

DE ECONOMISCHE KOST VAN LOKALE LUCHTVERONTREINIGING IN VLAANDEREN

“DE IMPACT VAN PM2.5”

Aantal woorden / Word count: 19 925

Lindsey Pauwels

Stamnummer / student number : 000140118419

Promotor / supervisor: Prof. Dr. Johan Albrecht

Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van:
Master's Dissertation submitted to obtain the degree of:

Master in Business Engineering: Operations Management

Academiejaar / Academic year: 2018-2019

PERMISSION

Ondergetekende verklaart dat de inhoud van deze masterproef mag geraadpleegd en/of gereproduceerd worden, mits bronvermelding.

Lindsey Pauwels

De masterproef, de apotheose van de masteropleiding, het sluitstuk van een vijfjarig traject van zelfontwikkeling. Het is een unieke kans om na jaren van studeren stukjes kennis bij elkaar te puzzelen, over de muur van de academische wereld te mogen piepen en een echt eigen onderzoek samen te stellen. Ik zou kunnen zeggen dat het een hobbelig parcours was. Maar eerlijk is eerlijk, de term hobbelig parcours is een understatement. Dit werk was een rollercoaster van gevoelens, diepe dalen en hoge pieken. Want waarom kiest een afstuderend handelsingenieur überhaupt voor een algemeen economisch getint onderwerp? Eenvoudig is anders.

Aan de vooravond van een hopelijk bloeiende carrière moet je eerlijk durven zijn met jezelf. Ik ben meer dan studente handelsingenieur, meer dan een passie voor operationeel management, meer dan mijn positieve ingesteldheid en dus mocht het voor mijn thesis ook wel wat meer zijn. Het onderwerp "De economische kost van lokale luchtverontreiniging in Vlaanderen" steunt op de basis van mijn diepgaande interesse voor alles wat te maken heeft met milieu, klimaat en gezondheid met als grootste uitdaging mijn beperkte economische kennis.

Steeds kon ik op de steun en ervaring van anderen rekenen om dit tekort aan te vullen en me op te peppen in tijden van thesiscrisis, waarvoor mijn welgemeende dank.

In de eerste plaats wil ik mijn supervisors, Johan Albrecht en Désirée Vandenberghe, bedanken. Bedankt om me de kans te geven dit onderwerp op te nemen, toekomstperspectief te bieden en de grove lijnen uit te stippelen. Zonder jullie expertise zou ik ongetwijfeld verdwaald zijn in de donkere, diepe krochten van luchtverontreinigingsonderzoek en alles wat daarbij komt kijken.

Ook mijn collega-handelsingenieurs bleken een enorme steun het voorbije academiejaar. Het spreekwoord "gedeelde smart is halve smart" was nooit eerder zo realistisch.

De grootste bedanking gaat tenslotte naar de twee personen die er niet alleen de laatste vijf jaar voor mij waren, maar er altijd voor mij geweest zijn, mijn ouders. Oprecht bedankt voor het goedbedoelde advies, wetende dat ik toch mijn eigen zin zou doen. Oprecht bedankt voor de financiële en morele steun die ik nodig had op

lastige momenten. Oprecht bedankt om gelukkig te zijn voor mij wanneer ik gelukkig ben. Ik doe dit voor mezelf, maar jullie trots maken, is de kers op de taart.

Vrienden, familie en netwerk, dit is het dan. Deze bezige, enthousiaste bij heeft genoeg geschreven. Het is tijd voor haar om de wandelgangen van de faculteit economie en bedrijfskunde te verlaten. Spoedig stapt ze vastbesloten op de trein van het werkleven met een rugzak vol mooie herinneringen. Gent, het ga je goed.

