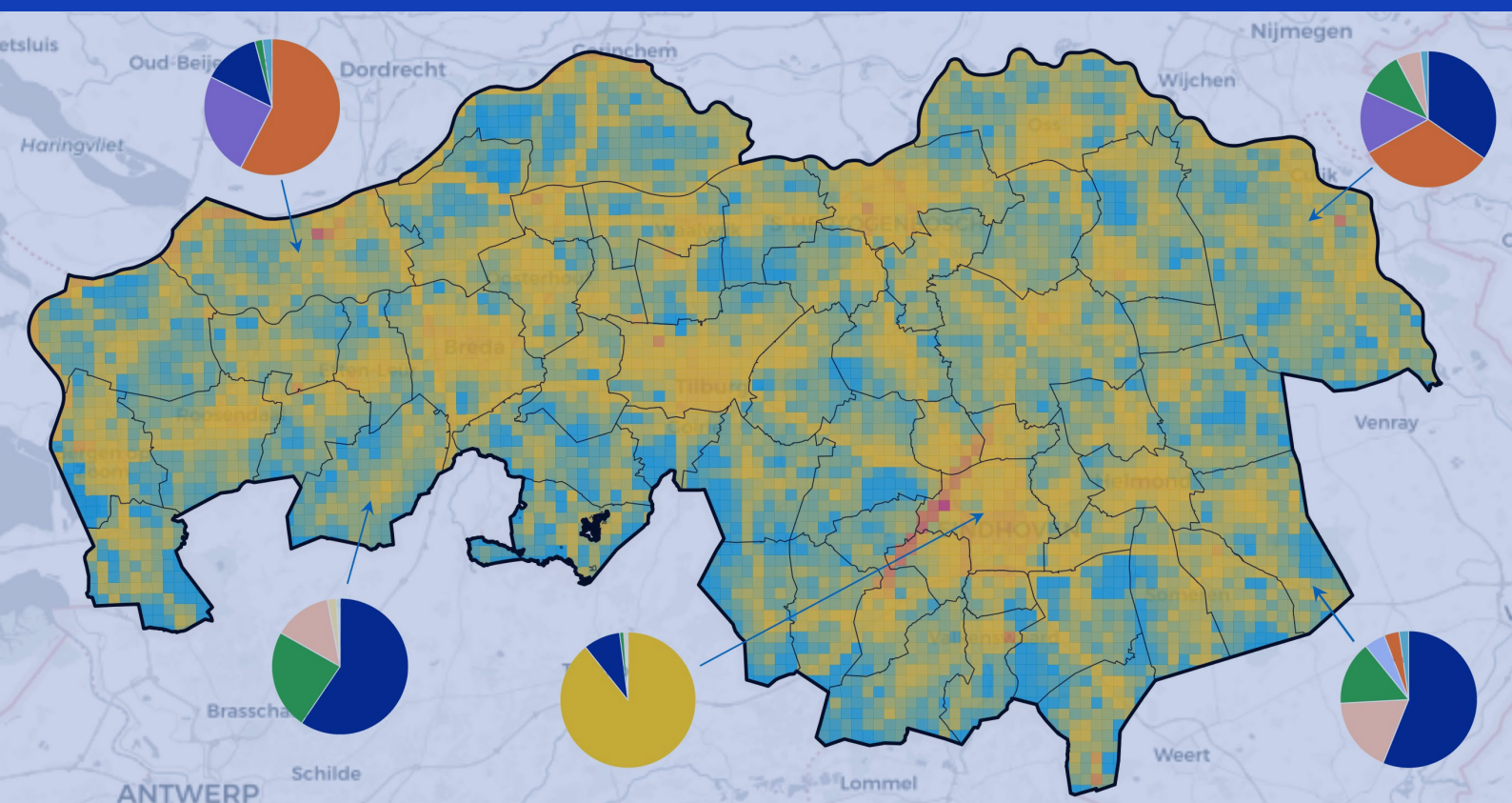


Ultrafijnstof in de provincie Noord- Brabant

Uitstoot en het effect van maatregelen



TNO 2026 17706 – 3 september 2026

Ultrafijnstof in de provincie Noord-Brabant

Uitstoot en het effect van maatregelen

Auteurs	Ties J. Korstanje, Marya el Malki, Antoon J.H. Visschedijk, Jeroen J.P. Kuenen, Ruben Goudriaan
Rubricering rapport	TNO Publiek
Aantal pagina's	44 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	2
Opdrachtgever	Provincie Noord-Brabant
Projectnaam	2026 Prov. Brabant - UFP emissies
Projectnummer	060.67235

Alle rechten voorbehouden

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

© 2026 TNO

Samenvatting

Ultrafijnstof zijn zeer kleine deeltjes in de lucht. Ultrafijnstof kent (nog) geen wettelijke normen, maar er zijn wel steeds meer aanwijzingen dat blootstelling aan ultrafijnstof schadelijk kan zijn voor de gezondheid. De Provincie Noord-Brabant wil meer inzicht krijgen waar ultrafijnstof vandaan komt, welke bronnen het belangrijkste zijn en welke maatregelen de uitstoot kunnen verminderen.

TNO heeft de uitstoot van ultrafijnstof in Noord-Brabant in kaart gebracht op basis van de meest recente gegevens uit de landelijke Emissieregistratie, waarbij twee bronnen verder uitgewerkt zijn: industrie en luchtvaart. Hieruit is gebleken dat de belangrijkste bronnen luchtvaart en wegverkeer zijn (38% en 32%). Daarna volgen met 7 – 9% elk industrie, binnenvaart en consumenten (met name houtstook). De meeste uitstoot vindt plaats bij drukke wegen, Luchthaven Eindhoven en in het stedelijke gebied. In de steden wonen veel mensen. Maatregelen om daar de uitstoot te verlagen kunnen daarom de blootstelling van inwoners aan ultrafijnstof het meest verminderen.

Uit de onderzochte maatregelen blijkt dat overheden ook daadwerkelijk handelingsperspectief hebben voor het terugdringen van de uitstoot van ultrafijnstof. Vooral maatregelen gericht op wegverkeer kunnen veel opleveren. Zo kan het invoeren van een zero-emissiezone in de bebouwde kom voor alle wegverkeer 15% vermindering van de uitstoot van ultrafijnstof opleveren. In sommige gemeenten kan dit zelfs oplopen tot meer dan 50%. Een houtstookverbod kan ook belangrijke winst opleveren: 6%.

Voor luchtvaart en scheepvaart ligt het handelingsperspectief meer op nationaal en Europees niveau. Er is al een Europese verplichting voor het bijmengen van duurzame vliegtuig-brandstoffen. Hierdoor zal de uitstoot van ultrafijnstof door vliegtuigen afnemen met ongeveer 19% in 2040, wat overeenkomt met 7% van het provincietotaal. Voor scheepvaart levert elektrificering van de pleziervaart en veerponten, binnenlandse en internationale scheepvaart een belangrijke bijdrage (oplopend van 3% tot 8% van de totale uitstoot van ultrafijnstof).

Voor industrie zijn de uitkomsten onzekerder. Uit dit onderzoek is gebleken dat bij sommige industriële processen mogelijk heel veel ultrafijnstof kan vrijkomen. Om dit te bevestigen zijn meer metingen specifiek gericht op industrie nodig.

Veel maatregelen die hier geëvalueerd zijn, zijn niet direct gericht op ultrafijnstof, maar dragen wel bij om de uitstoot te verminderen. Zo groeit het aandeel elektrisch wegverkeer, zijn er zero-emissiezones in drie steden in de provincie, en wordt meer ingezet op schoon en emissieloos bouwen. Tegelijkertijd zijn er ook mogelijkheden om deze ontwikkelingen te versnellen of gericht in te zetten op die plekken waar hoge uitstoot en veel inwoners samenvallen.

Dit onderzoek biedt de eerste inzichten waar de belangrijkste bronnen van ultrafijnstof zijn en welke maatregelen genomen kunnen worden om de uitstoot van ultrafijnstof omlaag te brengen. Tegelijkertijd is van ultrafijnstof relatief veel onbekend, bijvoorbeeld hoe het zich verspreidt in de leefomgeving en in welke concentraties het daar voorkomt. Daarom zijn er vervolgstappen mogelijk voor betere onderbouwing: structurele metingen van ultrafijnstof in Noord-Brabant, gerichte metingen bij industrie en het toepassen van modellering om uitstoot om te rekenen naar concentraties in de leefomgeving. Daarmee kan nog scherper bepaald worden welke bronnen waar het beste aangepakt kunnen worden voor optimale gezondheidswinst voor de inwoners van Noord-Brabant.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
Inhoudsopgave	4
1 Inleiding	5
1.1 Ultrafijnstof	5
1.2 Doel van dit onderzoek	6
2 Emissieinventarisatie Noord-Brabant	7
2.1 Methode	7
2.1.1 Afleiding van nationaal naar provincie	8
2.1.2 Verdieping op specifieke bronnen	8
2.2 Resultaten en onzekerheden	10
2.3 Vergelijking met heel Nederland	12
3 Evaluatie van maatregelen	14
3.1 Methode	14
3.1.1 SLA-maatregelen	14
3.1.2 Illustratieve maatregelen	15
3.2 Resultaten	17
3.2.1 Mobiliteit (wegverkeer)	17
3.2.2 Mobiele werktuigen (incl. landbouw)	19
3.2.3 Luchtvaart	19
3.2.4 Industrie	21
3.2.5 Binnenvaart en havens	21
3.2.6 Houtstook	22
3.3 Een waaier van maatregelen	23
4 Duiding	25
4.1 Wat betekent dit voor inwoners?	25
4.2 Wat kunnen overheden hiermee?	26
4.2.1 Handelingsperspectief	26
4.2.2 Autonome ontwikkelingen	26
5 Conclusies en mogelijke vervolgstappen	28
5.1 Conclusies	28
5.2 Mogelijke vervolgstappen	28
6 Referenties	30

1 Inleiding

1.1 Ultrafijnstof

In de afgelopen jaren zijn er in toenemende mate zorgen over ultrafijnstof en de mogelijke gezondheidseffecten daarvan. Ultrafijnstof is de allerkleinste fractie van fijnstof, met een doorsnede van kleiner dan 100 nanometer (of 0,1 micrometer), en is daarmee 100 keer kleiner dan de grootste fractie van fijnstof (PM₁₀, deeltjes onder de 10 micrometer). In 2021 heeft de Gezondheidsraad een advies geschreven over de risico's van ultrafijnstof in de buitenlucht, waarbij aangegeven is dat er steeds meer aanwijzingen zijn dat langdurige blootstelling aan ultrafijnstof een negatief effect op de gezondheid heeft.¹ Eén van de zorgwekkende aspecten van ultrafijnstof is het vermogen om heel diep in het lichaam door te dringen, waaronder in de bloedbaan en de hersenen. Van ultrafijnstof is bekend dat er gezondheidseffecten kunnen optreden door kortdurende (hoge) blootstelling, met name op het hart- en vaatstelsel en luchtwegaandoeningen, zoals astma.^{2,3} Over de effecten van langdurige blootstelling is nog minder bekend, maar er zijn steeds meer aanwijzingen dat ook langdurige blootstelling tot gezondheidseffecten kan leiden.⁴

Omdat ultrafijnstof (vaak afgekort tot UFP, naar het Engelse *ultrafine particles*) zoveel kleiner is dan het grotere fijnstof, is de manier van meten en uitdrukken anders. PM_{2,5} en PM₁₀ worden uitgedrukt in massaconcentraties in de lucht (eenheid: $\mu\text{g} / \text{m}^3$), maar omdat de kleine deeltjes waaruit ultrafijnstof bestaat weinig massa hebben, worden deze over het algemeen uitgedrukt in deeltjesaantal-concentraties (eenheid: aantal deeltjes per cm^3 , # / cm^3). De uitstoot van ultrafijnstof wordt dan uitgedrukt in totaal aantal deeltjes (per tijdseenheid, vaak wordt de uitstoot per jaar aangeduid).

Over ultrafijnstof is minder bekend dan over het grotere fijnstof. Zo zijn er op dit moment slechts twee locaties in Nederland waar al sinds langere tijd ultrafijnstof gemeten wordt (sinds 2006 op de meetmast in Cabauw door TNO in het kader van het Europese meetnetwerk ACTRIS, en sinds 2018 in Ookmeer, Amsterdam Nieuw-West, door GGD Amsterdam). Dit aantal is in de afgelopen twee jaar uitgebreid tot acht locaties (aanvullend: Schiedam, Almere, Sluiskil, Geleen, Meerssen en Maastricht⁵). Ook in de vernieuwde Europese richtlijn voor luchtkwaliteit (Air Quality Directive, EU 2024/2881⁶) wordt voorgeschreven dat ultrafijnstof structureel gemeten moet worden op meerdere locaties in Nederland. Het RIVM is in opdracht van de Rijksoverheid deze metingen op dit moment aan het opzetten. RIVM heeft ook een (zeer) indicatieve kaart van ultrafijnstofconcentraties op basis van metingen opgesteld.⁷ In de Europese richtlijn zijn geen grens- of advieswaarden opgenomen voor ultrafijnstof in de buitenlucht en ook de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) heeft nog geen advieswaarden voor ultrafijnstof bepaald. Wel heeft de WHO richtgetallen opgesteld wat als lage (<1.000 # / cm^3) en hoge (>10.000 # / cm^3) concentraties beschouwd kan worden.⁸

Net als bij de metingen is in de afgelopen jaren de kennis van de uitstoot (emissies) van ultrafijnstof sterk toegenomen. Het eerste overzicht van de bronnen van ultrafijnstof en de bijbehorende uitstoot (ook wel emissie-inventarisatie genoemd) op Europese schaal is in 2009 opgesteld door TNO in het kader van het Europees onderzoeksproject EUCAARI,⁹ maar de eerste gedetailleerde ultrafijnstof emissie-inventarisatie van Nederland is pas in 2024 door TNO opgesteld in opdracht van RIVM voor de Nederlandse Emissieregistratie,¹⁰ welke in 2026 een update heeft gekregen.¹¹ Hierbij is het goed om op te merken dat deze emissie-

inventarisaties alleen de primaire uitstoot meenemen: dit zijn de deeltjes die daadwerkelijk als deeltje uit de bron komen. Secundaire vorming van ultrafijnstof vindt daarentegen in de lucht plaats vanuit gassen. Deze secundaire deeltjes zijn dus geen onderdeel van de emissie-inventarisatie, daarvoor is atmosferische modellering nodig.

1.2 Doel van dit onderzoek

Vanwege de toegenomen interesse in, en zorgen over, ultrafijnstof heeft de Provincie Noord-Brabant TNO benaderd met de vraag om in kaart te brengen wat de bronnen van ultrafijnstof in de provincie zijn, en wat het verwachte effect van (op fijnstof en NO₂ gerichte) al bestaande of voorgenoemen (Schone Lucht Akkoord, SLA) maatregelen is op de uitstoot van ultrafijnstof. Op die manier wil de Provincie haar kennis over de bronnen van ultrafijnstof vergroten en inzicht krijgen in hoeverre zij handelingsperspectief heeft op het gebied van ultrafijnstof.

Op basis hiervan heeft TNO een onderzoeksvoorstel opgesteld met drie doelen:

1. Het opstellen van een emissie-inventarisatie van ultrafijnstof voor de provincie Noord-Brabant;
2. Het bepalen van het effect van maatregelen (in het kader van het Schone Lucht Akkoord of andersoortige maatregelen) op de uitstoot van ultrafijnstof;
3. Voorlichting en kennisdeling over ultrafijnstof aan de Brabantse gemeenten.

Voor het opstellen van de emissie-inventarisatie is allereerst gebruik gemaakt van de gegevens uit de nationale emissie-inventarisatie. Deze is aangevuld met een uitwerking van een aantal voor Brabant specifieke emissiebronnen, zoals Luchthaven Eindhoven en enkele specifieke industriegebieden (hoofdstuk 2). Dit geeft de totale uitstoot van ultrafijnstof en de bijdrage van de relevante sectoren aan deze uitstoot. Deze uitstoot is ook gevisualiseerd op een kaart van Noord-Brabant op 1×1 km resolutie.

Voor het evalueren van maatregelen is uitgegaan van de lijst met verplichte en aanvullende (voorgenomen) maatregelen die in het Schone Lucht Akkoord zijn opgenomen (hoofdstuk 3). Eerder heeft Antea Group op kwalitatieve wijze naar de invloed van SLA-beleid op ultrafijnstof gekeken.¹² Het huidige TNO onderzoek doet dit op een kwantitatieve manier. Alleen maatregelen die een direct uitstootreducerend effect hebben en die inwerken op een voldoende grote bron van ultrafijnstof worden hiervoor meegenomen. Op basis van de nationale emissie-inventarisatie zijn dit de bronnen wegverkeer, luchtvaart, mobiele werktuigen, industrie, binnenvaart en havens, en consumenten (houtstook).

Naast deze SLA-maatregelen worden ook een aantal illustratieve maatregelen uitgewerkt, die weliswaar minder snel te implementeren zijn, maar waarvan wel een groter effect op de uitstoot van ultrafijnstof verwacht wordt.

Belangrijk om te benoemen is dat uitstootgetallen (emissies) niet direct gekoppeld zijn aan concentraties in de leefomgeving (immissies). Uitstoot geeft weer hoeveel ultrafijnstof er (per jaar) op een bepaalde plek uitgestoten wordt. Vervolgens verspreidt dit ultrafijnstof zich naar de omgeving. Als zich op een bepaalde plek met bepaalde concentraties dan ook mensen begeven, leidt dit tot blootstelling en uiteindelijk mogelijk tot nadelige gezondheidseffecten. In dit onderzoek is alleen de uitstoot van ultrafijnstof bekeken. Om van uitstoot tot concentraties te komen zijn verspreidingsmodellen nodig. Deze zijn op dit moment (verregaand) in ontwikkeling bij TNO, maar nog niet toegepast in dit onderzoek.

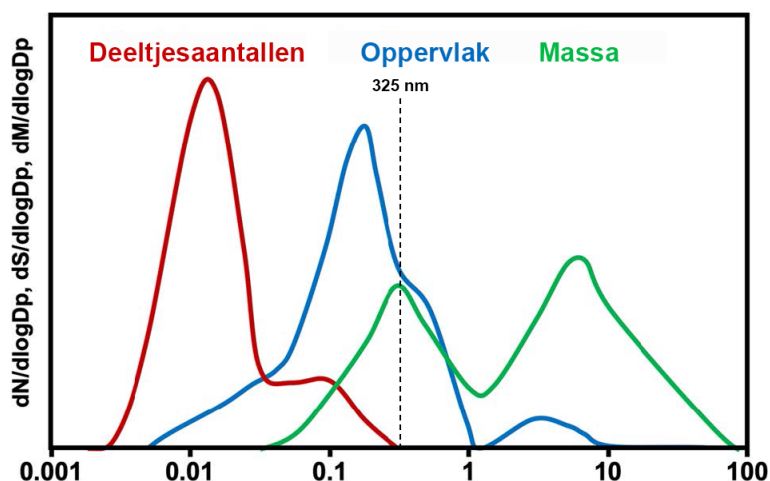
2 Emissieinventarisatie Noord-Brabant

2.1 Methode

In dit rapport wordt gebruikgemaakt van het totaal aantal deeltjes (Engels: Total Particle Number, TPN) met een diameter tussen 10 en 325 nanometer. Figuur 2.1 laat zien dat de piek van de deeltjesaantallen rond de 0,01 μm (10 nm) ligt, terwijl de massa vrijwel geheel boven de 0,1 μm (100 nm) ligt. Dit laat zien dat massa van de ultrafijnstofdeeltjes minimaal is ten opzichte van grotere deeltjes, wat nogmaals aangeeft waarom ultrafijnstof wordt uitgedrukt in deeltjesaantallen in plaats van massa.

In dit rapport hanteren we een bovengrens van 325 nm, wat betekent dat een wat ruimere definitie van ultrafijnstof wordt gehanteerd dan de gangbare 100 nm bovengrens. Dit sluit echter beter aan bij wat in de praktijk gemeten kan worden. In Figuur 2.1 is zichtbaar dat vrijwel alle deeltjes zich onder de 325 nm bevinden, en het gros daarvan zich onder de 100 nm bevindt. Omdat het lastig is om met metingen exact te bepalen welke deeltjes kleiner zijn dan 100 nm (0,1 μm in Figuur 2.1) worden daarom totale deeltjesaantallen typisch als maat voor ultrafijnstof gebruikt.

