experiment on Sulfur Dioxide. *Environmental Health Perspectives, 126*(4), 47001. https://doi.org/10.1289/EHP2826

Cohen, A. J., Brauer, M., Burnett, R., Anderson, H. R., Frostad, J., Estep, K., ... & Forouzanfar, M. H. (2017). Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Disease Study 2015. *The Lancet*, *389*(10082), 1907-1918. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)30505-6

Costa, D. L., & Dreher, K. L. (1997). Bioavailable transition metals in residual oil fly ash and their role in pulmonary injury. *Toxicology in Vitro*, *11*(2), 263–272. https://doi.org/10.1016/S0887-2333(97)00014-1

Crouse, D. L., Peters, P. A., Hystad, P., Brook, J. R., van Donkelaar, A., Martin, R. V., ... & Goldberg, M. S. (2015). Ambient PM2.5, O3, and NO2 exposures and associations with mortality over 16 years of follow-up in the Canadian census health and environment cohort (CanCHEC). *Environmental Health Perspectives, 123*(11), 1180-1186. https://doi.org/10.1289/ehp.1409276

DCMR Milieudienst Rijnmond. (2022). *Ultrafijnstofemissies en metalen in de Rijnmond*. Schiedam: DCMR.

Du, X., & Turner, J. R. (2015). Characterization of fine particulate emissions from Fluid Catalytic Cracking Units. *Environmental Science & Technology*, *49*(8), 5051–5060. https://doi.org/10.1021/es506240n

European Commission. (2018). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Refining of Mineral Oil and Gas (BREF)*. Brussels: Joint Research Centre.

Gezondheidsraad. (2018). *Gezondheidseffecten van luchtverontreiniging in Nederland*. Den Haag: Gezondheidsraad.

Harari, R., Freire, C., Sander, D., Buitrón, M., & Olea, N. (2016). Environmental nickel exposure from oil refinery emissions: a case study in Ecuador. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 13*(7), 681. https://doi.org/10.3390/ijerph13070681

IARC. (2012). *A review of human carcinogens: Metals, arsenic, dusts, and fibres*. (Vol. 100C). Lyon: International Agency for Research on Cancer.

Janssen, N. A. H., Hoek, G., Simic-Lawson, M., Fischer, P. H., ten Brink, H., Keuken, M., ... & Cassee, F. R. (2011). Black carbon as an additional indicator of the adverse health effects of airborne particles compared with PM10 and PM2.5. *Environmental Health Perspectives, 119*(12), 1691-1699. https://doi.org/10.1289/ehp.1003369

Maas, R. J. M., Fischer, P. H., Wesseling, J., Houthuijs, D. J. M., & Cassee, F. (2015). *Luchtkwaliteit en gezondheidswinst*. Bilthoven: RIVM.

Martin, N. R., Tran, H. T., Tien, N. T., & Rocha, R. (2018). Characterization and comparison of oxidative potential of combustion-derived PM. *Atmospheric Environment, 175*, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.11.022

Pedersen, M., Giorgis-Allemand, L., Bernard, C., Aguilera, I., Andersen, A. M. N., Ballester, F., ... & Slama, R. (2013). Ambient air pollution and low birthweight: a European cohort study (ESCAPE). *The Lancet Respiratory Medicine, 1*(9), 695–704. https://doi.org/10.1016/S2213-2600(13)70192-9

Planbureau voor de Leefomgeving. (2021). *Emissies van industrie en luchtkwaliteit*. Den Haag: PBL.

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). (2024). *Fijnstof en gezondheid in Nederland*. Bilthoven: RIVM.

TNO. (2023). *Fijnstof: norm gehaald, probleem niet opgelost*. Delft: TNO.

Williams, L. R., Kazemimanesh, M., & Brown, C. (2020). Toxicological properties of refinery particulate matter. *Atmospheric Pollution Research, 11*(4), 712–720. https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.01.011

World Health Organization. (2005). *Air Quality Guidelines: Global Update 2005*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.

World Health Organization. (2013). *Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.

World Health Organization. (2006). *Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution*. Copenhagen: WHO.

Zhang, Z., Laden, F., Forman, J. P., Hart, J. E., & Chen, W. (2009). A review of effects of particulate matter-associated nickel and vanadium. *Environmental Health Perspectives, 117*(3), 472–478. https://doi.org/10.1289/ehp.11852