INHOUDSOPGAVE

MASTERPROEF VOORGEDRAGEN TOT HET BEKOMEN VAN DE GRAAD VAN:	1
MASTER'S DISSERTATION SUBMITTED TO OBTAIN THE DEGREE OF:	1
WOORD VOORAF	IV
LIJST VAN GEBRUIKTE AFKORTINGEN	IX
LIJST VAN TABELLEN	XI
LIJST VAN FIGUREN	XII
LIJST VAN AFBEELDINGEN	XIII
INLEIDING	1
1. DE SAMENSTELLING VAN LUCHTVERVUILING	5
1.1. FIJN STOF	5
1.2. OZON	6
1.3. STIKSTOFDIOXIDEN (NO _x)	6
1.4. POLYCYCLISCHE AROMATISCHE KOOLWATERSTOFFEN (PAK)	6
1.5. VLUCHTIGE ORGANISCHE STOFFEN (VOS)	6
1.6. KOOLSTOFMONOXIDE	7
1.7. ZWAVELDIOXIDE (SO ₂)	7
1.8. ZWARE METALEN	7
1.9. DIOXINES EN POLYCHLOORBIFENYLEN (PCBS)	7
2. WETGEVING	9
2.1. WGO-ADVIESWAARDEN	10
2.2. EU-GRENSWAARDEN	11
2.3. VLAAMSE WETGEVING	11
3. BRONNEN VAN LUCHTVERVUILING	13
3.1. LOKAAL EN BUITENLANDS AANDEEL VAN LUCHTVERONTREINIGING	13
3.2. BRONNEN VAN LUCHTVERONTREINIGING	14
3.2.1. HUISHOUDENS	16
3.2.2. VERKEER	17
3.2.3. INDUSTRIE	17
4. ASSUMPTIES	21

5.	<u>METHODOLOGIE</u>	<u>23</u>
5.1.	ECONOMISCHE ACTIVITEIT	24
5.2.	EMISSIONS	26
5.3.	CONCENTRATIES	26
5.3.1.	RIO-INTERPOLATIETECHNIEK	27
5.3.2.	IFDM	30
5.3.3.	OSPM	30
5.4.	BIOFYSIOLOGISCHE IMPACT	32
5.4.1.	IMPACT OP DE ARBEIDSPRODUCTIVITEIT	32
5.4.2.	IMPACT OP DE LANDBOUW	33
5.4.3.	IMPACT OP ECOSYSTEMEN	35
5.4.4.	IMPACT OP MATERIALEN	35
5.4.5.	IMPACT OP DE GEZONDHEID	37
5.5.	ECONOMISCHE KOST	49
6.	<u>BEREKENING VAN DE ECONOMISCHE KOST</u>	<u>53</u>
6.1.	DE ECONOMISCHE KOST VAN HET VERLIES AAN ARBEIDSPRODUCTIVITEIT	53
6.2.	DE ECONOMISCHE KOST VAN DE MATERIAALIMPACT	54
6.3.	DE ECONOMISCHE KOST VAN DE GEZONDHEIDSImpact	55
6.3.1.	MARKTKOSTEN	55
6.3.2.	NIET-MARKTKOSTEN	62
6.4.	TERUGKOPPELING	65
6.5.	BEPERKINGEN	67
7.	<u>AANBEVELINGEN</u>	<u>69</u>
	<u>ALGEMEEN BESLUIT</u>	<u>73</u>
	<u>REFERENTIES</u>	<u>75</u>
	<u>BIJLAGEN</u>	<u>79</u>
1.	ADVIESWAARDEN WGO	79
2.	EU-GRENSSWAARDEN	79
3.	GRENSSWAARDEN TER BESCHERMING VAN DE VEGETATIE	80
4.	TSP-EMISSIONS VLAANDEREN PER SECTOR, 2016	80
5.	PM10-EMISSIONS VLAANDEREN PER SECTOR 2016	81
6.	PM2.5-EMISSIONS VLAANDEREN PER SECTOR, 2000-2016	82
7.	EMISSIONS HUISHOUDENS (GEBOUWENVERWARMING), VLAANDEREN, 2000-2016	83
8.	AANDEEL BRANDSTOFSOORT (IN TON) IN GEBOUWENVERWARMING, VLAANDEREN, 2016	84
9.	VERZURENDE STOFFEN IN DE INDUSTRIE (IN TON), VLAANDEREN, 2008-2016	84
10.	METHODOLOGIE GAINS-MODEL	85

11.	MEETPLAATSEN IN VLAANDEREN	86
12.	RIO-CLASSIFICATIES.....	89
13.	GEMIDDELDE JAARCONCENTRATIES PER VLAAMS MEETSTATION, 2017	90
14.	INSTELLINGEN GBD COMPARE TOOL	92