De emissie-inventarisatie omvat zowel vaste als vluchtige deeltjes en wordt uitgevoerd voor het jaar 2024. Daarmee sluit dit onderzoek aan bij, en bouwt voort op, de meest recente nationale emissie-inventarisatie van ultrafijnstof voor Nederland.¹¹



Figuur 2.1: Typische verdeling van deeltjesaantallen, deeltjesoppervlak en massa gepresenteerd naar deeltjesgrootte in μm (zichtbaar op de x-as). Te zien is dat vrijwel alle deeltjesaantallen zich bevinden onder de 325 nm, ultrafijnstof (deeltjes tot 100 nm) is hier het grootste onderdeel van. Dit figuur is een aangepaste versie van Kwon *et al.*¹³

2.1.1 Afleiding van nationaal naar provincie

Voor het opstellen van de emissie-inventarisatie voor de provincie Noord-Brabant is de nationale emissie-inventarisatie voor ultrafijnstof^{10,11} als uitgangspunt gebruikt. Deze bevat emissies op nationaal niveau voor een breed scala aan bronnen, waaronder verkeer en vervoer, industrie en meer.

Om deze nationale cijfers naar het lokale niveau te vertalen, zijn ruimtelijke verdelingskaarten gebruikt waarbij de emissies worden toegewezen aan een raster van 1×1 km. Deze kaarten zijn afgeleid van de ruimtelijk verdeelde emissies die jaarlijks door RIVM op 1×1 km resolutie worden vastgesteld, en welke TNO heeft opgevraagd van de Emissieregistratie. Deze resolutie is belangrijk voor een provinciale analyse, omdat het hiermee mogelijk gemaakt wordt om verschillen tussen gemeenten of specifieke gebieden binnen de provincie in kaart te brengen en te vergelijken, bijvoorbeeld bij het beoordelen van het effect van lokale of regionale maatregelen. De verdeelkaarten beschrijven waar emissies naar verwachting plaatsvinden op basis van geografische patronen. In deze studie gebruiken we de verdeelkaarten voor CO₂ en PM_{2,5}. CO₂-verdelingen zijn gebruikt als maat voor verbrandings-gerelateerde uitstoot, omdat deze de patronen van energieverbruik goed weerspiegelen. PM_{2,5}-verdelingen zijn gebruikt voor niet-verbrandingsbronnen, bijvoorbeeld remslijtage of grondbewerking, waar uitstoot van fijnstof een representatievere maat van de activiteit is.

Om te bepalen welke emissies binnen Noord-Brabant vallen, is een kaart van de bestuurlijke grens van de provincie gebruikt. Dit vroeg extra aandacht langs de provinciegrenzen, waar emissiebronnen niet altijd samenvallen met de bestuurlijke grenzen. Industrieclusters nabij de grens, zoals Industrial Park Moerdijk, zijn afhankelijk van hun locatie toebedeeld aan ofwel Noord-Brabant ofwel de naburige provincie Zuid-Holland. Waterwegen langs de grens, waaronder de Maas en het Hollands Diep, zijn verdeeld langs de bestuurlijke grens. Voor rastercellen die de provinciegrens doorsnijden, zijn emissies naar rato meegenomen op basis van het aandeel van de cel dat binnen Noord-Brabant valt.

Voor specifieke bronnen die in het bijzonder relevant zijn voor de provincie, met name luchtvaart en industrie, is aanvullend onderzoek uitgevoerd om de emissieschattingen te verfijnen. Gezien de aanwezigheid van Luchthaven Eindhoven en de aanzienlijke industriële activiteit in de provincie, zouden alleen nationale cijfers niet de specifieke kenmerken van deze bronnen in Noord-Brabant weerspiegelen. De methodologie achter deze verfijningen wordt nader toegelicht in paragraaf 2.1.2, en de bijbehorende cijfers zijn verwerkt in de definitieve inventarisatie.

2.1.2 Verdieping op specifieke bronnen

2.1.2.1 Industriële uitstoot van ultrafijnstof

De schattingsmethodiek die in de nationale emissie-inventarisatie is gebruikt om de uitstoot van ultrafijnstof voor Nederland als geheel te schatten¹⁰ is op dit moment (nog) niet voor iedere bron even nauwkeurig. Industrie is één van de bronnen waarbij de onzekerheid hoog is, terwijl wegverkeer vrij nauwkeurig is. Dit komt met name omdat er maar in beperkte mate metingen naar de uitstoot van ultrafijnstof bij industriële installaties zijn uitgevoerd. Bovendien is de variatie aan activiteiten, processen en nabehandelingssystemen binnen de industrie veel groter dan bijvoorbeeld in een sector zoals wegverkeer. Dit maakt een betrouwbare algemene inschatting van de uitstoot van de grote variatie aan industriële installaties complex.

Het is wel bekend dat de belangrijkste industriële processen voor ultrafijnstof vooral thermische processen zijn: processen waarbij verbranding of warmteontwikkeling plaatsvindt. Hierbij kunnen gassen en vluchtige stoffen vrijkomen die vervolgens bij afkoeling (in het proces of de schoorsteen, of na uitstoot in de buitenlucht) deeltjes kunnen vormen. Als er echter voldoende grotere deeltjes ($PM_{2.5}$) aanwezig zijn, zullen die vluchtige stoffen en ultrafijne deeltjes daarop terecht komen en dan vormen deze juist weinig tot geen ultrafijnstof.

Voor een deel van de industriële processen is een afleiding vanuit de $PM_{2.5}$ -massa uitstoot redelijk betrouwbaar. Dit geldt met name als de deeltjes niet al te klein zijn, omdat hun massa dan niet geheel verwaarloosbaar is. Er zijn echter ook processen waarbij wel zeer kleine deeltjes (<50 nm) gevormd worden, in dit onderzoek is ervoor gekozen om dit type uitstoot beter in kaart te brengen. Hierbij gaat het met name om processen die veel zwaveldioxide (SO_2) uitstoten. Zwaveldioxide kan zowel in de schoorsteen als daarbuiten doorreageren tot zwavelzuur (H_2SO_4), wat een kern voor ultrafijnstof kan vormen. Hierbij zijn verschillende parameters van belang, waaronder de verblijftijd in de schoorsteen, het watergehalte van het rookgas, de hoeveelheid andere fijnstofdeeltjes, en hoe groot de gevormde ultrafijnstofdeeltjes zijn. Deze parameters zijn voor de bekeken installaties geschat. De technische uitwerking van deze verdieping is verder beschreven in Bijlage A.

Op basis van de publiek beschikbare elektronische milieujaarverslagen (e-MJV) van 2023 zijn de tien grootste industriële uitstoters van zwaveldioxide in Noord-Brabant geselecteerd, waarvoor een indicatieve schatting gemaakt is van het mogelijk aantal ultrafijnstofdeeltjes dat door dit proces gevormd kan worden. Belangrijk hierbij te vermelden is dat de resultaten hiervan een grote mate van onzekerheid kennen, en indicatief van aard zijn.

2.1.2.2 Luchthaven Eindhoven

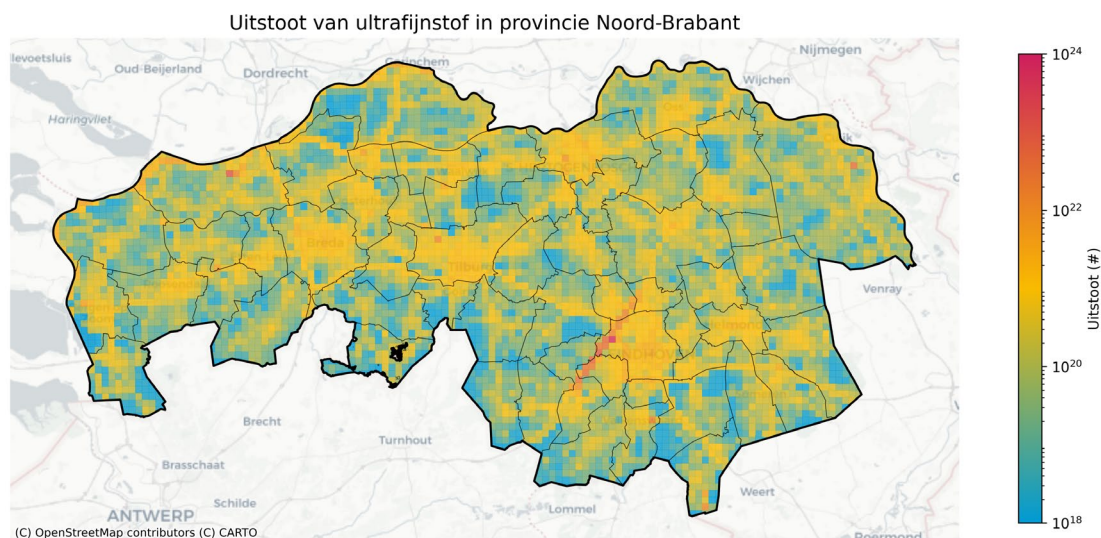
Luchtvaart en dan met name straalvliegtuigen is zowel in Nederland als internationaal één van de belangrijkste bronnen van ultrafijnstof. Het relatief hoge zwavelgehalte van kerosine en de verbrandingskarakteristieken van een straalturbine zijn hier voornamelijk verantwoordelijk voor. In 2026 is de methode voor het schatten van de uitstoot van ultrafijnstof uit luchtvaart geheel vernieuwd en bevat nadrukkelijk ook vluchtige deeltjes. Met deze vernieuwde methode komt de bijdrage van luchtvaart aan ultrafijnstof in Nederland als geheel op 41% voor het jaar 2024.¹¹

Voor Luchthaven Eindhoven is een aparte bottom-up berekening gemaakt van de ultrafijnstof-emissies, op basis van specifieke activiteitsgegevens voor Luchthaven Eindhoven, zoals het aantal civiele vliegbewegingen van de verschillende vliegtuigtypen en draaiuren van grondmaterieel (*Ground Support Equipment*, GSE) en hulpmotoren (*Auxiliary Power Units*, APU's). Ook worden kleinere propellervliegtuigen met zuigermotoren meegenomen die onder andere voor recreatieve vluchten gebruikt worden. Voor de vliegtuigen is bovendien onderscheid gemaakt in de verschillende vluchtfases (de zogenaamde LTO-cycle die internationaal gedefinieerd is: *Take Off*, *Climb Out*, *Approach* en *Idle*). De vluchtfases *Take Off* en *Idle*, en de emissie door GSE en de APU's vinden op grondniveau plaats, de overige vluchtfases zijn op een zekere hoogte. Alleen uitstoot tot een hoogte van 3000 voet (914 meter) is meegenomen in deze emissie-inventarisatie, in lijn met internationale afspraken. Onder deze hoogte bevindt zich gemiddeld genomen de onderste luchtlag, waardoor uitstoot tot die hoogte relatief snel op leefniveau terecht kan komen. Voor de overige burgerluchthavens in de provincie (Seppe / Breda en Kempen / Budel) is gebruikgemaakt van de gemiddelde aanpak uit de nationale emissie-inventarisatie beschreven in sectie 2.1.1.

De schattingen voor de uitstoot van luchtverkeer nemen geen militaire activiteiten mee. Over de uitstoot van ultrafijnstof door militaire vliegtuigen (met name straaljagers) is niet veel bekend, en ook het exacte aantal vliegbewegingen wordt niet bekend gemaakt door Defensie. Wel is bekend dat straaljagers per vlucht(cyclus) een vergelijkbare uitstoot van andere luchtverontreinigende stoffen hebben als de burgerluchtvaart. Omdat het aantal militaire vliegbewegingen op Luchthaven Eindhoven slechts een fractie (hooguit enkele procenten) is van het aantal vliegbewegingen door civiele vluchten, is het effect van militaire vliegbewegingen op de totale uitstoot van ultrafijnstof door luchtvaart op Luchthaven Eindhoven naar verwachting beperkt. Er zijn echter in de provincie ook andere militaire luchthavens en bovendien neemt waarschijnlijk de militaire activiteit toe.

2.2 Resultaten en onzekerheden

De ruimtelijke verdeling van de uitstoot van ultrafijnstof binnen Noord-Brabant is weergegeven in Figuur 2.2. Daarin is zichtbaar dat de uitstoot zich concentreert langs de grote wegen en in en rond de grotere steden, met de regio rond Eindhoven met de hoogste uitstoot. Het wegennet van rijks- en provinciale wegen is duidelijk zichtbaar als een patroon van verhoogde uitstoot door de hele provincie, wat de grote rol van wegverkeer laat zien. Luchthaven Eindhoven is zichtbaar als een duidelijk afzonderlijke lijn met hoge uitstoot van ultrafijnstof, welke overeenkomt met de luchthaven en haar aanvliegroutes. Dit weerspiegelt de grote bijdrage van de luchthaven aan de totale uitstoot van de provincie. De landelijke gebieden van de provincie laten over het geheel genomen relatief lage uitstootniveaus zien, waarbij vooral het contrast tussen stedelijke en landelijke gebieden opvalt.



Figuur 2.2: Ruimtelijke verdeling van uitstoot van ultrafijnstof in Noord-Brabant

Ook in industriegebieden zoals Industrial Park Moerdijk, ten zuiden van Budel en ten noordwesten van Tilburg is verhoogde uitstoot te zien. Hier zijn de emissies gebaseerd op een gedetailleerdere analyse van de industriële uitstoot, zoals beschreven in paragraaf 2.1.2 en Bijlage A, opgeteld bij de massagebaseerde uitstoot uit de nationale emissie-inventarisatie. Tabel 2.1 presenteert de geschatte deeltjesaantallen voor tien geselecteerde grote bedrijven in Noord-Brabant. Het mogelijke bereik van de uitstoot van ultrafijnstof beslaat veelal één tot twee ordes van grootte, daarom is in de totale emissie-inventarisatie gebruikgemaakt van het logaritmisch gemiddelde van het mogelijke bereik. Het gaat hierbij met name om vluchtige deeltjes, die zich pas tijdens of na afkoeling van de rookgassen vormen. Dit type industriële

emissies is (nog) niet voor de rest van Nederland geschat. Deze resultaten zijn daarmee additioneel ten opzichte van de reeds bestaande landelijke schattingen van industriële uitstoot van ultrafijnstof. Een verdere toelichting per bedrijf is opgenomen in Bijlage A.2.

Tabel 2.1: Indicatieve schatting van het ultrafijnstofvormende potentieel vanuit industrie

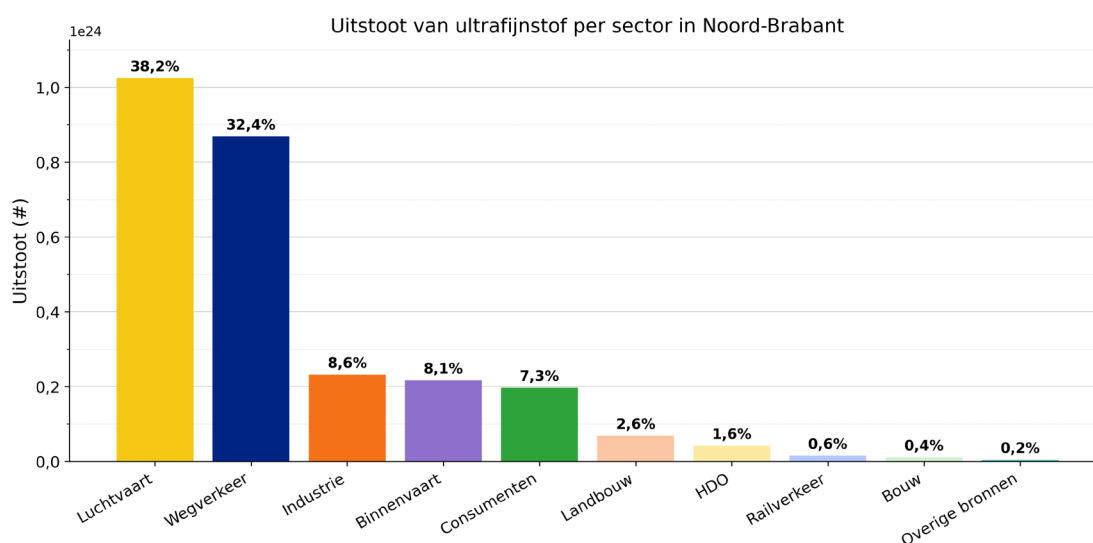
Bedrijfsnaam	Gemeente	Indicatieve schatting UFP potentieel
Shell Chemie	Moerdijk	$10^{22} - 10^{24}$ (Gasturbines)
Amercentrale (RWE)	Geertruidenberg	Geen extra deeltjes
Nyrstar Zink	Budel	$10^{21} - 10^{23}$ (Roostoven)
Nyrstar Zink	Budel	$10^{20} - 10^{22}$ (Zwavelzuurfabriek)
Ardagh Glas	Moerdijk	10^{21} (Oven M1 en M2)
Ardagh Glas	Dongen	10^{21} (Oven 16)
Agristo	Tilburg	$10^{21} - 10^{23}$ (Biogasfakkel)
SABIC Plastics	Bergen op Zoom	$10^{21} - 10^{22}$ (Procesgasfakkel)
Afvalverbranding Zuid-Nederland (Attero)	Moerdijk	$10^{21} - 10^{23}$ (Schoorsteen)
Steenfabriek Engels	Oeffelt	$10^{22} - 10^{23}$ (Schoorsteen tunneloven)
Rendac	Son en Breugel	Geen extra deeltjes

De emissieschattingen in Tabel 2.1 hebben een zeer grote onzekerheid, vaak oplopend tot twee ordes van grootte. Dat betekent dat deze bronnen in feite kunnen variëren van vrij klein tot relevant op landelijke schaal. Ter vergelijking: de grootste bron van ultrafijnstof in Noord-Brabant is waarschijnlijk Luchthaven Eindhoven, met een geschatte emissie in de orde van 10^{24} deeltjes. In het meest ongunstige geval zou deze emissie door één industrieel bedrijf kunnen worden geëvenaard. Omdat deze benadering nog erg onzeker is, maar aangeeft dat sommige bedrijven in potentie een grote bron van ultrafijnstof zijn, wordt aangeraden om ultrafijnstofmetingen gericht op de betreffende industriële bronnen uit te voeren.

Ook voor andere bronnen is de onzekerheid in de uitstoot van ultrafijnstof relatief groot, ook ten opzichte van de onzekerheid in uitstoot van andere luchtverontreinigende stoffen zoals stikstofoxides en fijnstof. Een kwantitatieve duiding van de onzekerheden in de emissies voor ultrafijnstof is nog niet mogelijk. In tegenstelling tot de gereguleerde luchtverontreinigende stoffen is er voor de uitstoot van ultrafijnstof nog geen onzekerheidsanalyse uitgevoerd voor Nederland. Dit komt vooral door het beperkte aanbod aan bronspecifieke metingen, waarmee niet alleen de uitstoot beter in kaart zou komen, maar ook de variatie in deze uitstoot als maat voor de onzekerheid. Voor wegverkeer zijn deze metingen al wel meer beschikbaar, waardoor de onzekerheid in deze uitstoot relatief kleiner is ten opzichte van andere bronnen.

Figuur 2.3 toont de uitstoot van ultrafijnstof per bronsector voor Noord-Brabant. Luchtvaart is de grootste bron van TPN-uitstoot in de provincie, met een bijdrage van 10^{24} deeltjes per jaar (38%), gevolgd door wegverkeer met $8,7 \times 10^{23}$ deeltjes per jaar (32%). Industrie is eveneens een relevante broncategorie en is verantwoordelijk voor bijna 9% van de uitstoot van ultrafijnstof. Door de onzekerheid die voortkomt uit de bovengenoemde bijtelling kan dit percentage echter ergens tussen de 4 en 38% liggen. Potentieel is de industrie dus een zeer grote bron van ultrafijnstof in Noord-Brabant. Binnenvaart en de uitstoot van consumenten dragen respectievelijk nog 8% en 7% bij. Vanuit consumenten gaat het met name om houtstook als bron van ultrafijnstof. Houtstook is vooral bekend als een grote bron van fijnstof ($PM_{2,5}$),

omdat de uitgestoten deeltjes relatief groot zijn. Er vindt echter nog onderzoek plaats om de uitstoot van ultrafijnstof uit houtkachels beter te kunnen kwantificeren, wat mogelijk tot bijstelling van deze cijfers zou kunnen leiden. HDO (Handel, Diensten en Overheid) bevat emissies uit verwarming en koeling van kantoren en winkels, wat een beperkte bijdrage vormt aan de uitstoot van ultrafijnstof in Noord-Brabant. De bijdrage van railverkeer is nog kleiner en bevat de uitstoot afkomstig van dieseltreinen. Samen komen deze sectortotalen overeen met het hierboven beschreven ruimtelijke patroon (Figuur 2.1): de grote bijdrage van luchtvaart komt overeen met de hoge uitstoot bij Luchthaven Eindhoven, terwijl de bijdrage van wegverkeer zichtbaar is langs het wegennet.



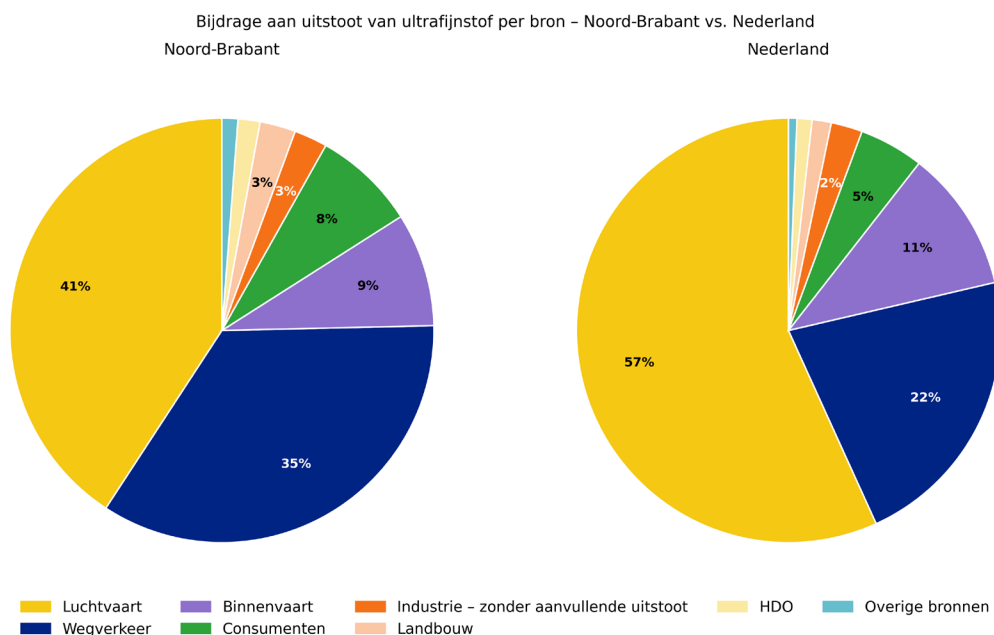
Figuur 2.3: Uitstoot van ultrafijnstof per bron in Noord-Brabant in absolute getallen, en boven de balk het relatieve aandeel van die bron. HDO staat voor Handel, Diensten en Overheid.

2.3 Vergelijking met heel Nederland

Behalve de verhouding tussen relevante bronnen binnen Noord-Brabant, is het interessant om de vergelijking met Nederland als geheel te trekken. Op nationaal niveau neemt de zeevaart een aanzienlijk aandeel in van de totale uitstoot van ultrafijnstof. Vanwege de ligging landinwaarts speelt deze sector in Noord-Brabant echter nauwelijks een rol en is voor een eerlijke vergelijking daarom hierbuiten gelaten. Ook de bijtelling van potentiële uitstoot van ultrafijnstof vanuit de industrie (zoals beschreven in paragraaf 2.1.2.1) is niet meegenomen in deze sectie, omdat deze verdieping op dit moment alleen voor Noord-Brabant is uitgevoerd en nog niet voor heel Nederland.

Noord-Brabant is verantwoordelijk voor ongeveer 11% van de nationale totale TPN-uitstoot, terwijl ongeveer 15% van de Nederlandse bevolking in de provincie woont. Deze bijdrage verschilt echter sterk per sector (Figuur 2.4). Zoals weergegeven in Figuur 2.4 vertoont Noord-Brabant een grotendeels vergelijkbaar patroon met Nederland als geheel, waarbij luchtvaart de dominante bron is, goed voor 57% van de nationale uitstoot (excl. zeescheepvaart) en 41% in Noord-Brabant. Wegverkeer is in beide gevallen de op één-na-grootste bron, met respectievelijk 22% nationaal (excl. zeescheepvaart) en 35% in Noord-Brabant. Dit relatief hoge aandeel van het wegverkeer in de provincie is in overeenstemming met CBS-gegevens¹⁴ waaruit blijkt dat de transportactiviteit in Noord-Brabant hoger ligt dan het landelijke gemiddelde. Binnenvaart en consumenten leveren vergelijkbare bijdragen, waarbij de consumentensector een iets groter aandeel heeft in Noord-Brabant. De industrie draagt in

beide gevallen vergelijkbaar bij, met een aandeel van ongeveer 2 – 3% van de totale uitstoot. Deze vergelijking is gedaan op basis van de reguliere, massagebaseerde aanpak zoals in de nationale emissie-inventarisatie is toegepast, en bevat dus niet de aanvullende schatting zoals beschreven in de voorgaande paragraaf. Landbouw draagt in iets grotere mate bij aan de uitstoot van ultrafijnstof in Noord-Brabant dan geldt voor heel Nederland (respectievelijk 3 en 1%), wat gegeven de hogere agrarische activiteit in de provincie ten opzichte van het gehele land verklaarbaar is.



Figuur 2.4: Bijdrage aan de uitstoot van ultrafijnstof per bron voor Noord-Brabant en Nederland zonder zeescheepvaart. In beide gevallen is het aandeel industrie zonder de aanvullende uitstoot zoals is toegepast in de rest van dit onderzoek.

De verdieping die gemaakt is voor Luchthaven Eindhoven laat ook enkele verschillen zien met Schiphol. Allereerst is de totale uitstoot van Luchthaven Eindhoven ongeveer 8% van Schiphol, wat in lijn is met het aantal vliegbewegingen. De herkomst van de uitstoot is wel wat afwijkend: op Luchthaven Eindhoven is relatief minder uitstoot door de *Idle*-fase en meer door hulpmotor (APU) gebruik. *Idle* is de fase die gebruikt wordt voor taxiën en opwarmen van de motoren, de taxi-tijd van vliegtuigen op Luchthaven Eindhoven is significant korter dan op Schiphol. Het hogere APU-aandeel is minder duidelijk te verklaren. Mogelijk wordt er op Schiphol meer gebruikgemaakt van walstroom, waardoor er minder APU-gebruik nodig is.

3 Evaluatie van maatregelen

Als tweede onderdeel van dit onderzoek is een evaluatie van het effect van verschillende maatregelen op de uitstoot van ultrafijnstof uitgevoerd. Hierbij is allereerst uitgegaan van de lijst met verplichte en aanvullende SLA-maatregelen zoals opgenomen door de provincie en gemeenten die aangesloten zijn bij het Schone Lucht Akkoord. In het verlengde daarvan zijn ook enkele illustratieve (mogelijk toekomstige) maatregelen geëvalueerd, waarvan verwacht wordt dat die een groter effect hebben, maar ook een langer tijdspad tot implementatie nodig zullen hebben. Op deze manier is een waaier van nu al ingevoerde en in de toekomst mogelijke maatregelen verkregen, die inzicht biedt in wat voor soort maatregelen genomen kunnen worden als de overheden (specifiek) beleid zouden willen vormgeven om de uitstoot van ultrafijnstof te verlagen.

3.1 Methode

3.1.1 SLA-maatregelen

Als beginpunt is uitgegaan van de lijst van SLA-maatregelen zoals deze beschikbaar was op 12 januari 2026 in het dashboard van het Schone Lucht Akkoord. Deze lijst is door TNO in samenspraak met de Provincie geanalyseerd op de volgende criteria:

1. Een maatregel werkt in op een voldoende grote bron van ultrafijnstof. Dit zijn de bronnen 'Wegverkeer', 'Binnenscheepvaart', 'Industrie', 'Mobiele werktuigen' (inclusief landbouwvoertuigen en -werktuigen), en 'Consumenten'. Let wel: 'Luchtvaart' is geen onderdeel van het SLA;
2. Een maatregel heeft direct effect op de vermindering van de uitstoot van ultrafijnstof;
3. Een maatregel geeft naar verwachting een significante vermindering van de uitstoot van ultrafijnstof;
4. Een maatregel moet specifiek genoeg zijn om het effect ervan cijfermatig te kunnen berekenen.

Deze criteria zijn zo gekozen om het aantal te evalueren maatregelen te beperken tot die maatregelen waarvan het meeste effect verwacht wordt, en waarvan er genoeg gegevens beschikbaar zijn om het effect ook daadwerkelijk te kunnen berekenen. Dit betekent dat maatregelen die gericht zijn op gedragsbeïnvloeding of -verandering niet meegenomen zijn (indirect en niet specifiek genoeg voor doorrekening).

Er zijn ook enkele SLA-maatregelen die wel uitstoot-reducerend zijn, maar waar te weinig gegevens van beschikbaar zijn om deze goed in te kunnen schatten. Dit geldt met name voor het verplichten van walstroom voor binnenvaart: hier ontbreken op dit moment de benodigde gegevens voor om de mogelijke reductie te kwantificeren.

Ook zijn er maatregelen die zowel uitstoot-reducerend zijn als waarvan gegevens beschikbaar zijn, maar waarvan een dusdanig klein effect verwacht wordt, dat deze ook niet gekwantificeerd zijn. Dit zijn onder andere de maatregelen gericht op het eigen wagenpark van de gemeenten en provincie (zowel mobiliteit als mobiele werktuigen) en de emissie-eisen in vergunning op het gebied van mobiliteit. Hiervoor geldt dat de omvang van deze wagenparken dusdanig klein is dat de bijdrage hiervan aan het totale wegverkeer in de provincie beperkt is.

Hieronder volgt een lijst met SLA-gebaseerde maatregelen, met daarin vermeld de manier waarop elke maatregel in dit onderzoek meegenomen is. De maatregel gericht op de industrie is alleen kwalitatief geëvalueerd vanwege de grote onzekerheid die in de uitstootgetallen van de industrie zitten, zoals beschreven in hoofdstuk 2.2.

Tabel 3.1: De in dit onderzoek geëvalueerde SLA-maatregelen.

SLA-maatregel	Manier van evaluatie
M3 – Mobiliteit – Zero-emissie busvervoer	Kwantitatief
Mobiliteit – Zero-emissiezones vracht- en bestelverkeer (Breda, Den Bosch, Tilburg, Eindhoven)	Kwantitatief, als onderdeel van zero-emissiezones in alle bebouwde kommen
Mobiele werktuigen – Emissie-eisen in vergunning	Kwantitatief, als onderdeel van zero-emissie bouw / covenant Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB), zie Illustratieve Maatregelen
Industrie – onderkant BREF-range vergunnen	Kwalitatief
M11 – Binnenvaart en havens – Zero-emissie pleziervaart en veerponten	Kwantitatief

3.1.2 Illustratieve maatregelen

Naast de beschreven SLA-maatregelen is ook een lijst van illustratieve maatregelen opgesteld. Deze maatregelen zijn ofwel niet gekoppeld aan het Schone Lucht Akkoord, ofwel (nog) niet voorgenomen of ingevoerd en hebben naar verwachting een groter en gericht effect op de uitstoot van ultrafijnstof dan de al ingevoerde of voorgenomen SLA-maatregelen. Op deze manier wordt het voor overheden die gericht beleid op ultrafijnstof zouden willen voeren inzichtelijk welke maatregelen meer en minder effect hebben.

Voor het opstellen van deze maatregelen is in de meeste gevallen uitgegaan van een eindpunt van volledige overgang naar zero-emissie. Dat betekent dus dat de (verbrandings)uitstoot van die bron op nul gezet wordt. Waar mogelijk is een tussenpunt beschreven op basis van al beschreven of voorgenomen beleid.

De illustratieve maatregelen die in dit onderzoek opgesteld en geëvalueerd zijn, staan hieronder beschreven.

Tabel 3.2: In dit onderzoek opgestelde en geëvalueerde illustratieve maatregelen.

Illustratieve maatregel	Uitleg
M1 – Mobiliteit – Milieuzone vracht- en bestelverkeer in alle bebouwde kommen	In elke bebouwde kom wordt een milieuzone voor alle vracht- en bestelwagens die op diesel rijden ingericht, waarbij EURO6 verplicht wordt
M2 – Mobiliteit – Milieuzone vracht-, bestel- en personenverkeer in alle bebouwde kommen	In elke bebouwde kom wordt een milieuzone voor alle vracht-, bestel- en personenwagens die op diesel rijden ingericht, waarbij EURO6 verplicht wordt
M4 – Mobiliteit – Zero-emissiezone vracht- en bestelverkeer in alle bebouwde kommen	In elke bebouwde kom wordt een zero-emissiezone in voor vracht- en bestelverkeer ingericht, gelijk aan de nu bestaande zero-emissiezones in de grote steden
M5 – Mobiliteit – Zero-emissiezone alle wegverkeer in alle bebouwde kommen	In elke bebouwde kom wordt een zero-emissiezone ingericht voor al het wegverkeer
M6 – Mobiele werktuigen – Zero-emissie bouw	Alle mobiele werktuigen in de bouw worden zero-emissie, met het convenant Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB) als leidraad
M7 – Mobiele werktuigen / Landbouw – Zero-emissie landbouwvoertuigen	Alle mobiele werktuigen in de landbouw (tractoren) worden zero-emissie
M8 – Luchtvaart – Zero-emissie Ground Support Equipment (GSE)	Alle grondgebonden materieel van Luchthaven Eindhoven wordt zero-emissie
M9 & M10 – Luchtvaart – bijmengverplichting duurzame brandstoffen (SAF)	Het Europees opgestelde ingroeipad voor het gebruik van SAF in vliegtuigen wordt gevolgd
M12 & M13 – Binnenvaart en havens – Zero-emissie binnenvaart	Alle binnenvaart in Brabant wordt zero-emissie. Dit is onderverdeeld in nationale en internationale binnenvaart
M14 – Houtstook – Houtstookverbod	Houtstook door inwoners wordt in de gehele provincie verboden

Voor de evaluatie van deze maatregelen zijn enkele aannames nodig. Om te beginnen wordt volledige naleving van een maatregel verondersteld. Voor sommige maatregelen is dat niet ver van de werkelijkheid (bijvoorbeeld bij de milieu- en zero-emissiezones, die op dit moment een hoog nalevingspercentage kennen), maar andere maatregelen zijn moeilijker te handhaven (bijvoorbeeld een houtstookverbod) en dan kan het zijn dat die aanname verder af ligt van de werkelijkheid. In dat geval zal de hier berekende uitstootreductie een overschatting zijn.

Daarnaast wordt het indirecte effect van maatregelen niet meegenomen. Voor de milieu- en zero-emissiezones is het bijvoorbeeld te verwachten dat het betreffende verkeer niet alleen in die zones rijdt, maar ook buiten die zones. Zeker als alle dorpskernen dit in zouden voeren, is het te verwachten dat het gehele wagenpark in de provincie en zelfs daarbuiten zal veranderen. Dat betekent dat een groter deel van de uitstoot van ultrafijnstof wordt weggenomen dan alleen die kilometers die in de zone gereden worden, en de hier berekende uitstootreductie een onderschatting is.

Ten slotte is er nog de maatregel van het bijmengen van duurzame vliegtuigbrandstoffen (*Sustainable Aviation Fuel*, kortweg SAF) in vliegtuigen. Deze maatregel is op Europees niveau ingevoerd,¹⁵ en betreft een administratieve verhandeling. Een luchtvaartmaatschappij moet gemiddeld over de hele vloot voldoende SAF tanken in hun vliegtuigen, maar waar die SAF getankt en verbruikt wordt kan afhankelijk van de marktomstandigheden sterk variëren. We doen hier de aanname dat gemiddeld genomen de vliegtuigen die op Luchthaven Eindhoven aankomen en vertrekken het voorgeschreven percentage SAF in de tank hebben. Het is op dit moment niet te bepalen of dit een onder- of overschatting oplevert.

3.2 Resultaten

In de hierop volgende paragrafen worden de uitstootreducerende effecten van de verschillende maatregelen besproken. De maatregelen gepresenteerd in paragrafen 3.1.1 en 3.1.2 worden hier per (SLA-)thema gepresenteerd.

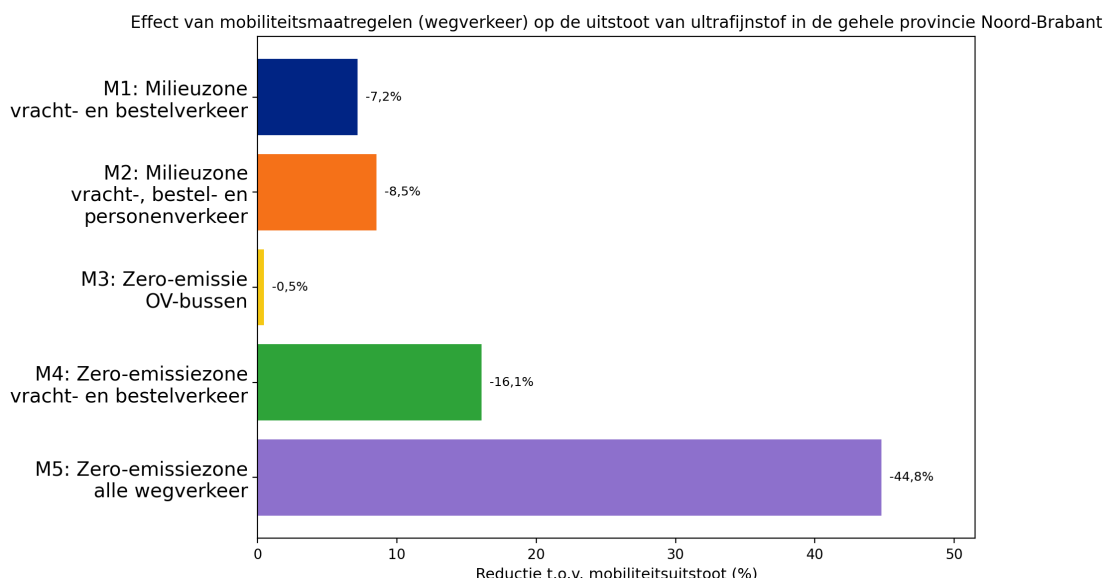
3.2.1 Mobiliteit (wegverkeer)

Binnen het thema mobiliteit zijn in totaal vijf maatregelen geëvalueerd:

- › M1 – Milieuzone vracht- en bestelverkeer (diesel) in alle bebouwde kommen
- › M2 – Milieuzone vracht-, bestel- en personenverkeer (diesel) in alle bebouwde kommen
- › M3 – Zero-emissie openbaar vervoerbussen
- › M4 – Zero-emissiezone vracht- en bestelverkeer in alle bebouwde kommen
- › M5 – Zero-emissiezone alle wegverkeer in alle bebouwde kommen

Het gaat bij maatregelen M1 en M2 dus om een milieuzone, waar alleen (oudere) dieselveertuigen geweerd worden, terwijl het bij M3, M4 en M5 over een zero-emissiezone gaat, waar alle voertuigen met een verbrandingsmotor worden geweerd. Ook belangrijk om te vermelden is dat in de emissie-inventarisatie zoals beschreven in hoofdstuk 2, de recent ingevoerde milieu- en zero-emissiezones in Eindhoven, Den Bosch en Tilburg nog niet zijn meegenomen. Dit geldt ook voor de elektrificatie van openbaarvervoerbussen. Dit betekent dat het doorvoeren van deze maatregelen nog niet in de resultaten zoals vermeld in hoofdstuk 2 zitten verwerkt, maar al wel uitgevoerd zijn. Een deel van het hier beschreven resultaat is daarmee al in de afgelopen jaren gerealiseerd.