LIJST VAN GEBRUIKTE AFKORTINGEN

AQG	Air Quality Guidelines
BBP	Bruto Binnenlands Product
CLC	CORINE land cover
COI	Cost Of Illness
DALY	Disability adjusted life years
EEAQD	European Ambient Air Quality Directives
EEA	European Environment Agency
FOD	Federale overheidsdienst
GAINS	Greenhouse gas – Air pollution Interactions and Synergies
GBD	Global Burden of Disease
GBI	Gemiddelde blootstellingsindex
GG	Gigagram
IARC	International Agency for Research on Cancer
IIASA	Internationaal Instituut voor Toegepaste Systemanalyse
IRCEL	Intergewestelijke Cel voor Leefmilieu
LEZ	Lage emissiezone
LNE	Leefmilieu, natuur en energie
MIRA	Milieurapport Vlaanderen
NEC	National Emission Ceiling
NMVOS	Niet-methaan vluchtige organische stoffen
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
OESO	Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling
PM	Particulate Matter
ppb	Parts per billion
PPT	Pollution Terms of Trade
RAD	Restricted activity days
SDG	Sustainable Development Goal
TSP	Total suspended particles

VITO Vlaams Instituut voor Technologisch Onderzoek

VLAREM Vlaamse Reglement betreffende de Milieuvergunning

VMM Vlaamse Milieumaatschappij

VSL Value of a Statistical Life

WGO Wereldgezondheidsorganisatie

WHO World Health Organisation

WLD Work loss days

WTP Willingness to pay

YLD Years lived with disability

YLL Years of life lost

LIJST VAN TABELLEN

TABEL 1 BUITENLANDS AANDEEL VLAAMSE LUCHTVERONTREINIGING	14
TABEL 2 BRONNEN VAN PM2.5 NAAR SECTOR, IN TON EN RELATIEF AANDEEL, 2016	20
TABEL 3 EMISSIES PM2.5 NAAR SECTOR IN TON EN RELATIEF AANDEEL, VLAANDEREN, 2016	25
TABEL 4 GEMIDDELDE PM2.5-CONCENTRATIEWAARDEN, VLAANDEREN, 2017	31
TABEL 5 MORTALITEITSEFFECT PER 10 MG/M3 TOENAME IN FIJN STOF.	39
TABEL 6 EFFECT OP HOSPITAALOPNAMEN PER 10 MG/M3 TOENAME IN FIJN STOF.	40
TABEL 7 MORTALITEITSCIJFERS IN BELGIË EN DE GEWESTEN, 2016	43
TABEL 8 INVLOED VAN FIJN STOF OP MORTALITEIT, 2017, ALLE LEEFTIJDEN, BEIDE GESLACHTEN	43
TABEL 9 INVLOED VAN FIJN STOF OP VERLOREN LEVENSIJAREN (YLL), 2017, ALLE LEEFTIJDEN, BEIDE GESLACHTEN	45
TABEL 10 INVLOED VAN FIJN STOF OP ZIEKTEJAAREQUIVALENTEN (YLD), 2017, ALLE LEEFTIJDEN, BEIDE GESLACHTEN	46
TABEL 11 INVLOED VAN FIJN STOF OP DE ZIEKTELAST (DALY), 2017, ALLE LEEFTIJDEN, BEIDE GESLACHTEN	47
TABEL 12 INVLOED VAN FIJN STOF OP VLAAMSE DALYS, 2016	48
TABEL 13 IMPACT PM2.5 OP DALYS, YLDS EN YLLS, VLAANDEREN, 2017	49
TABEL 14 BEREKENING GEZONDHEIDSKOST PM2.5, DIRECTE MARKTKOST, VLAANDEREN	56
TABEL 15 BEREKENING GEZONDHEIDSKOST PM2.5, INDIRECTE MARKTKOST, VLAANDEREN	58
TABEL 16 STRESSOREN EN EINDPUNTEN VOOR INSCHATTING TOTALE MARKTKOST	59
TABEL 17 ECONOMISCHE NIET-MARKTKOST YLL VLAANDEREN, 2017	63
TABEL 18 ECONOMISCHE NIET-MARKTKOST YLD, 2017	63
TABEL 19 SAMENVATTING, ECONOMISCHE KOST PM2.5-IMPACT IN VLAANDEREN	64
TABEL 20 ECONOMISCHE KOST PER SECTOR	66
TABEL 21 WGO-ADVIESWAARDEN	79
TABEL 22 EU-GRENSWAARDEN	79
TABEL 23 EU-GRENSWAARDEN TER BESCHERMING VAN DE VEGETATIE	80
TABEL 24 PM2.5-EMISSIES, VLAANDEREN, PER SECTOR, 2000-2016	82
TABEL 25 EVOLUTIE HUISHOUDENSEMISSIES, 2000-2016, VLAANDEREN	83
TABEL 26 AANDEEL BRANDSTOFSOORT IN EMISSIES HUISHOUDENS (GEBOUWENVERWARMING), VLAANDEREN, 2016	84
TABEL 27 VERZURENDE STOFFEN IN DE INDUSTRIE (IN TON), VLAANDEREN, 2008-2016	84
TABEL 28 MEETPLAATSEN IN VLAANDEREN	88
TABEL 29 BESCHRIJVING EN SAMENSTELLING RIO-CLASSIFICATIES	89
TABEL 30 GEMIDDELDE JAARCONCENTRATIES PER VLAAMS MEETSTATION, PM10 EN PM2.5, 2017	91