Als deze maatregelen in alle bebouwde kommen van de gehele provincie ingevoerd zouden worden, en naar de provincie als geheel gekeken wordt, dan hebben deze vijf maatregelen het volgende effect op de totale uitstoot van ultrafijnstof in de provincie (Figuur 3.1):

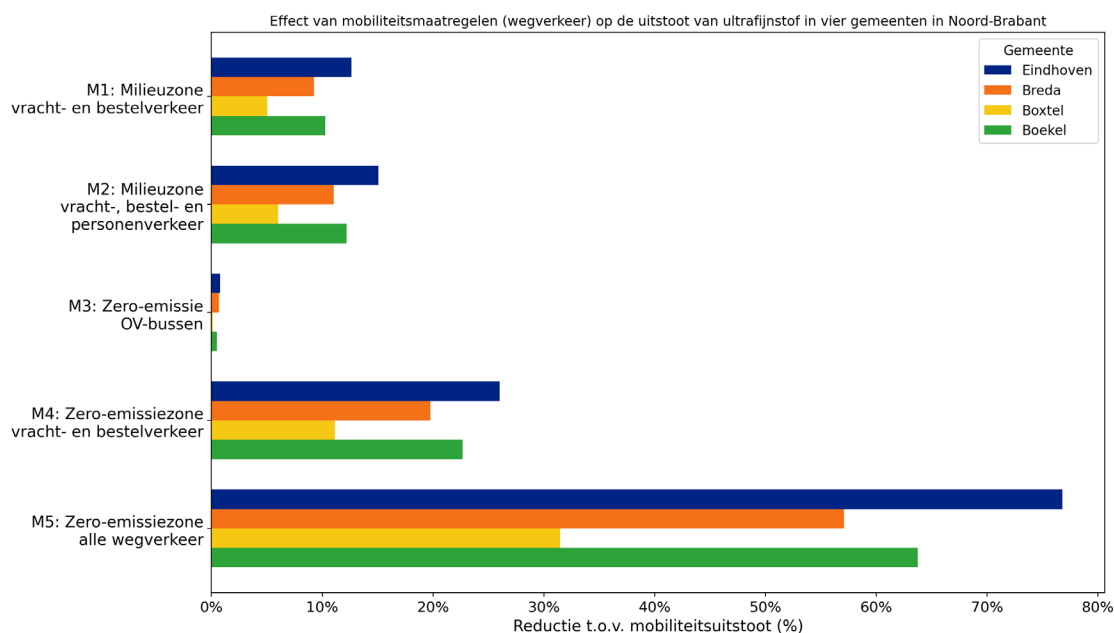


Figuur 3.1: Effect van mobiliteitsmaatregelen op de uitstoot van ultrafijnstof in Noord-Brabant

Logischerwijs is er een verschil in de mate van effect van deze maatregelen. Het elektrificeren van OV-bussen is de maatregel die het minste effect sorteert. Dit komt door de relatief beperkte

omvang van het wagenpark en de gereden kilometers, en bovendien waren de OV-bussen al grotendeels EURO5 en EURO6, wat betekent dat de uitstoot van ultrafijnstof al relatief beperkt was. Aan de andere kant zit volledige elektrificatie van al het wegverkeer in de volledige bebouwde kom, wat een verregaande maatregel is met een behoorlijk effect op de uitstoot van ultrafijnstof in de provincie.

Hoewel het effect van mobiliteitsmaatregelen voor veel gemeenten substantieel is zijn er ook verschillen zichtbaar. In een sterk verstedelijkte gemeente zal een grotere reductie aan uitstoot van ultrafijnstof plaatsvinden dan in een plattelandsgemeente. Zowel absoluut, doordat er meer verkeer is in stedelijke gemeentes, als percentueel, omdat de bebouwde kom over het algemeen een groter deel van de gemeente beslaat. In Figuur 3.2 zijn hier wat voorbeelden van te zien: twee inwonertal grotere gemeenten (Eindhoven en Breda), een middelgrote gemeente (Boxtel) en een kleinere gemeente (Boekel). Voor de vergelijkbaarheid is in dit figuur de reductie ten opzichte van de uitstoot van ultrafijnstof van alleen wegverkeer weergegeven, en niet ten opzichte van het totaal aan uitstoot in die gemeente. Let wel: deze maatregelen beslaan een veel groter gebied (namelijk de gehele bebouwde kom) dan de huidige (Eindhoven) of voorgenoemen (Breda) zero-emissiezones. Eindhoven heeft wel de ambitie om in 2030 alle vervoer binnen de ring zero-emissie te maken, en in 2038 voor de gehele stad, wat ongeveer overeenkomt met maatregel M5.



Figuur 3.2: Effect van mobiliteitsmaatregelen op de uitstoot van ultrafijnstof afkomstig van wegverkeer binnen vier gemeenten

Naast het directe effect van de hier beschreven mobiliteitsmaatregelen zullen er ook (indirecte) gevolgen zijn voor het gehele wagenpark. Het is aannemelijk dat als veel gemeenten een zero-emissiezone invoeren, het wagenpark verregaand zal elektrificeren. Dat betekent dat ook het verkeer buiten de bebouwde kom in grote mate zero-emissie zal worden, wat leidt tot verdere reductie van uitstoot van ultrafijnstof in de provincie.

3.2.2 Mobiele werktuigen (incl. landbouw)

Voor mobiele werktuigen zijn 2 maatregelen geëvalueerd:

- › M6 – Zero-emissie bouw
- › M7 – Zero-emissie landbouwvoertuigen

Deze maatregelen hebben een kleinere reikwijdte dan de hierboven beschreven maatregelen op het gebied van mobiliteit, en de variatie in effect is ook kleiner. Het overschakelen naar zero-emissie mobiele werktuigen in de bouw heeft tot 1% uitstootreducerend effect op de totale uitstoot van ultrafijnstof in de verschillende gemeenten, waarbij het verschil tussen de gemeenten relatief beperkt is. De verschillen tussen de gemeenten moeten in dit geval met enige voorzichtigheid benaderd worden, omdat bouwactiviteiten (zowel infrastructuur als woning/kantoorbouw) van locatie tot locatie sterk verschillen over de jaren. Het convenant Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB), wat door de provincie en veel gemeenten daarin ondertekend is, sluit goed bij deze maatregel aan. Hierin is afgesproken om in toenemende mate zero-emissie mobiele werktuigen in te zetten, te beginnen met klein mobiel materieel en stationair materieel. Het ambitieniveau voor koploperprojecten ligt hiervoor op meer dan 90% inzet van zero-emissie materieel vanaf 2030.¹⁶

Voor zero-emissie landbouwvoertuigen (tractoren) is er enig effect zichtbaar en is de variatie tussen de gemeenten ook groter (zie Tabel 3.3 voor de tien gemeenten met het laagste en hoogste effect). Dat is ook logisch, omdat een verstedelijkte gemeente weinig tot geen landbouwbedrijven met bijbehorende voertuigen kent, terwijl plattelandsgemeenten relatief veel landbouwbedrijven binnen de gemeentegrenzen hebben. Het effect hiervan kan oplopen tot 1,6% van de totale uitstoot van ultrafijnstof in een gemeente. Opvallend hierbij is dat de landbouwuitstoot van ultrafijnstof gedomineerd wordt door de verbranding van aardgas: slechts 7% van de uitstoot van ultrafijnstof uit de landbouw is uit mobiele werktuigen en de overige 93% uit aardgasverbruik. Hierbij gaat het voornamelijk om verwarming en CO₂-opwekking voor kassen en schuren. Voor het verminderen van de uitstoot van ultrafijnstof in met name plattelandsgemeenten is dit een landbouw-gerelateerde bron die de moeite waard is om nader te verkennen.

Tabel 3.3: Effect van maatregel M7 (zero-emissie landbouwvoertuigen) op de uitstoot van ultrafijnstof voor de tien gemeenten met het laagste en het hoogste effect.

Gemeente	Effect van maatregel M7 (%)	Gemeente	Effect van maatregel M7 (%)
Eindhoven	-0,0	Alphen-Chaam	-1,1
Veldhoven	-0,0	Zundert	-1,1
Moerdijk	-0,1	Hilvarenbeek	-1,2
Breda	-0,1	Bergeijk	-1,5
Tilburg	-0,1	Reusel – De Mierden	-1,6

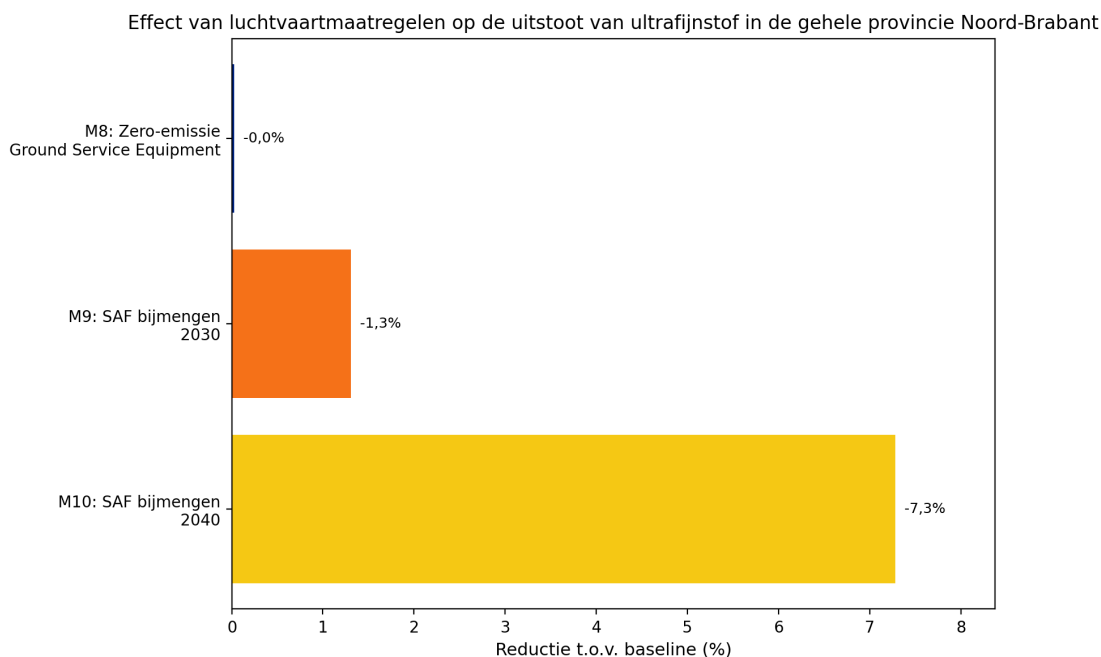
3.2.3 Luchtvaart

Luchtvaart is in de provincie Noord-Brabant, net als op nationaal niveau, een belangrijke bron van ultrafijnstof (zoals beschreven in hoofdstuk 2.2). Maatregelen op dit gebied leveren daarmee een belangrijke bijdrage aan het reduceren van de totale uitstoot van ultrafijnstof in de provincie.

In dit kader zijn twee maatregelen hier geëvalueerd:

- › M8 – Volledige elektrificering van het grondgebonden materieel (*Ground Support Equipment*)
- › M9 & M10 – Ingroeipad SAF-bijmengverplichting in lijn met de Europese verordening ReFuelEU Aviation (peiljaren 2030 en 2040)

Grondgebonden materieel is een aangelegenheid die binnen het handelingsperspectief valt van de luchthaven zelf en de daarop actieve bedrijven. De bijmengverplichting van duurzame vliegtuigbrandstoffen (SAF) is sinds 2025 op Europees niveau van kracht en voorziet in een groeipad van 2% SAF in 2025 via 6% in 2030 en 34% in 2040, tot 70% SAF in 2050. Hier zijn de jaren 2030 en 2040 als peiljaren gebruikt. Deze verplichting geldt alleen voor commerciële luchtvaart, militaire luchtvaart is hier geen onderdeel van. Het effect van het bijmengen van SAF op de uitstoot van ultrafijnstof van vliegtuigmotoren is nog maar beperkt onderzocht,^{17–19} maar de onderzoeken die beschikbaar zijn tonen een vergelijkbaar beeld, namelijk dat de uitstoot van ultrafijnstof sterk afneemt bij toenemende bijmenging van SAF. Dit heeft met name te maken met de lagere hoeveelheid zwavel en minder aromatische verbindingen in SAF. Het is ook mogelijk om kerosine met een lager zwavelgehalte te gebruiken. Er zijn nog geen onderzoeken gedaan naar het effect hiervan op de uitstoot van ultrafijnstof, maar het is te verwachten dat dit effect iets lager ligt dan bij het toepassen van SAF.



Figuur 3.3: Effect van luchtvaartmaatregelen op de uitstoot van ultrafijnstof in de provincie Noord-Brabant

In Figuur 3.3 is het effect van deze drie maatregelen op de totale uitstoot van ultrafijnstof in de provincie weergegeven. Het elektrificeren van het grondgebonden materieel heeft een zeer klein effect (<0,1%) op de totale uitstoot van ultrafijnstof van de luchthaven. Dat komt omdat de uitstoot op de luchthaven vrijwel volledig afkomstig is van de vliegtuigmotoren. De bijmenging van SAF in vliegtuigmotoren levert naar verwachting ongeveer 1% reductie op in 2030 (6% SAF) en 7% reductie in 2040 (34% SAF) op de totale uitstoot van ultrafijnstof in de provincie. Afgezet tegen de uitstoot van alleen de luchtvaart in de provincie betekent dit respectievelijk 3% en 19% reductie ten opzichte van het basisjaar 2024 in dit onderzoek.

Uiteraard is er ook enige verdeling van de uitstoot over de gemeenten: het merendeel van de uitstoot (en alle uitstoot op grondniveau) vindt plaats binnen de gemeentegrenzen van Eindhoven, maar er is tijdens het opstijgen en landen ook uitstoot boven aangrenzende gemeenten zoals Veldhoven, Eersel en Best. Op basis van internationale normen wordt de uitstoot tot 914 meter hoogte (3000 voet) meegenomen in de emissie-inventarisatie. Deze hoogte is zo gekozen omdat uitstoot tot die hoogte vanwege atmosferische processen over het algemeen op grondniveau in de leefomgeving terecht kan komen, terwijl uitstoot daarboven in een hogere luchtlag plaatsvindt en minder snel in de leefomgeving terecht komt.

3.2.4 Industrie

Vanwege de onzekerheid in de omvang van de uitstoot van ultrafijnstof van de industrie in Nederland en Noord-Brabant, zijn er in dit onderzoek geen maatregelen gericht op de industrie op kwantitatieve wijze geëvalueerd. Uit de verdieping naar de mogelijke uitstoot van ultrafijnstof van de industrie (beschreven in paragraaf 2.1.2.1 en Bijlage A) is gebleken dat industriële complexen met een aanzienlijke uitstoot van zwaveldioxide (SO₂) en met relatief weinig fijnstof (PM_{2,5}) een groot ultrafijnstof-vormend potentieel hebben en mogelijk een significante bijdrage leveren aan de uitstoot van ultrafijnstof in de provincie. Hoe groot de uitstoot van ultrafijnstof van deze industrieën daadwerkelijk is, is zonder gerichte metingen niet goed te bepalen. Metingen buiten Noord-Brabant hebben eerder wel laten zien dat industrie een significante bron van ultrafijnstof kan zijn.²⁰

Maatregelen gericht op verlaging van deze uitstoot hebben naar verwachting een belangrijk effect op de totale uitstoot van ultrafijnstof in de provincie en de gemeenten waarbinnen deze industrie zich bevindt. Een SLA-maatregel die hieraan gekoppeld is, is het vergunnen aan de onderkant van de BREF-range.^a Maatregelen gericht op het verminderen van de zwaveldioxide-uitstoot zouden naar verwachting het meeste effect hebben. Hierbij kan gedacht worden aan het afvangen van het gevormde zwaveldioxide, maar het is waarschijnlijk effectiever om het gebruik van zwavelhoudende grond- en/of brandstoffen te verlagen en/of het zwavelgehalte hierin te verlagen. Nog effectiever is het elektrificeren van verwarmingsprocessen die nu door middel van verbranding van (zwavelhoudende) brandstof plaatsvinden, bijvoorbeeld door het toepassen van industriële (hoge-temperatuur) warmtepompen. Om te identificeren bij welke industriële complexen het beste maatregelen getroffen zouden kunnen worden, is eerst vervolgonderzoek met verkennende en/of gerichte metingen nodig. De meeste van de hier bekeken bedrijven vallen onder de SEVESO-regelgeving^b en/of zijn complexe bedrijven zoals beschreven in het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal),^c waarvoor de provincie optreedt als bevoegd gezag. De provincie is voor deze installaties primair aan zet om, indien gewenst, hier nader inzicht in te verkrijgen.

3.2.5 Binnenvaart en havens

Scheepvaart, pleziervaart en veerboten in Noord-Brabant zijn een belangrijke bron van ultrafijnstof. Scheepvaart betreft de binnenvaart, met name over de Maas, Nieuwe Merwede, het Hollands Diep, Volkerak en Schelde-Rijnverbinding. De mogelijke maatregelen voor deze sector zijn:

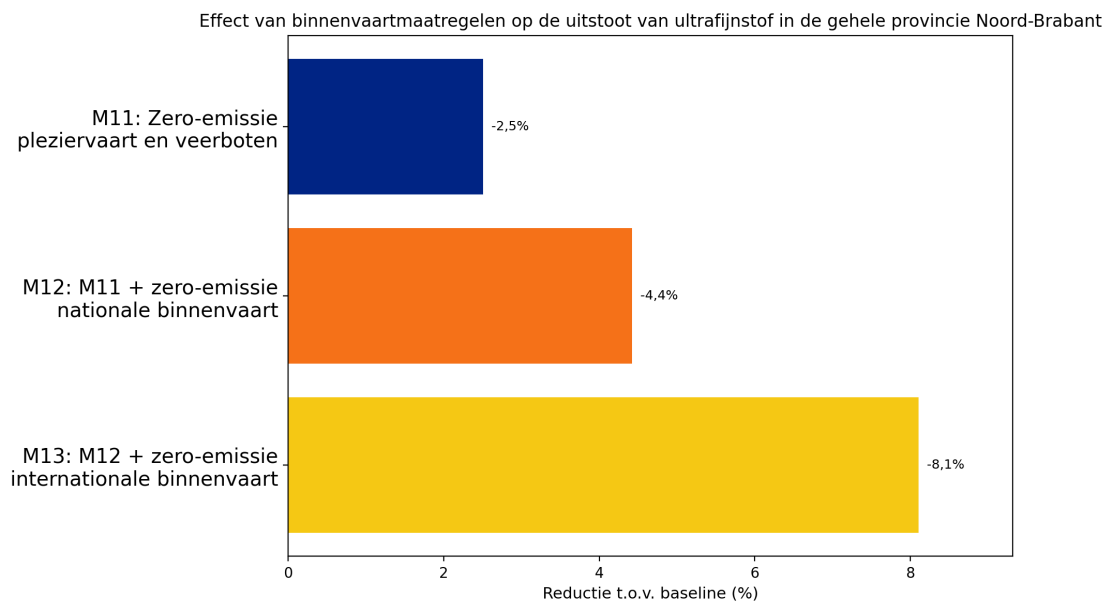
- › M11 – Zero-emissie pleziervaart en veerboten
- › M12 – M11 + zero-emissie nationale binnenvaart
- › M13 – M12 + zero-emissie internationale binnenvaart

De resultaten van deze maatregelen voor de provincie zijn weergegeven in Figuur 3.4.

^a BREF staat voor BBT-referentiedocument, waarbij BBT staat voor best beschikbare technieken.

^b <https://seveso-plus.nl/inspectieresultaten/seveso-inrichtingenlijst/>

^c <https://iplo.nl/woordenlijst/complex-bedrijf/>



Figuur 3.4: Effect van binnenvaartmaatregelen op de totale uitstoot van ultrafijnstof in de provincie Noord-Brabant.

Omdat elke maatregel voortbouwt op de voorgaande maatregel, neemt het effect ook elke keer toe. Zichtbaar is dat de elektrificatie van pleziervaart en veerboten, zoals ook opgenomen in de SLA-routekaart Zero-Emissie Binnenhaven, al een duidelijk uitstootreducerend effect op ultrafijnstof voor de provincie heeft. Dit effect wordt bijna twee keer zo hoog als ook alle binnenvaartschepen die binnen de landsgrenzen blijven zero-emissie zouden worden. Als tenslotte internationaal opererende schepen zero-emissie zouden worden, dan wordt het effect nog een kleine twee keer zo hoog.

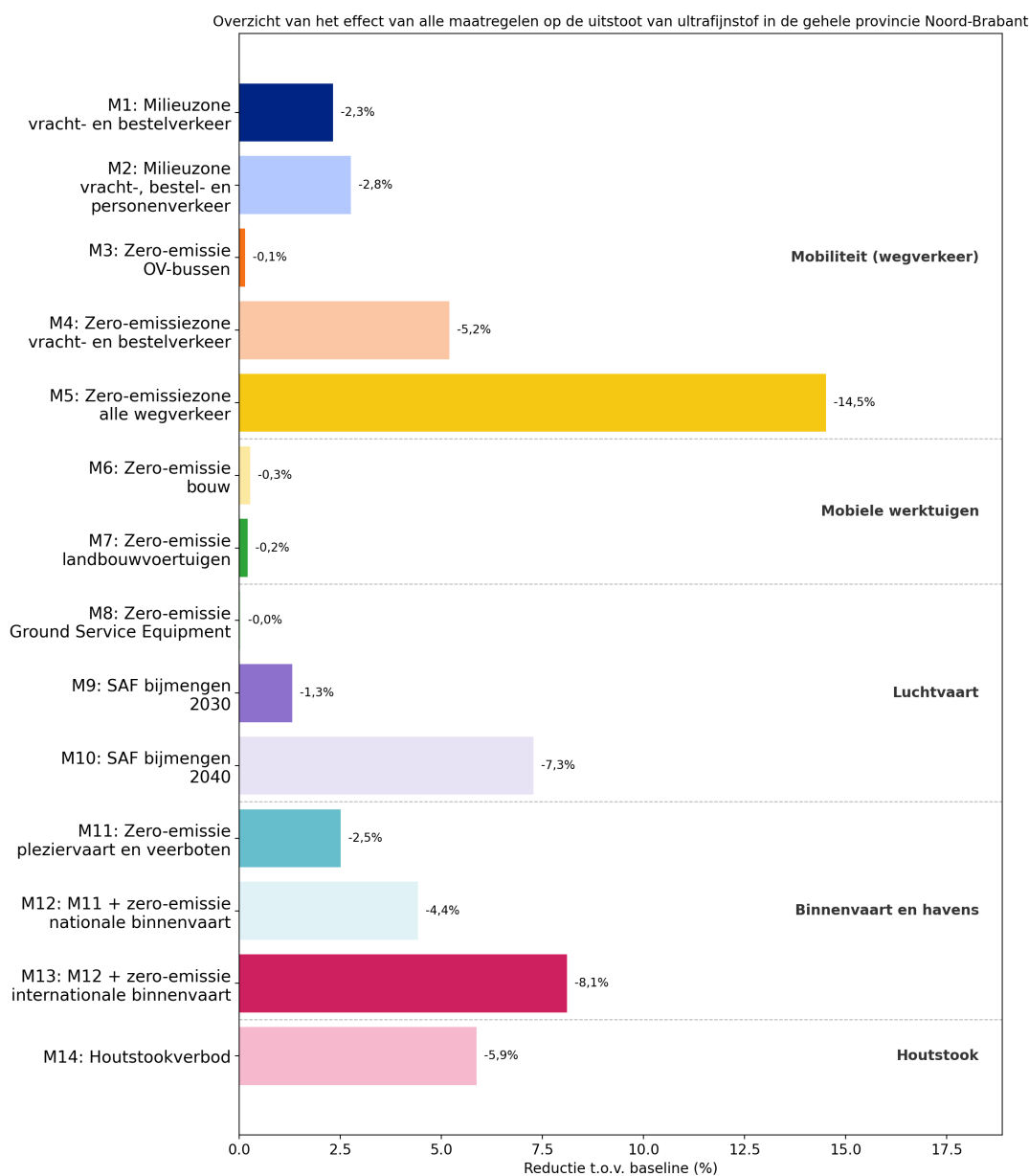
Het handelingsperspectief voor deze maatregelen ligt op verschillende niveaus: voor het elektrificeren van pleziervaart en veerboten zijn de desbetreffende gemeenten aan zet. Ook het verplichten van walstroom (hier niet geëvalueerd vanwege het ontbreken van uitstootgegevens) valt binnen het handelingsperspectief van de gemeenten met een binnenhaven. Voor het volledig elektrificeren van de nationale binnenvaart is op landelijk niveau beleid nodig. En voor internationale binnenvaart ten slotte is het Europees niveau de aangewezen plek.

3.2.6 Houtstook

De uitstoot van ultrafijnstof ten gevolge van houtstook is onzeker en onderwerp van lopend onderzoek. Op basis van de huidige kennis van zaken is het aandeel van houtstook in de totale uitstoot van ultrafijnstof in Noord-Brabant niet verwaarloosbaar. Een mogelijke uitstootreducerende maatregel zou het verbieden van houtstook onder bepaalde omstandigheden (bijvoorbeeld naar aanleiding van de Stookwijzer) zijn, of een totaalverbod op houtstook (M14). In dit onderzoek is alleen deze laatste maatregel geëvalueerd. Een totaalverbod zou de volledige uitstoot ten gevolge van houtstook in de provincie wegnemen. Met het huidige inzicht betekent dat een uitstootreductie van ultrafijnstof van ongeveer 6%. Dit, zoals voor alle hier geëvalueerde maatregelen geldt, op basis van een volledige naleving van deze maatregel. Het handelingsperspectief hiervoor, mits juridisch mogelijk, ligt primair bij de gemeenten.

3.3 Een waaier van maatregelen

In de voorgaande sectie zijn in totaal 14 verschillende maatregelen kwantitatief en één maatregel kwalitatief geëvalueerd, verspreid over zes verschillende thema's. Elke maatregel heeft op zichzelf nut om de uitstoot van ultrafijnstof en daarmee de blootstelling en mogelijke gezondheidseffecten hiervan voor inwoners te verlagen. Verschillende maatregelen hebben ook een verschillende reikwijdte, zowel wat betreft de benodigde investering en draagvlak om een maatregel in te voeren, als het uitstootreducerende effect dat een maatregel geeft. Dit onderzoek biedt inzicht in welke maatregelen in meer of mindere mate de uitstoot van ultrafijnstof omlaag brengen, en biedt daarmee een overzicht van wat er mogelijk is. Voor enkele maatregelen ligt de bevoegdheid om deze in te voeren op landelijk of Europees niveau, en zal het gesprek vanuit de provincie met die lagen van de overheid gevoerd kunnen worden.



Figuur 3.5: Overzicht van het effect van maatregelen op de uitstoot van ultrafijnstof in Noord-Brabant.

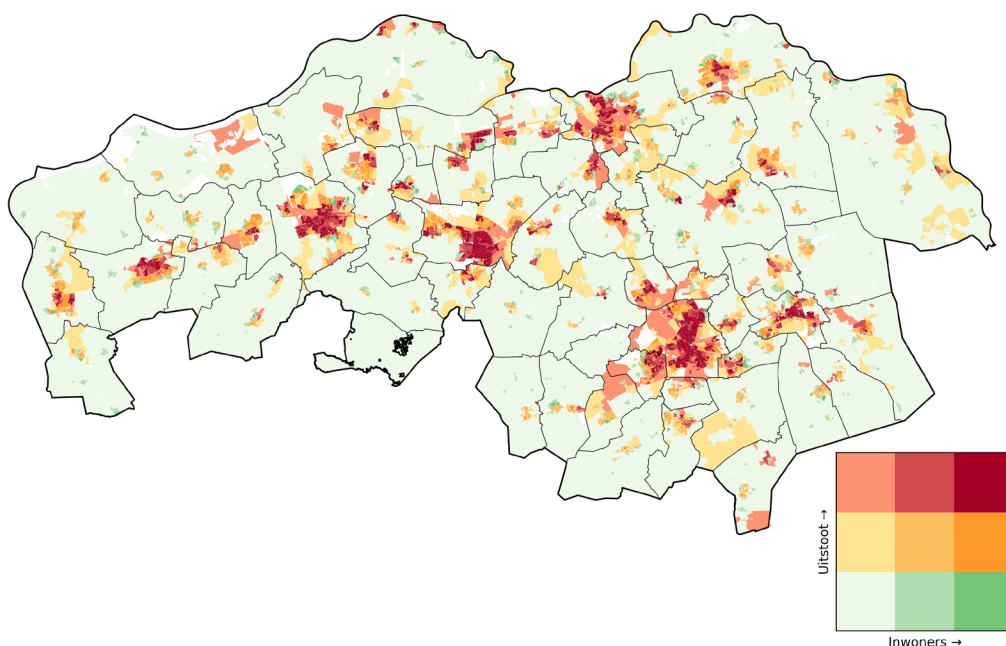
Om het gehele overzicht van alle maatregelen op provincieschaal weer te geven, zijn alle geëvalueerde maatregelen, gegroepeerd per thema, hierboven in één figuur weergegeven. Uit dit overzicht wordt duidelijk dat er op verschillende thema's aanzienlijke reducties te behalen zijn in de uitstoot van ultrafijnstof. De grootste effecten worden gezien bij wegverkeer en luchtvaart, maar ook op het gebied van binnenvaart en consumenten is er winst te behalen. Industrie is in dit overzicht niet opgenomen, omdat maatregelen hierop alleen kwalitatief geëvalueerd zijn, maar het effect van het verminderen van het gebruik van zwavelhoudende grondstoffen en elektrificering van verwarmingsprocessen door verbranding van (al dan niet zwavelhoudende) brandstoffen kan ook een (zeer) belangrijk reductiepotentieel hebben. Dit betekent dat er een reëel handelingsperspectief is voor de verschillende lagen van de overheid om maatregelen te nemen voor het verlagen van de uitstoot van ultrafijnstof. Bovendien zijn er ook al maatregelen doorgevoerd die hieraan bijdragen. Het handelingsperspectief en deze autonome ontwikkelingen zullen verder worden verkend in het volgende hoofdstuk.

4 Duiding

4.1 Wat betekent dit voor inwoners?

Vanuit het perspectief van gezondheid gaat het niet enkel om verschillen in totale uitstoot tussen gebieden. Op kwalitatieve wijze is een vergelijking gemaakt tussen bevolkingsdichtheid en de hoogte van de uitstoot van ultrafijnstof per 1×1 km pixel (zoals getoond in Figuur 2.2, inclusief de verdiepingen op industrie en luchtvaart). Figuur 4.1 toont de uitstoot van ultrafijnstof in Noord-Brabant en waar de meeste mensen wonen (bevolkingsdichtheid) samen in één geïntegreerde kaart. Samen laten ze zien waar deze twee samenvallen, namelijk de gebieden waar een aanzienlijk aantal inwoners dicht bij aanzienlijke bronnen van ultrafijnstof wonen. Dit geeft een beeld van op welke plekken de uitstoot van ultrafijnstof mogelijk meer blootstelling veroorzaakt en op welke plekken minder.

Verdeling van uitstoot van ultrafijnstof en inwoners over de provincie Noord-Brabant



Figuur 4.1: Ruimtelijke verdeling van de uitstoot van ultrafijnstof gecombineerd met de bevolkingsdichtheid van de provincie Noord-Brabant.

Iets minder dan een kwart van de Brabantse inwoners (ongeveer 23%) woont in de kilometercellen met de hoogste uitstoot (de hoogste 20% van de emissieverdeling). Dit is met name het geval in de stedelijke gebieden van Noord-Brabant (de donkerrode gebieden in de figuur). Veel van de maatregelen die in dit rapport zijn besproken, zoals voor wegverkeer en houtstook, grijpen juist in op de bronnen die zich op deze locaties bevinden. Belangrijk om hierbij te beseffen is dat ultrafijnstof zich anders gedraagt dan het grotere fijnstof ($PM_{2,5}$ en PM_{10}). Zo nemen de concentraties sterker af met de afstand tot bronnen zoals drukke wegen en luchtvaart, wat scherpere lokale gradiënten oplevert die een raster van één vierkante kilometer slechts bij benadering kan weergeven.

Om die reden wijst de hier getoonde overlap op een *mogelijke blootstelling* en niet op blootstelling zelf: de werkelijke blootstelling hangt af van verspreiding, weersomstandigheden, achtergrondconcentraties en hoe mensen hun dag doorbrengen, factoren die hier geen van alle zijn meegenomen. Om de verspreiding in kaart te brengen zijn modellen nodig en concentratiemetingen ter validatie daarvan, die op dit moment nog niet uitgevoerd zijn (zie hoofdstuk 5 voor verdere aanbevelingen op dit gebied). De kaart getoond in Figuur 4.1 is daarom indicatief en het beste te lezen als een vertrekpunt voor nader onderzoek.

4.2 Wat kunnen overheden hiermee?

In de voorgaande hoofdstukken zijn de bronnen van ultrafijnstof in de provincie in kaart gebracht (hoofdstuk 2) en is het verwachte effect van verschillende maatregelen gericht op de belangrijkste bronnen inzichtelijk gemaakt (hoofdstuk 3). In deze sectie zal ingegaan worden op wat gemeenten en de provincie met deze kennis kunnen doen en wat er al aan autonome ontwikkelingen gebeurt die ook een effect hebben op de uitstoot van ultrafijnstof.

4.2.1 Handelingsperspectief

Dit onderzoek geeft weer welke bronnen bijdragen aan de uitstoot van ultrafijnstof en welke maatregelen mogelijk zijn om deze uitstoot te reduceren. De resultaten hiervan zijn richtinggevend. Als de provincie of gemeenten maatregelen specifiek gericht op ultrafijnstof zouden willen nemen, geeft dit onderzoek de handvatten welke maatregelen naar verwachting meer of minder effect zouden hebben. Het geeft daarmee handelingsperspectief binnen een zich nog verder ontwikkelend kennisveld. Voor maatregelen die niet binnen het gezag van gemeenten en provincie vallen, kan dit onderzoek ook dienen als opening voor het gesprek met andere belanghebbenden zoals andere provincies en de Rijksoverheid.

De maatregelen met het grootste verwachte effect in de provincie Noord-Brabant zijn met name op het gebied van wegverkeer, luchtvaart, scheepvaart, industrie en consumenten (houtstook). Hiervan zijn wegverkeer, industrie en houtstook bronnen die grotendeels binnen de invloedssfeer van de gemeenten en/of provincie vallen en waar deze lagen van de overheid beleid op kunnen voeren. Voor scheepvaart ligt dit deels binnen (pleziervaart, veerboten en havens), maar grotendeels buiten het handelingsperspectief van de provincie en daarin aanwezige gemeenten (doorgaande scheepvaart, zowel nationaal als internationaal). Ook maatregelen op het gebied van luchtvaart zijn voornamelijk een (inter-)nationale aangelegenheid. Dit geeft ook weer dat een effectieve aanpak van ultrafijnstof, en van luchtkwaliteit als geheel, een gezamenlijke inspanning van verschillende lagen van de overheid nodig heeft.

4.2.2 Autonome ontwikkelingen

Naast het invoeren van nieuwe maatregelen zijn er ontwikkelingen gaande die weliswaar niet specifiek gericht zijn op het terugdringen van ultrafijnstof, maar daar wel een effect op hebben. Met name de elektrificatie van verschillende sectoren is belangrijk. Zo is het aandeel van zero-emissie voertuigen in het wegverkeer in Nederland aan het stijgen, mede door financieel stimulerende maatregelen. De invoering in de afgelopen jaren van zero-emissiezones voor vracht- en bestelverkeer in verschillende steden in Noord-Brabant en de rest van Nederland heeft behalve het directe effect op de zones zelf, ook een indirect effect op het gehele wagenpark. Dit zorgt ervoor dat ook op andere plekken de uitstoot omlaag gaat. Hetzelfde geldt voor milieuzones die al langer in enkele steden ingevoerd zijn voor zowel vracht- en bestelverkeer, autobussen, als (diesel)personenauto's. Verkeer dat in een milieuzone

toegelaten is, heeft weliswaar nog steeds uitstoot van verschillende luchtverontreinigende stoffen, waaronder ultrafijnstof, maar EURO6 dieselvoertuigen hebben dankzij het roetfilter wel een aanzienlijk lagere uitstoot van ultrafijnstof dan oudere voertuigen zonder roetfilter.

Andere maatregelen zoals het Convenant Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB), ondertekend door de provincie en veel gemeenten daarbinnen, hebben invloed op het verminderen van ultrafijnstof, omdat hierin toegewerkt wordt naar de toepassing van zero-emissie materieel. Ook hier geldt dat de tussenstap naar materieel uitgerust met een roetfilter (Stage IV of V, vanaf 2028) een reducerend effect zal hebben op de uitstoot van ultrafijnstof. Ten slotte zijn er rond scheepvaart ontwikkelingen in de richting van zero-emissie en is voor luchtvaart de RefuelEU Aviation verordening nu van kracht, waardoor uitstoot van ultrafijnstof in die sectoren naar verwachting zal dalen in de toekomst.

Belangrijke sectoren waarin minder autonome ontwikkeling plaatsvindt zijn industrie en houtstook. Voor de industrie vindt toenemende elektrificatie van verwarmingsprocessen plaats, maar zijn er ook andere processen waarbij ultrafijnstof gevormd kan worden. De mate waarin is erg installatiespecifiek, en vereist nader onderzoek om te bepalen voor welke industriële complexen dit (het meeste) geldt en of er al andere ontwikkelingen zijn die de uitstoot van ultrafijnstof verminderen.

Maatregelen op houtstook zijn zowel juridisch als maatschappelijk complex. In Nederland zijn er enkele gemeenten, waaronder Eindhoven, die beleid hebben gevormd op het verminderen van houtstook bij ongunstige omstandigheden (Stookwijzer code oranje of rood) vanuit de Omgevingswet, maar is het op dit moment nog onduidelijk of dit juridisch standhoudt. Ook de handhaving zelf kent uitdagingen. Dit onderzoek toont aan dat houtstook in Noord-Brabant een aanzienlijke bron is, en dat het beperken van houtstook bij kan dragen aan het verminderen van de totale uitstoot van ultrafijnstof in de provincie.

5 Conclusies en mogelijke vervolgstappen

5.1 Conclusies

Dit onderzoek laat zien dat ultrafijnstof in Noord-Brabant vooral afkomstig is van luchtvaart (38%) en wegverkeer (32%). Daarnaast leveren ook industrie (9%), binnenvaart (8%) en consumenten (7%, vooral houtstook) relevante bijdragen. De onzekerheid in de uitstoot van ultrafijnstof is met name bij industrie groot en ligt naar schatting ergens tussen de 4 en 38%. Ook de onzekerheid in de uitstoot van houtstook is groter dan voor de andere bronnen. Voor een eerste orde inschatting van mogelijke gezondheidsrelevante locaties is gekeken waar hoge uitstoot samenvalt met hoge bevolkingsdichtheid. Dit is met name het geval in stedelijke gebieden en laat zien waar maatregelen waarschijnlijk de meeste gezondheidswinst kunnen opleveren. De grootste reducties zijn te verwachten van maatregelen gericht op wegverkeer, zoals zero-emissiezones in bebouwde kommen. Dit levert 15% reductie op van de uitstoot van ultrafijnstof voor de hele provincie, maar kan voor afzonderlijke gemeenten oplopen tot boven de 50%. Ook een houtstookverbod kan merkbaar bijdragen, al is handhaving en de juridische borging hiervan complex. Voor luchtvaart en (inter)nationale scheepvaart ligt het handelingsperspectief vooral op nationaal of Europees niveau, bijvoorbeeld de al bestaande verplichting tot het bijmengen van duurzame vliegtuigbrandstoffen en de elektrificatie van scheepvaart. De industriële bijdrage is onzeker maar mogelijk belangrijk. Vooral installaties met hoge zwaveldioxide-uitstoot kunnen in potentie veel ultrafijnstof vormen. Gerichte metingen zijn nodig om te bepalen welke industriële bronnen werkelijk relevant zijn en welke maatregelen effectief zijn.