LIJST VAN FIGUREN

FIGUUR 1 SECTORAANDEEL PM2.5-EMISSIES IN VLAANDEREN, 2016	15
FIGUUR 2 PM2.5 UIT VERBRANDINGSPROCESSEN IN DE INDUSTRIE, VLAANDEREN, 2016	18
FIGUUR 3 PM2.5 UIT INDUSTRIËLE PROCESSEN IN DE INDUSTRIE, VLAANDEREN, 2016	18
FIGUUR 4 5-STAPPENPLAN VAN DE OESO, 2016	24
FIGUUR 5 SECTORAANDEEL TSP-EMISSIES IN VLAANDEREN, 2016	80
FIGUUR 6 SECTORAANDEEL PM10-EMISSIES IN VLAANDEREN, 2016	81
FIGUUR 7 EVOLUTIE HUISHOUDENSEMISSIES, 2000-2016, VLAANDEREN	83

LIJST VAN AFBEELDINGEN

AFBEELDING 1 B-LANDINVULLINGSINDICATIEKAARTEN VOOR BELGIË PER POLLUENT. LINKS: O3, MIDDEN: NO2, RECHTS: PM10.	29
AFBEELDING 2 PM2.5 ATMO-STREET MODEL, VLAANDEREN, 2017	31
AFBEELDING 3 INSTELLINGEN GBD COMPARE TOOL, YLD	92
AFBEELDING 4 INSTELLINGEN GBD COMPARE TOOL, DEATHS	92
AFBEELDING 5 INSTELLINGEN GBD COMPARE TOOL, DALY	93
AFBEELDING 6 INSTELLINGEN GBD COMPARE TOOL, #YLD	93
AFBEELDING 7 INSTELLINGEN GBD COMPARE TOOL, #DALY	94
AFBEELDING 8 INSTELLINGEN GBD COMPARE TOOL, #YLL	94

INLEIDING

Luchtvervuiling is een problematiek op globaal niveau met een enorme impact op de samenleving zowel op vlak van economie, leefmilieu als gezondheid. Wereldwijde emissies en concentraties zijn de voorbije decennia toegenomen of afgenomen afhankelijk van de bron, luchtvervuilingspolluent en methodologie die in rekening worden genomen. Small en Kazimi gaven reeds in 1995 een minutieuze en uitermate relevante beschrijving van de eigenlijke opzet van deze masterproef:

A pollutant emitted into the atmosphere changes the spatial and temporal patterns of ambient concentrations of that pollutant and perhaps others. These patterns are determined by atmospheric conditions, topographical features and the presence of other natural or man-made chemicals in the air. The resulting ambient concentration then interact with people, buildings, plants and animals in a way that depends on their locations and activity levels. The results may be physical and/or psychological effects: coughing, erosion of stone, retarded plant growth, injury to young, loss of pleasurable views, and so forth. Finally, these effects have an economic value. (Small & Kazimi, 1995, p.14)

Small & Kazimi (1995) vermelden de economische waarde of economische kost zonder meer. Het is niettemin van belang om een onderscheid te maken tussen markt en niet-marktkosten, en directe en niet-directe kosten. De totale kost van luchtverontreiniging kan opgesplitst worden volgens onderstaand schema (EEA, 2018):

Niet-marktkosten:

- Morbiditeit
- Mortaliteit

Marktkosten:

- Impact op gezondheid
- Impact op arbeidsproductiviteit
- Impact op landbouw
- Impact op ecosystemen
- Impact op materialen

Marktkosten zijn die kosten met een rechtstreeks effect op de economische activiteit gemeten in absolute monetaire waarde of als percentage van het BBP. Lagere

gewasopbrengsten hebben bijvoorbeeld een rechtstreeks effect op de landbouwomzet. Niet-marktkosten bevatten de gemonetariseerde impact van mortaliteit en morbiditeit.