5.2 Mogelijke vervolgstappen

Alle resultaten in dit onderzoek zijn gebaseerd op wat er uit literatuur en eerder onderzoek bekend is over de uitstoot van verschillende bronnen. Er zijn geen aanvullende (emissie)metingen specifiek voor Noord-Brabant verricht, en er worden op dit moment ook geen structurele hoogwaardige (concentratie)metingen van ultrafijnstof in de provincie gedaan. Om beter zicht te krijgen op wat de concentraties van ultrafijnstof in de provincie zijn, is het daarom te adviseren om op een aantal plaatsen (langdurige) hoogwaardige metingen van ultrafijnstof te verrichten. Dit biedt niet alleen inzicht in de actuele en tijdsgemiddelde concentraties waaraan mensen mogelijk blootgesteld kunnen worden, maar ook hoe deze concentraties zich in de loop der tijd ontwikkelen.

Behalve het meten van concentraties in de leefomgeving, biedt dit onderzoek ook handvatten om de uitstoot beter in beeld te krijgen. Uit de verdieping gericht op de industrie is gebleken dat het ultrafijnstofvormend potentieel van een aantal industriële complexen in de provincie Noord-Brabant aanzienlijk is. Er zit echter ook een grote onzekerheid van enkele ordes van grootte in deze getallen. Het is daarom aan te raden om gerichte metingen te verrichten naar (enkele van) deze complexen, waarbij Industrial Park Moerdijk, als locatie met meerdere industriële bronnen met mogelijk een hoge uitstoot van ultrafijnstof, een logisch beginpunt zou zijn. Hierbij kan een getrapte aanpak gekozen worden: eerst mobiele metingen in de omgeving van deze complexen om te bepalen of de concentraties ultrafijnstof verhoogd zijn of niet. Als

dat het geval is, zou op deze plek(ken) langdurigere metingen ingericht kunnen worden om beter in kaart te brengen of een bepaald industriecomplex inderdaad de bron is van de verhoogde concentraties of dat dit een andere oorzaak heeft. Indien nodig kan er daarna in samenwerking met de desbetreffende partij(en) nader onderzoek gedaan worden op het complex en/of in of nabij installaties om te bepalen welke maatregelen mogelijk zouden zijn om de uitstoot van ultrafijnstof omlaag te brengen.

Ook op het gebied van de uitstoot van ultrafijnstof door houtstook is nog veel onzeker. Op dit moment doet TNO in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat onderzoek naar de uitstoot van ultrafijnstof van verschillende types houtkachels. Deze resultaten zijn nog niet beschikbaar en worden begin 2027 verwacht. Dit zou mogelijk tot een bijstelling van de hier gepresenteerde getallen voor houtstook kunnen leiden.

Ten slotte wordt het gebruik van verspreidingsmodellen aangeraden. Toen dit onderzoek opgestart werd, waren de verspreidingsmodellen voor ultrafijnstof op regionale schaal nog in ontwikkeling. De verwachting is dat deze modellen eind 2026 voldoende ver ontwikkeld zijn dat ze een eerste, voldoende representatief, beeld kunnen geven van de concentraties over de gehele provincie. De hier opgestelde emissie-inventarisatie voor ultrafijnstof is geschikt als input voor deze verspreidingsmodellen en biedt een goede basis om de concentraties in de provincie te berekenen. In combinatie met validatie door de hierboven geadviseerde metingen kan dit een beter gebiedsdekkend beeld van de concentraties in de provincie opleveren.

6 Referenties

- (1) Gezondheidsraad. *Risico's van Ultrafijnstof in de Buitenlucht*; 2021; pp 2–48.
- (2) Lammers, A.; Janssen, N. A. H.; Boere, A. J. F.; Berger, M.; Longo, C.; Vijverberg, S. J. H.; Neerincx, A. H.; Maitland - van der Zee, A. H.; Cassee, F. R. Effects of Short-Term Exposures to Ultrafine Particles near an Airport in Healthy Subjects. *Environ. Int.* **2020**, *141*, 105779. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105779>.
- (3) Lenssen, E. S.; Janssen, N. A. H.; Oldenwening, M.; Meliefste, K.; de Jonge, D.; Kamstra, R. J. M.; van Dinther, D.; van der Zee, S.; Keuken, R. H.; Hoek, G. Beyond the Runway: Respiratory Health Effects of Ultrafine Particles from Aviation in Children. *Environ. Int.* **2024**, *188*, 108759. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108759>.
- (4) Bergmann, M.; Haddad-Thoelke, P.; Jeong, H.; Kappeler, R.; Altug, H.; Oberwinster, L.; Boogaard, H.; Pohl, T.; Soppa, V.; Ogurtsova, K.; Kutlar Joss, M.; Andersen, Z. J.; Hoffmann, B. Systematic Review and Meta-Analysis on the Health Effects of Long-Term Exposure to Ultrafine Particles. *Eur. Respir. Rev.* **2026**, *35* (179), 250156. <https://doi.org/10.1183/16000617.0156-2025>.
- (5) *Luchtmeetnet.nl*. <https://www.luchtmeetnet.nl/meetpunten?component=PS> (accessed 2026-02-25).
- (6) *Directive (EU) 2024/2881 of the European Parliament and of the Council of 23 October 2024 on Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe (Recast)*; 2024. <http://data.europa.eu/eli/dir/2024/2881/oj> (accessed 2026-02-25).
- (7) *Meten en modelleren van ultrafijnstof | RIVM*. <https://www.rivm.nl/ultrafijnstof/meten-modelleren-van-ultrafijn-stof> (accessed 2026-07-16).
- (8) WHO. *WHO Global Air Quality Guidelines*; WHO, 2021; pp 1–360.
- (9) H.A.C. Denier van der Gon; A.J.H. Visschedijk; C. Johansson; E. Hedberg Larsson; R. Harrison; D. Beddows. *Size-Resolved Pan European Anthropogenic Particle Number Inventory*; EUCAARI Deliverable report D141; 2009.
- (10) Sophie E.H. van Mil; Jeroen J.P. Kuenen; Antoon. J.H. Visschedijk; Ruben Goudriaan; Emiel van Eijk; Jessica M. de Ruiter; Norbert E. Ligterink. *Emissions of Particle Numbers in the Dutch Emission Inventory*; TNO 2024 R10541; TNO, 2024.
- (11) Sophie van Mil; Jeroen Kuenen; Antoon Visschedijk; Ruben Goudriaan; Emiel van Eijk; Stijn Dellaert. *Particle Number Emissions of 2022-24 for the Dutch Emission Inventory*; 2026 R10578; TNO: Utrecht, 2026. <https://legacy.emissieregistratie.nl/erpubliek/documenten/10%20Overige%20documentatie/TNO%202026%20R10578%20Particle%20number%20emissions%20for%20the%20Dutch%20emission%20inventory.pdf>.
- (12) J. Tiebosch; T. Brekelmans. *Quick Scan Beleid Ultrafijnstof*; 0480957.100; Antea Group, 2023.
- (13) Kwon, H.-S.; Ryu, M. H.; Carlsten, C. Ultrafine Particles: Unique Physicochemical Properties Relevant to Health and Disease. *Exp. Mol. Med.* **2020**, *52* (3), 318–328.
- (14) *StatLine - Totale vervoersprestatie in Nederland; vervoerwijzen, regio's*. <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/84687NED/table?ts=1782149371530> (accessed 2026-06-25).
- (15) *Regulation (EU) 2023/2405 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 on Ensuring a Level Playing Field for Sustainable Air Transport (ReFuelEU Aviation) (Text with EEA Relevance)*; 2023. <http://data.europa.eu/eli/reg/2023/2405/oj> (accessed 2026-06-25).
- (16) Rijksoverheid. *Convenant Schoon En Emissieloos Bouwen (SEB)*, 2023. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/2023/11/27/bijlage-2-convenant-schoon-en-emissieloos-bouwen>.
- (17) Beyersdorf, A. J.; Timko, M. T.; Ziemba, L. D.; Bulzan, D.; Corporan, E.; Herndon, S. C.; Howard, R.; Miake-Lye, R.; Thornhill, K. L.; Winstead, E.; Wey, C.; Yu, Z.; Anderson, B. E. Reductions in Aircraft Particulate Emissions Due to the Use of Fischer–Tropsch Fuels. *Atmospheric Chem. Phys.* **2014**, *14* (1), 11–23. <https://doi.org/10.5194/acp-14-11-2014>.

- (18) Durdina, L.; Brem, B. T.; Elser, M.; Schönenberger, D.; Siegerist, F.; Anet, J. G. Reduction of Nonvolatile Particulate Matter Emissions of a Commercial Turbofan Engine at the Ground Level from the Use of a Sustainable Aviation Fuel Blend. *Environ. Sci. Technol.* **2021**, *55* (21), 14576–14585. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04744>.
- (19) Schripp, T.; Anderson, B. E.; Bauder, U.; Rauch, B.; Corbin, J. C.; Smallwood, G. J.; Lobo, P.; Crosbie, E. C.; Shook, M. A.; Miake-Lye, R. C.; Yu, Z.; Freedman, A.; Whitefield, P. D.; Robinson, C. E.; Achterberg, S. L.; Köhler, M.; Oßwald, P.; Grein, T.; Sauer, D.; Voigt, C.; Schlager, H.; LeClercq, P. Aircraft Engine Particulate Matter Emissions from Sustainable Aviation Fuels: Results from Ground-Based Measurements during the NASA/DLR Campaign ECLIF2/ND-MAX. *Fuel* **2022**, *325*, 124764. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124764>.
- (20) Keuken, M. P.; Moerman, M.; Zandveld, P.; Henzing, J. S. Total and Size-Resolved Particle Number and Black Carbon Concentrations near an Industrial Area. *Atmos. Environ.* **2015**, *122*, 196–205. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.09.047>.
- (21) Jr, K. B. S.; Brown, C. A. *Air Pollution Control Technology Handbook*; CRC Press: Boca Raton, 2016. <https://doi.org/10.1201/9781420036435>.
- (22) Huang, S.-H.; Chen, C.-C. Ultrafine Aerosol Penetration through Electrostatic Precipitators. *Environ. Sci. Technol.* **2002**, *36* (21), 4625–4632. <https://doi.org/10.1021/es011157+>.
- (23) Buonanno, G.; Scungio, M.; Stabile, L.; Tirler, W. Ultrafine Particle Emission from Incinerators: The Role of the Fabric Filter. *J. Air Waste Manag. Assoc.* **2012**, *62* (1), 103–111. <https://doi.org/10.1080/10473289.2011.636501>.
- (24) Zukeran, A.; Looy, P. C.; Chakrabarti, A.; Berezin, A. A.; Jayaram, S.; Cross, J. D.; Ito, T.; Chang, J.-S. Collection Efficiency of Ultrafine Particles by an Electrostatic Precipitator under DC and Pulse Operating Modes. *IEEE Trans. Ind. Appl.* **1999**, *35* (5), 1184–1191. <https://doi.org/10.1109/28.793383>.
- (25) Ehrlich, C.; Noll, G.; Kalkoff, W.-D.; Baumbach, G.; Dreiseidler, A. PM₁₀, PM_{2.5} and PM_{1.0}—Emissions from Industrial Plants—Results from Measurement Programmes in Germany. *Atmos. Environ.* **2007**, *41* (29), 6236–6254. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.03.059>.
- (26) Paul Monks; James Allen; David Carruthers; David Carslaw; Gary Fuller; Roy Harrison; Mat Heal; Alastair Lewis; Eiko Nemitz; Clarie Reeves; Martin Williams. *Ultrafine Particles (UFP) in the UK*; Air Quality Expert Group, 2018. https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat09/1807261113_180703_UFP_Report_FINAL_for_publication.pdf.
- (27) Hou, S.; Li, W.; Yang, L.; Chen, G.; Zhang, Y.; Kuwata, M. The Role of Sulfur Emission from the Petroleum Industry on Ultrafine Particle Number Concentration in Singapore. *Aerosol Air Qual. Res.* **2022**, *23* (2), 220265. <https://doi.org/10.4209/aaqr.220265>.
- (28) US EPA, O. *AP-42: Compilation of Air Emissions Factors from Stationary Sources*. <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors-stationary-sources> (accessed 2026-07-09).
- (29) Brewer, E.; Li, Y.; Finken, B.; Quartucy, G.; Muzio, L.; Baez, A.; Garibay, M.; Jung, H. S. PM_{2.5} and Ultrafine Particulate Matter Emissions from Natural Gas-Fired Turbine for Power Generation. *Atmos. Environ.* **2016**, *131*, 141–149. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.11.048>.
- (30) Wix, A.; Brachert, L.; Sinanis, S.; Schaber, K. A Simulation Tool for Aerosol Formation during Sulphuric Acid Absorption in a Gas Cleaning Process. *J. Aerosol Sci.* **2010**, *41* (12), 1066–1079. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2010.08.007>.
- (31) Stockham, J. D. The Composition of Glass Furnace Emissions. *J. Air Pollut. Control Assoc.* **1971**, *21* (11), 713–715. <https://doi.org/10.1080/00022470.1971.10469588>.
- (32) Xue, J.; Li, Y.; Peppers, J.; Wan, C.; Kado, N. Y.; Green, P. G.; Young, T. M.; Kleeman, M. J. Ultrafine Particle Emissions from Natural Gas, Biogas, and Biomethane Combustion. *Environ. Sci. Technol.* **2018**, *52* (22), 13619–13628. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b04170>.

Ondertekening

TNO) Energy & Materials Transition) Utrecht, 3 september 2026

Sam van Goethem
Research Manager

Ruben Goudriaan
Project Manager

Bijlage A. Technische verdieping afleiding industriële emissies

A.1 Introductie

De schattingsmethodiek die in de Emissieregistratie (ER) is gebruikt om ultrafijnstof emissies voor Nederland als geheel te schatten¹⁰ is op dit moment (nog) niet voor iedere emissiebron even nauwkeurig. Dit is één van de redenen waarom de onzekerheid van de emissieschattingen sterk varieert tussen de verschillende bronnen. Een andere reden voor deze variatie in onzekerheid is dat sommige bronnen onderling sterk verschillen, terwijl binnen andere bronnen minder variatie is. In de industrie bijvoorbeeld is de verscheidenheid aan activiteiten en processen veel groter dan in de transportsector. In het algemeen kunnen emissies uit transport-gerelateerde ultrafijnstof bronnen daarom nauwkeuriger en betrouwbaarder geschat worden dan voor het geheel aan industriële bronnen.

Vaak zijn met name thermische industriële processen bronnen van ultrafijnstof, meestal door vervluchtiging van materiaal door warmte en daarop volgende condensatie en/of nucleatie na afkoeling. Daarnaast kan er door verbranding in fornuizen, ketels, motoren en turbines ultrafijn roet gevormd worden. Vaak worden in industriële rookgassen relatief grote deeltjes gevonden, met maxima in de aantal-gebaseerde grootteverdelingen van boven de 100 nm. Waarschijnlijk kan dit verklaard worden door de relatief lange verblijftijden in de installatie-rookgasafvoer, die verdere agglomeratie bevorderen, en daarnaast de aanwezigheid van niet-vluchtige fijne deeltjes, waarop vluchtig materiaal condenseert in plaats van dat het materiaal nucleëert. Zo kunnen dan in het rookgas aanwezige niet-vluchtige deeltjes als ultrafijn 'sink' werken.

A.2 Methode

A.2.1 Huidige schattingsmethodes voor industriële ultrafijnstof emissie in de ER

Voor veel industriële processen zijn nooit directe ultrafijnstof-emissiefactoren gemeten/bepaald, in tegenstelling tot transport-gerelateerde bronnen. Dit bemoeilijkt het schatten van industriële ultrafijnstofemissie. Ultrafijnstofemissie is daarnaast zeer afhankelijk van in de industrie gangbare na-geschakelde reinigingstechnieken, zoals doekenfilters of elektrofilters. Een goed gedimensioneerd industrieel filter is vaak vergelijkbaar effectief ($\pm 99\%$) voor ultrafijnstof, uitgedrukt in deeltjesaantallen, als voor $PM_{2,5}/PM_{10}$, uitgedrukt in deeltjesmassa.^{21–24} Alleen voor deeltjes van 0,2 – 0,5 μm diameter (dus buiten het ultrafijnstof-bereik) vertonen veel industriële filters een lager verwijderingsrendement.

Bij afwezigheid van representatieve directe ultrafijnstof-emissiefactoren kan de gerapporteerde emissie van $PM_{2,5}$ als maatgevend voor ultrafijnstofemissie worden verondersteld. Wel moet dan goed bekend zijn wat de massafractie ultrafijnstof in het geëmitteerde $PM_{2,5}$ is. Deze ultrafijnstof massa kan dan later omgerekend worden naar deeltjesaantallen, onder aanname van een deeltjesvorm, dichtheid en aantal-gebaseerde grootteverdeling. Een voordeel bij deze benadering is dat er in het verleden veel onderzoek gedaan is naar de massafracties van kleinere deeltjes in industriële $PM_{2,5}$ emissie,²⁵ meestal tot ongeveer 0,3 μm , wat de ondergrens

is van veel impactie-gebaseerde meetapparatuur voor het bepalen van deeltjesgrootteverdelingen voor massa.

Deeltjesaantallen schatten op basis van de totale deeltjesmassa beneden de $0,3\ \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{0,3}$) geeft redelijk betrouwbare resultaten, mits de deeltjes niet te klein zijn. In industriële rookgassen is dit vaak het geval en dan werkt de massa-gebaseerde methode goed. Voor sommige processen ligt de gemiddelde deeltjesgrootte echter veel lager, bijvoorbeeld tussen de 5 en 50 nm (zgn. nucleatie/Aitken-mode deeltjes). Deze worden met name op korte afstand van de industriële bron waargenomen. Bij een dergelijke deeltjesgrootte gaat de massa-gebaseerde schattingsmethode mank, omdat deze deeltjes ondanks dat ze zeer talrijk kunnen zijn in het rookgas, zeer weinig massa hebben, waardoor de aantallen niet op basis van massa geschat kunnen worden. Daarnaast zijn deze hele kleine deeltjes vaak vluchtig terwijl veel metingen van deeltjes in de industrie bij hogere temperatuur plaatsvinden (in de schoorsteen of eerder in het proces bijvoorbeeld) waarbij vluchtige deeltjes nog gasvormig zijn en dus (nog) niet worden geteld. Ze ontstaan pas bij afkoeling van het rookgas in de pluim. Emissie van nucleatie/Aitken-mode deeltjes uit industriële bronnen wordt om deze redenen waarschijnlijk onderschat in ultrafijnstof emissie-inventarisaties.

A.2.2 Bijschatting van nucleatie-mode deeltjes uit industriële bronnen

De industriële sector is wat betreft (thermische) processen zeer divers en er kunnen in principe op veel verschillende plaatsen/momenten ultrafijne nucleatie-/Aitken-mode deeltjes worden gevormd, die (zoals eerder besproken) tot nu toe mogelijk onopgemerkt zijn gebleven. Een belangrijke rol bij het ontstaan van een groot gedeelte van deze klasse ultrafijne deeltjes wordt vervuld door zwavel. Bij vorming en emissie van gasvormig zwaveldioxide (SO_2), kan bij thermische processen ook een kleine hoeveelheid zwaveltrioxide (SO_3) worden gevormd. SO_3 vormt na hydrolyse zwavelzuur (H_2SO_4), dat zeer efficiënt kan nucleëren tot zeer fijn ultrafijnstof. Dit treedt op tijdens, of direct na emissie, afkoeling en atmosferische verdunning. Mechanismen hierachter worden besproken door bijvoorbeeld Monks *et al.*²⁶ De vorming van ultrafijnstof bij zwaveldioxide emissie hangt af van onder andere de concentratie SO_2/SO_3 , de verblijftijd van de aerosolen in de rookgasafvoer en de hoeveelheid in het rookgas beschikbaar condensatieoppervlak in de vorm ander eveneens geëmitteerd aerosol, zoals eerder kort besproken.

Daarnaast kan in de atmosfeer aanwezig SO_2 onder invloed van atmosferische hydroxyl radicalen ($\cdot\text{OH}$) dooroxideren naar SO_3 , dat weer na hydrolyse H_2SO_4 vormt en vervolgens eveneens nucleëert tot ultrafijn aerosol.²⁷ Vooral op zonnige dagen met veel fotochemische activiteit en hoge atmosferische SO_2 concentraties. Dit type atmosferisch gevormd (secundair) ultrafijn aerosol wordt in deze studie niet meegenomen.

In deze studie is voor de provincie Noord-Brabant een indicatieve schatting gemaakt van de bijdrage van dit additioneel ultrafijn zwavelzuuraerosol. Deze schatting is gemaakt op basis van geregistreerde SO_2 emissies, een geschatte fractie SO_3 , een geschatte deeltjesgrootte die de gevormde zwavelzuuraerosolen zullen bereiken tijdens en direct na emissie, alsmede het watergehalte in deze aerosolen. Het dient benadrukt te worden dat deze schattingen een zeer grote onzekerheid hebben en derhalve als indicatief moeten worden gezien. Ultrafijnstofmetingen in de afgekoelde rookgassen zijn nodig om deze bijdrage te valideren en hier conclusies aan te verbinden omtrent de werkelijke bijdrage van deze deeltjes.

Aannames bij de berekening van H₂SO₄ UFP vorming:

- › In emissie-inventarisaties wordt voor verbranding van zwavelhoudende brandstoffen vaak van een centrale waarde voor de fractie gevormd H₂SO₄ over SO₂ van 0,005 uitgegaan.²⁸
- › Heterogene adsorptie van H₂SO₄ aan ander aerosol zoals roet of as is verwaarloosd.
- › Bij relatief lage SO₂ rookgasconcentraties (hetgeen voor de meeste industriële bronnen in Nederland als gevolg van strenge SO₂ normen het geval is) wordt het bij verbranding gevormde SO₃/H₂SO₄ volledig omgezet tot ultrafijn aerosol (NB bij hogere SO₂ concentraties zou het grootste deel van de SO₃/H₂SO₄ massa tot (veel) grotere zwavelzuurdeeltjes condenseren/coaguleren en waarschijnlijk niet meer ultrafijn zijn).
- › De deeltjesgrootte die de gevormde H₂SO₄ aerosolen bereiken wordt per geval geschat maar varieert bij relatief lage aerosol concentraties tussen de 10 en 100 nm (NB deze grootte is behalve van concentratie ook sterk afhankelijk van de verblijftijd van de rookgassen in de rookgaskanalen)
- › H₂SO₄ aerosolen bevatten 50% water.

Er is op basis van in e-MJVs gerapporteerde SO₂ emissies in 2023, welke publiek beschikbaar zijn, een tiental grote bedrijven geselecteerd die individueel zijn onderzocht met betrekking tot mogelijke vorming van zwavelhoudende nucleatie/Aitken-mode deeltjes. Hier zijn zowel gerapporteerde verbrandings- als procesemissies in meegenomen. De analyse beschouwt de individuele procesonderdelen waaruit SO₂ geëmitteerd wordt en neemt daarbij voor zover mogelijk en bekend verbrandings- en procescondities in overweging. Deze nadere analyse en de resultaten ervan is beschreven in paragraaf 2.1.2.1.

De volgende bedrijven zijn geselecteerd (bedrijfsnaam en gemeente):

- › Shell Chemie, Moerdijk
- › Amercentrale (RWE), Geertuidenberg
- › Nyrstar Zink, Budel
- › Ardagh Glas, Moerdijk
- › Ardagh Glas, Dongen
- › Agristo, Tilburg
- › SABIC Plastics, Bergen op Zoom
- › Afvalverbranding Zuid-Nederland (Attero), Moerdijk
- › Steenfabriek Engels, Oeffelt
- › Rendac, Son en Breugel

Drie van deze geselecteerde bedrijven bevinden zich op het Industrial Park Moerdijk.

Het is al eerder benoemd dat deze schattingen van additioneel gevormd ultrafijnstof een zeer grote onzekerheid hebben, veel groter dan de overige ultrafijnstof-emissieschattingen. Zo is het onzeker of er eigenlijk wel nucleatie op zal treden, en wat dan de gevormde hoeveelheid zwaveltrioxide (SO₃) is. En verder is het ook onzeker welke grootte de ultrafijnstofdeeltjes zullen gaan bereiken. Deze grootte is zeer bepalend voor het totale aantal gevormde deeltjes.

A.3 Resultaten per bedrijf

A.3.1 Shell Moerdijk

Op Industrial Park Moerdijk bevindt zich het grote petrochemische complex van Shell Nederland Chemie, waar vooral olefinen en kunststoffen worden gemaakt. Er treden emissies van PM_{2,5} en SO₂ op. Beneden wordt een samenvatting hiervan gegeven, op basis van het e-MJV:

Installatie	SO ₂ Emissie 2023 (ton)	PM _{2,5} Emissie 2023 (ton)
Gasturbines Utiliteitsbedrijf	99	3,9
Procesfornuizen	0	14

De procesfornuizen kenmerken zich door de relatief lange verblijftijd van de rookgassen in de rookgasafvoer en laag zwavelgehalte van de brandstoffen (voornamelijk aardgas en restgas). Voor de procesfornuizen kan daarom het deeltjesaantal geschat worden op basis van massa PM_{0,3}, onder aanname van een monomodale deeltjesgrootteverdeling met modus tussen de 100 en 200 nm. Maxima voor deze deeltjesgrootte worden dikwijls geobserveerd in deeltjesgrootteverdelingen van fijne deeltjes uit stationaire industriële bronnen met een relatief lange verblijftijd in de rookgasafvoer.

Voor de gasturbines ligt dat mogelijk anders. Gasturbines staan er om bekend vaak zeer talrijke, met name vluchtige nanodeeltjes (deeltjesdiameter < 10 nm) uit te stoten.²⁹ Eén van de redenen hiervoor is de relatief korte verblijftijd van de rookgassen voordat emissie plaatsvindt, naast de hoge vlamturbulentie in de verbrandingszone van een turbine.

De emissie van vluchtige nanodeeltjes kan nog aanzienlijk verder verhoogd worden door de in het e-MJV gerapporteerde bijstook van hoogzwavelig vloeibaar bitumen als turbinebrandstof. Het aanwezige zwavel kan tot nucleatie van grote aantallen zwavelzuur/sulfaataerosolen in het rookgas leiden, vooral indien er relatief weinig ander aerosol aanwezig is, en de verblijftijden kort zijn (zie Bijlage A.2). Aangezien het onder deze omstandigheden vaak om deeltjes tussen de 10 en 80 nm gaat, zijn de totale deeltjesaantallen moeilijk aan de hand van massa PM_{0,3} te schatten. Daarvoor ligt de modus (maximum) van deeltjesgrootteverdeling van deze deeltjes te ver af van 300 nm (grens in PM_{0,3}).

Een alternatieve schattingsmethode voor een orde van grootte schatting van deeltjesaantallen uit zwavelzuurnucleatie in de industrie is uiteengezet in Bijlage A.2. Bij aanname van een deeltjesdiameter van 10, 20 of 50 nm zouden daar deeltjesaantallen bij horen van orde grootte 10²⁴, 10²³ en 10²² deeltjes achtereenvolgens. Vooral indien de deeltjes zeer klein blijven (in de orde van 10 nm) zijn dergelijke deeltjesaantallen ook op landelijke schaal significant.

Toch is het niet zeker dat de gasturbines grote ultrafijnstofbronnen zullen zijn door de bijstook van bitumen. Er vindt namelijk tegelijkertijd een significante emissie van fijnstof plaats (zie tabel). Dit fijnstof kan optreden als een sterke condensatie-sink voor gasvormig H₂SO₄, waardoor H₂SO₄ nucleatie weer verminderd wordt.

Het bedrijf rapporteert ook fakkelemissies (<100 kg PM₁₀/jaar). Er worden volgens opgave echter geen zwavelhoudende gassen afgefakkeld. Vermoedelijk treden er daarom geen grote extra ultrafijnstofemissies op.

A.3.2 Amercentrale (RWE)

In Geertruidenberg ligt de Amercentrale. In 2023 gebruikte deze energiecentrale nog voornamelijk steenkool, waarbij volgens rapportage een SO₂ en PM_{2,5} emissie van respectievelijk 126 ton en 113 ton optrad. In de Emissieregistratie zijn deeltjesaantallen geschat op basis van geschatte massa PM_{0,3} en een aangenomen grootteverdeling van het deeltjesaantal op basis van literatuur. Daarbovenop zou er echter ook emissie van zeer kleine zwavelzuurdeeltjes kunnen plaatvinden, die in de Emissieregistratie (nog) niet worden meegenomen. De PM_{2,5} emissie was in 2023 meer dan tien keer zo hoog als normaal, hetgeen vermoedelijk door een storing aan het elektrofilter veroorzaakt is. Echter ook onder 'normale' omstandigheden vindt er naast SO₂ waarschijnlijk voldoende emissie van fijnstof plaats om een effectief condensatieoppervlak te kunnen bieden voor eventueel bij verbranding gevormd zwavelzuur. Condensatie van zwavelzuur in plaats van nucleatie onder deze omstandigheden reduceert de ultrafijnstofemissie aanzienlijk. Een mogelijk nog belangrijkere reden voor relatief

lage ultrafijnstofemissie is de aanwezige rookgasontzwavelingsinstallatie die zeer effectief is in de verwijdering van zwavelzuur uit de rookgassen. Bij de Amercentrale wordt om deze redenen geen emissie van grote aantallen nucleatie/Aitken-mode deeltjes verwacht. Wel is het zo dat SO₂ in de rookgaspluim onder invloed van OH-radicalen verder kan oxideren tot SO₃, dat daarna weer nucleëert en opnieuw ultrafijne deeltjes vormt. Op zonnige dagen met veel fotochemische activiteit kan een SO₂ bron op deze manier lang nadat emissie heeft plaatsgevonden ultrafijnstof blijven produceren. Let op dat dit soort secundair gevormde deeltjes niet in deze inventarisatie zijn opgenomen

A.3.3 Nyрstar

In Budel is het bedrijf Nyрstar gevestigd, waar uit erts zink wordt geproduceerd. Er treden emissies van onder andere PM₁₀ en SO₂ op. Beneden wordt een samenvatting hiervan gegeven, op basis van het e-MJV:

Installatie	SO ₂ Emissie 2023 (ton)	PM ₁₀ Emissie 2023 (ton)
Diffuus, terrein ertsopslag/transportbanden		1,1
Schoorsteen roostovens	19	
Schoorsteen zwavelzuurfabriek	79	
Overige bronnen verbranding	0,4	0.02

Bij zowel de zwavelzuurfabriek als de roostoven vindt volgens het e-MJV significante emissie van zwaveldioxide plaats, terwijl er door deze emissiepunten nauwelijks fijnstof geëmitteerd wordt volgens het e-MJV. Eventuele kleine hoeveelheden gasvormig zwavelzuur die naast SO₂ geëmitteerd kunnen worden hebben dan weinig oppervlak beschikbaar om op te condenseren, waardoor bij de roostoven mogelijk zwavelzuurnucleatie kan optreden. Hierdoor kunnen potentieel zeer grote aantallen ultrafijne deeltjes ontstaan. Het uiteindelijk geëmitteerde deeltjesaantal hangt sterk af van de deeltjesgrootte die bereikt wordt tijdens het zwavelzuur nucleatie/condensatieproces. Er zijn helaas geen deeltjesgrootteverdelingen bekend in deze specifieke situatie. Een methode om indicatief het ultrafijn emissiepotentieel te schatten is toegelicht in Bijlage A.2. Door uit te gaan van 19 ton SO₂ en een deeltjesdiameter variërend tussen 10 en 100 nm kan een indicatieve deeltjesaantal-emissie van 10²¹ tot 10²³ geschat worden.

In de zwavelzuurfabriek wordt SO₂ geoxideerd tot SO₃, dat daarna geadsorbeerd wordt in geconcentreerd zwavelzuur. De adsorptie is meestal niet helemaal volledig, en niet-geadsorbeerd SO₃ kan 'acid mist' vormen, die door een 'mist eliminator' weer uit de rookgasstroom verwijderd wordt. Ondanks 'de-misting' emitteert er naast SO₂ ook nog zwavelzuur, vaak gedeeltelijk als ultrafijn aerosol. Metingen door de US EPA aan een zwavelzuur-adsorber suggereren dat de massaverhouding geëmitteerd H₂SO₄ ten opzichte van SO₂ ca. 0.2% is, hetgeen bij 79 ton SO₂/jaar een directe zwavelzuuremissie van 0.16 ton/jaar zou bedragen. Een eerste schatting van de massafractie ultrafijn aerosol hierin ligt rond de 1% (o.a. gebaseerd op Wix *et al.*³⁰). Bij een veronderstelde aerosol deeltjesgrootte variërend tussen de 20 en 100 nm, en verder een dichtheid van 1400 kg/m³, en onder aanname van bolvormige deeltjes, zou deze hoeveelheid H₂SO₄ tussen de 10²⁰ en 10²² deeltjes kunnen vormen.

A.3.4 Ardagh Glass

Ardagh Group produceert op twee plaatsen in Noord-Brabant (in Moerdijk en Dongen) glas. Beide fabrieken emitteren daarbij SO₂ en fijnstof (zie tabel):

Bedrijf/Installatie	SO ₂ Emissie 2023 (ton)	PM ₁₀ Emissie 2023 (ton)
Ardagh Dongen, Oven 14/15	84	46
Oven 16	39	1,1
Ardagh Moerdijk, Ovens M1 en M2	87	1,9

Er is specifiek voor glasfornuizen nauwelijks recente literatuur informatie beschikbaar over deeltjesaantal-emissie en grootteverdelingen. Stockham (1971)³¹ rapporteerde ooit maxima in de deeltjesaantal-grootteverdelingen rond de 100 nm en een ultrafijne gewichtsfractie van 5%, waarden die thans nog in de Emissieregistratiemethodiek gehanteerd worden om afhankelijk van de PM₁₀ of PM_{2,5} emissie, deeltjesaantallen te schatten. Deeltjes zouden voornamelijk bestaan uit alkalisulfaten en vluchtigere silicium-houdende verbindingen.

De SO₂ die naast directe PM₁₀ geëmitteerd wordt (zie tabel) kunnen aanleiding geven tot de vorming van nog een andere klasse veel kleinere deeltjes, namelijk zwavelzuuraerosolen, vooral indien er weinig beschikbaar condensatieoppervlak in de vorm van stof in het rookgas aanwezig is. Afgaande op de gerapporteerde SO₂ en PM₁₀ emissies, lijkt dit het geval te zijn voor Oven 16 van de fabriek in Dongen en beide ovens van de fabriek in Moerdijk. De verblijftijd van de deeltjes in het rookgas is in een glasoven echter veel langer dan in bijvoorbeeld een turbine, wat weer tot grotere (en minder talrijke) deeltjes kan leiden.

Vooralsnog wordt er aangenomen dat bij Oven 16 en de fabriek in Moerdijk mogelijk zwavelzuurnucleatie in de rookgasafvoer optreedt. Daarbij wordt een deeltjesgrootte aangenomen van 50 nm. Volgens de in Bijlage A.2 besproken methodiek kan op basis van de SO₂ emissie een ultrafijnstofemissie worden geschat van orde van grootte 10²¹ deeltjes, voor beide fabrieken.

A.3.5 Agristo

In Tilburg is het aardappelverwerkende bedrijf Agristo gevestigd. Er worden door het bedrijf geen PM₁₀ emissies gerapporteerd, wel ca. 20 ton SO₂, afkomstig van het verbranden van biogas in een fakkelt en een na-verbrander. Volgens beschikbare informatie bevat dit biogas ca. 0.3% waterstofsulfide (3000 ppm). In afwezigheid van beschikbaar condensatieoppervlak door co-emissie van fijnstof, zou het aanwezige waterstofsulfide na verbranding kunnen nucleëren tot fijn zwavelzuuraerosol. Grote onbekenden zijn dan de fractie van het gevormde SO₂ dat door-oxideert naar SO₃ en de deeltjesgrootte van de gevormde zwavelzuurdeeltjes. In Bijlage A.2 uiteengezet hoe op basis van de SO₂ emissie geschat zou kunnen worden hoeveel deeltjes er gevormd zouden kunnen worden. Indien daarbij een deeltjesgrootte tussen de 10 en 50 nm wordt aangenomen, kan een indicatieve schatting van het deeltjesaantal worden gemaakt, die varieert tussen 10²¹ en 10²³ deeltjes.

A.3.6 SABIC Plastics

Sabic Innovative Plastics produceert in Bergen op Zoom verschillende hoogwaardige kunststoffen. Met name uit Naverbrander Z21670 worden hogere SO₂ emissie gerapporteerd in het e-MJV van 2023. Vermoedelijk betreft dit een noodvoorziening die (zeer) incidenteel gebruikt moet worden bij storingen, waarbij procesgas direct weer verbrand wordt in plaats van verder verwerkt. Daarbij worden geen of slechts zeer lage PM emissies gerapporteerd. Het is mogelijk dat de incidenteel afgefakkelde procesgassen bij afwezigheid van roet, aanleiding geven tot zwavelzuur nucleatie en vorming van grote aantallen kleine zwavelzuurdeeltjes. Eén

en ander zal afhangen van de deeltjesgrootte die de zwavelzuuraerosolen bereiken. Indien die deeltjesdiameter op 20 tot 50 nm geschat wordt, zou de voor 2023 gerapporteerde SO₂ hoeveelheid door affakkelen van procesgas van 16 ton, een deeltjesemissie van tussen de 10²¹ tot 10²² deeltjes kunnen veroorzaken, volgens de in Bijlage A.2 uiteengezette schattingsmethode.

A.3.7 Afvalverbranding Zuid Nederland (Attero)

Op Industrial Park Moerdijk bevinden zich de twee afvalverwerkende bedrijven, Afvalverbranding Zuid Nederland (AZN) en Afvalstoffen Terminal Moerdijk BV (ATM). AZN verbrandt voornamelijk huishoudelijk afval, terwijl ATM onder andere verontreinigde grond, teerhoudend asfaltgranulaat en verontreinigd slib thermisch reinigt. Bij beide bedrijven vindt er zwaveldioxide- en stofemissie plaats. In 2023 bedroegen die emissies ca. 37 SO₂ en naar schatting 4 ton PM₁₀ voor AZN, en 4 ton SO₂ en 3,8 ton PM₁₀ voor ATM.

AZN heeft zoals alle afvalverbranders in Nederland een uitgebreide rookgasreiniging om fijnstofemissie terug te dringen, doch geen aparte natte rookgasontzwaveling. Door de lage fijnstofemissie (4 ton) en significante SO₂ emissie (37 ton), is het mogelijk dat er in het rookgas zwavelzuurnucleatie plaatsvindt. Onder aanname van een deeltjesgrootte van tussen de 20 en 50 nm zou dit neer komen op een emissie van 10²¹ – 10²³ deeltjes.

Voor ATM is gezien de relatief lage SO₂ emissie geen bijschatting voor nucleatiemode deeltjes gemaakt.

A.3.8 Steenfabriek Engels, Oeffelt

Steenfabriek Engels produceert op twee locaties in Nederland bakstenen. De locatie in Oeffelt is in Noord-Brabant. Het bedrijf rapporteert voor deze locatie een totale SO₂ emissie van 58 ton voor 2023. Er wordt geen fijnstofemissie gerapporteerd, omdat die emissie vermoedelijk laag is. Onder deze omstandigheden is het in principe mogelijk dat er vorming van ultrafijn zwavelzuur aerosol optreedt. Deze emissie kan op basis van een aangenomen deeltjesgrootteverdeling (20 – 50 nm) worden geschat op 10²² tot 10²³, volgens de methodiek uiteengezet in Bijlage A.2.

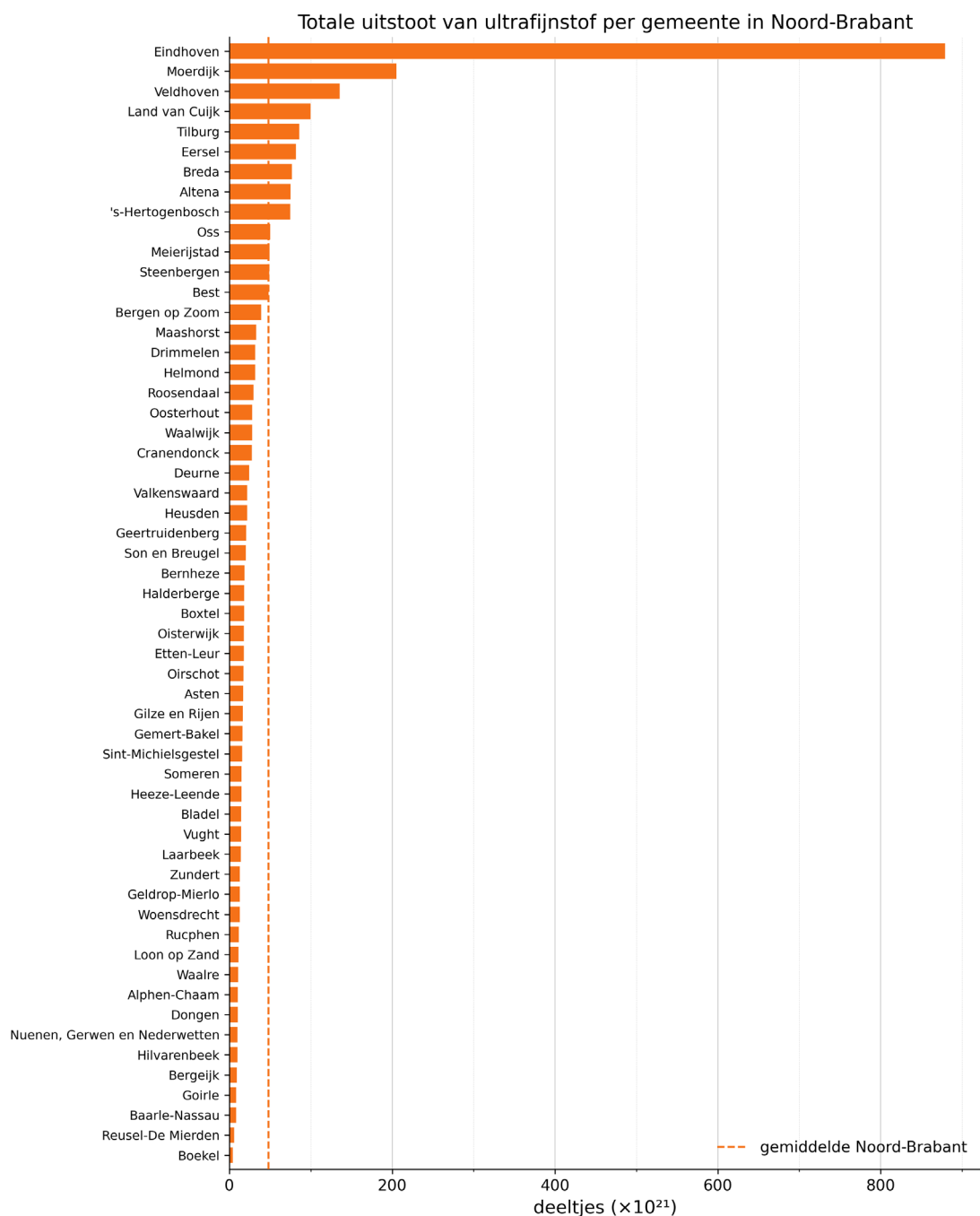
A.3.9 Rendac

In Son en Breugel is het destructiebedrijf Rendac gevestigd dat op deze locatie dierlijke kadavers en dierlijke resten vernietigt/verwerkt. Het bedrijf rapporteert voor 2023 een SO₂ emissie van ca. 27 ton, voornamelijk afkomstig van diverse stortgas-gestookte WKK installaties. Er wordt geen zwavelgehalte gerapporteerd voor dit biogas, maar uitgaande van de SO₂ emissie en stortgasgebruik zal dat rond de 600 ppm H₂S liggen, hetgeen aangeeft dat het hier om behandeld (ontzwaveld) stortgas gaat.

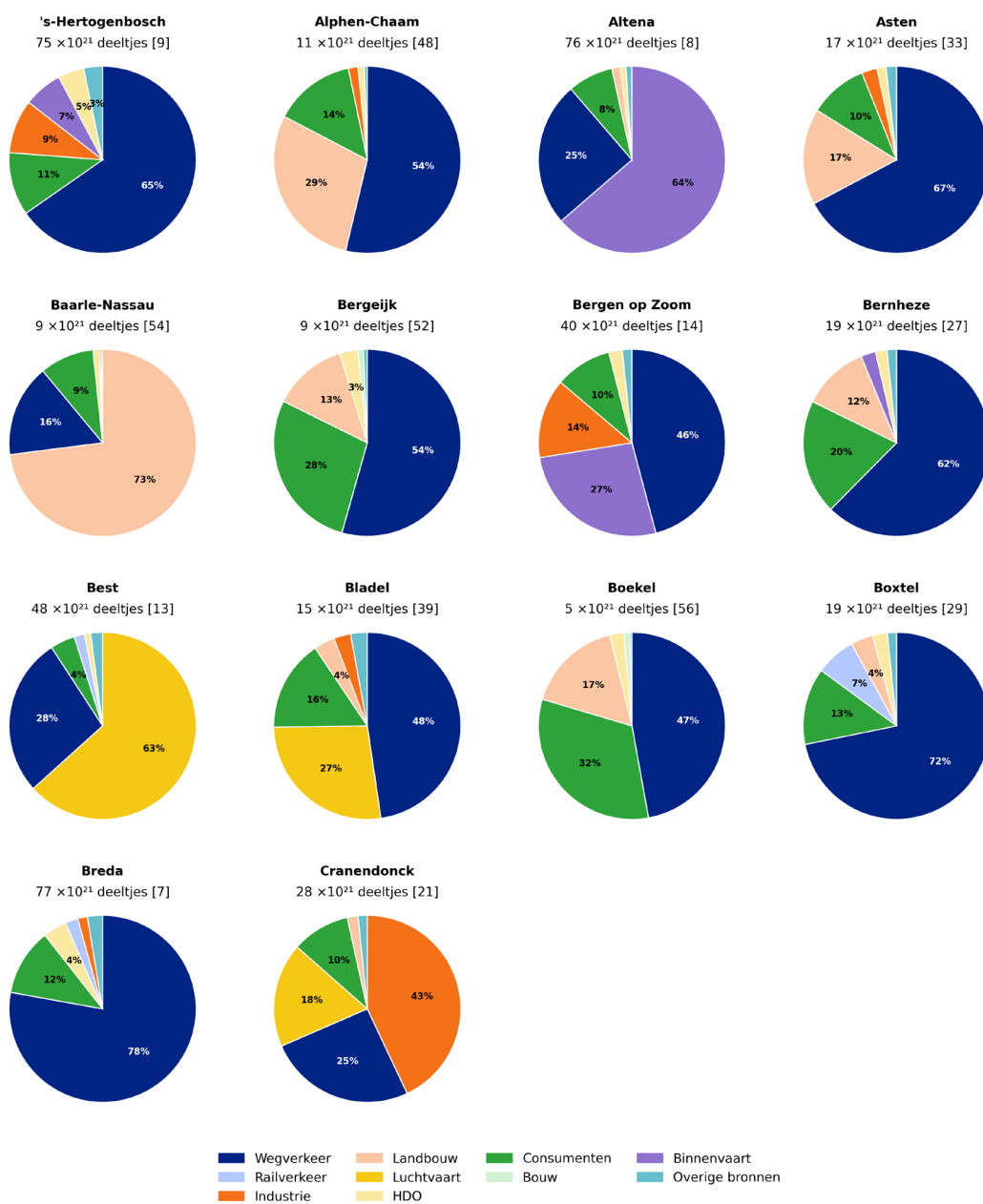
Er zijn enkele emissiefactoren voor biogas-aangedreven motoren gepubliceerd³² waaruit bleek dat in ieder geval tot 140 ppm H₂S geen significante zwavelzuur nucleatie op leek te treden. Vooralsnog wordt aangenomen dat dit ook geldt voor biogas met 600 ppm H₂S.

Bijlage B. Ultrafijnstof-bronbijdragen per gemeente

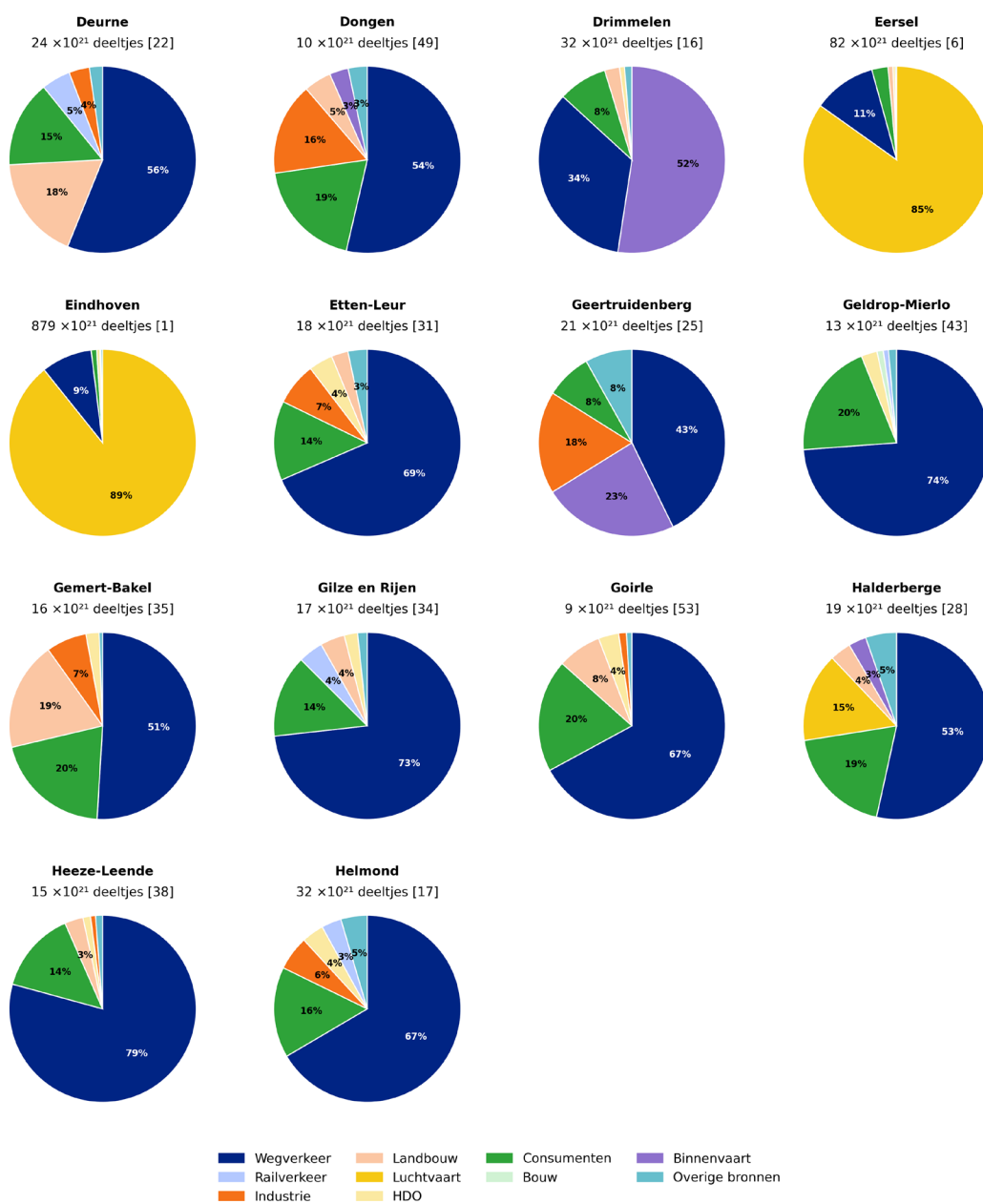
Hieronder is per gemeente de totale uitstoot van ultrafijnstof weergegeven, en de bijdrage van de verschillende bronnen hieraan. De 56 gemeenten zijn in alfabetische volgorde weergegeven. Het getal tussen haakjes achter de uitstoot van ultrafijnstof geeft de rangorde van deze gemeente op basis van de uitstoot weer. HDO staat voor Handel, Diensten en Overheid.



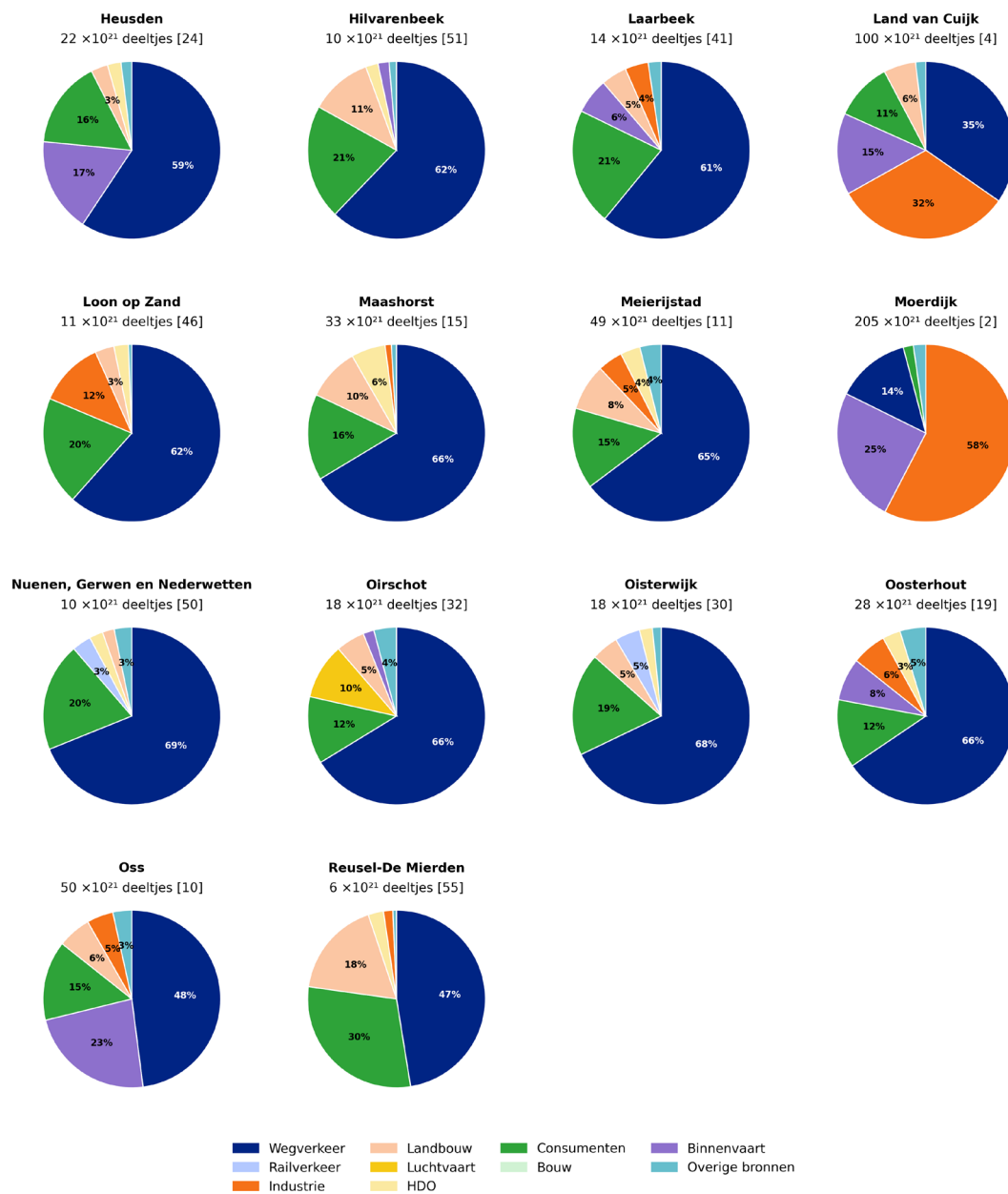
Uitstoot van ultrafijnstof per bron per gemeente in Noord-Brabant



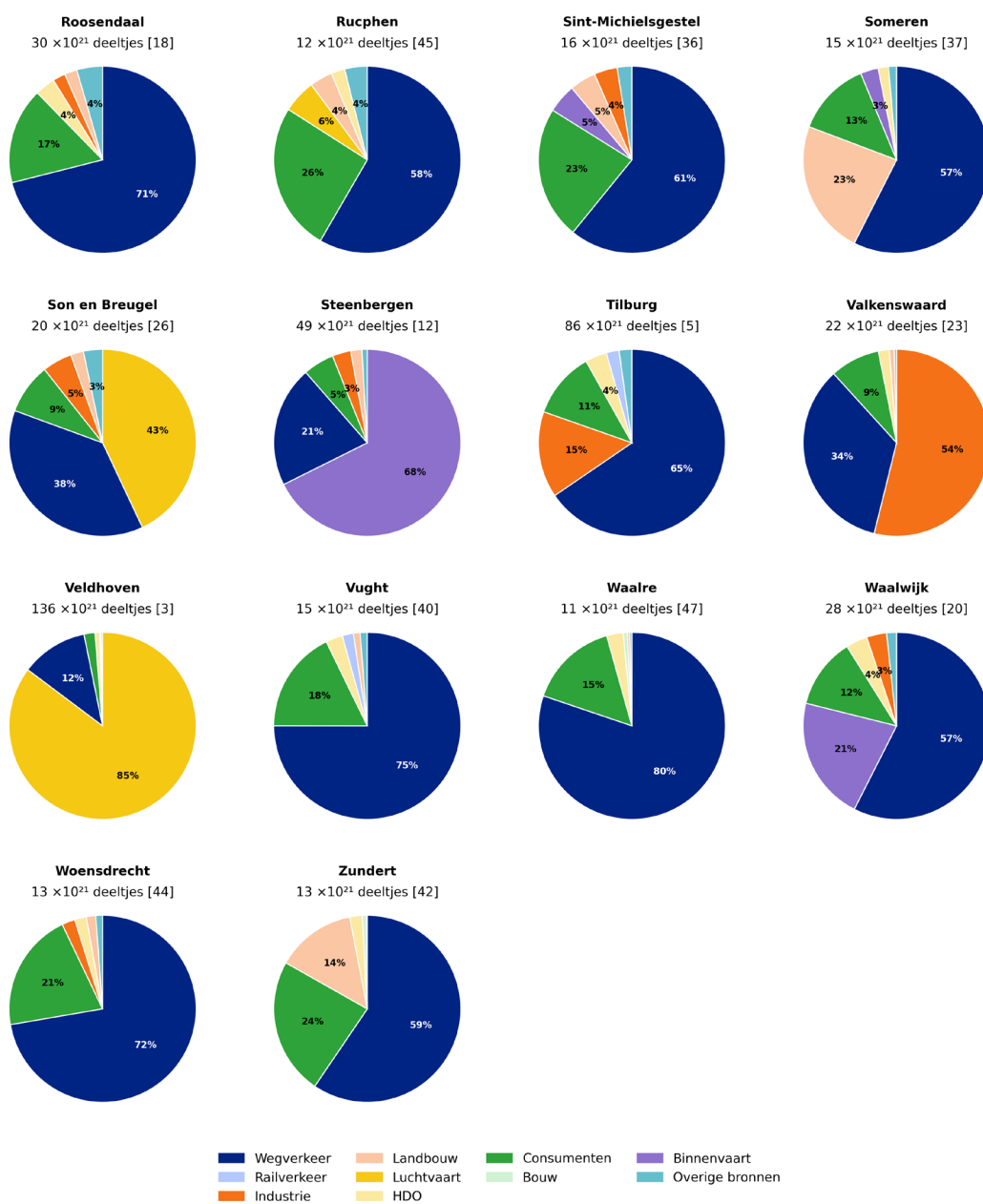
Uitstoot van ultrafijnstof per bron per gemeente in Noord-Brabant



Uitstoot van ultrafijnstof per bron per gemeente in Noord-Brabant



Uitstoot van ultrafijnstof per bron per gemeente in Noord-Brabant



Energy & Materials Transition

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
www.tno.nl