De OESO (2016) splitst de marktimpact op in drie grote pijlers. Ten eerste de extra gezondheidsuitgaven die toe te schrijven zijn aan luchtverontreiniging. Denk maar aan additionele ziekenhuisopnames, het nemen van medicatie enzoverder. Ten tweede het verlies aan arbeidsproductiviteit. En tenslotte verminderde landbouwopbrengsten. Elke marktkost heeft mogelijk een directe en een indirecte component. Directe kosten zijn rechtstreeks toewijsbaar aan de kostendrager. Verminderde gewasopbrengsten leiden bijvoorbeeld direct tot lagere landbouwomzet. Daarnaast kunnen lagere gewasopbrengsten ook leiden tot substitutie effecten met toenemende vraag voor andere gewassen. Dit zijn indirecte impacten.

Luchtvervuiling wordt aanzien als de tweede grootste milieubedreiging na klimaatverandering. De Europese burger stelt dat het de rol is van de overheidsinstellingen om effectieve regelgeving te implementeren. (European Commission, 2017)

Vooraleer regelgeving uit te werken dient luchtvervuiling (de oorzaken, maar ook de effecten en uiteindelijk de economische kost) zorgvuldig in kaart gebracht te worden. Deze taak werd reeds op verschillende fronten verricht en in wat volgt zal een uiteenzetting gegeven worden van de resultaten. Bovendien zal er getracht worden om deze resultaten op Vlaams niveau te berekenen en weer te geven.

Een goede referentie zijn de publicaties van de Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling. Deze schat dat de marktimpact van luchtverontreiniging tegen 2060 zal neerkomen op 390 miljard USD, ofwel 270 USD per capita voor OESO-landen. De niet-marktimpact geschat voor 2060 ligt met 2 610 – 2 680 USD per capita een stuk hoger met meer dan 90% hiervan te wijten aan welvaartsverlies uit vroegtijdige mortaliteit. (OESO, 2016)

Milieurapport Vlaanderen schatte in 2012 de ziektelast en de daarmee verbonden economische kost voor fijn stof dan weer op € 3,4 miljard. Met 6,516 miljoen inwoners in Vlaanderen betekent dit € 521 per capita. Dit zou dan enkel de Vlaamse niet-marktimpact zijn. De OESO (2016) berekende dit dan weer voor alle pollutanten, niet alleen fijn stof, voor 2015 en publiceert 1 210 USD per capita. Uit deze resultaten kan men concluderen dat cijfers nietszeggend zijn indien geen inzicht wordt verkregen in de aangewende berekeningswijze. De belangrijkste vereiste is kennis te hebben van

de concentratie-respons of blootstelling-effect relatie van een pollutent voor alle economische effecten die opgenomen worden voor de berekening van de economische kost, omdat op die manier cijfers begrepen kunnen worden. Hier leggen we in de volgende hoofdstukken ook de nadruk op.

Allereerst wordt in deze masterproef een overzicht gegeven van de samenstelling van luchtverontreiniging. De verschillende pollutenten worden besproken om vervolgens een inzicht te verkrijgen in de wetgeving. Is alle luchtverontreiniging onwenselijk? Bestaan er bepaalde drempelwaarden? En indien deze drempelwaarden bestaan, door wie worden deze dan bepaald? Dit zijn enkele vragen waarop in volgende hoofdstukken een antwoord wordt geformuleerd. De economische kost van lokale luchtvervuiling is een interessant gegeven. Nog interessanter is te weten aan welke sectoren dit kostenplaatje kan toegeschreven worden. De meerderheid van de kosten die besproken worden zijn namelijk externe kosten. "Externe kosten zijn kosten die normaal gesproken bedrijfseconomisch niet mee worden genomen in de kostprijsberekening. De externe kosten komen normaal gesproken voor rekening van de samenleving." (Bencom, sd)

Externe kosten internaliseren, betekent dat de kosten niet langer voor rekening van de samenleving zijn, maar worden doorgerekend in de marktprijs. Daarom is het dus interessant om een opsplitsing te bekomen per sector.

Alvorens een duidelijke methodologie naar voren te schuiven, maken we enkele assumpties (hoofdstuk 4), zoals de nadruk op PM2.5 en meest recente data. Een goede studie is duidelijk afgebakend. Anno 2019 is er reeds veel onderzoek verricht op allerhande luchtvervuilingsterreinen, maar de beschikbare data is niet exhaustief. Idealiter bestaat Vlaamse data. Indien deze niet beschikbaar is, wordt andere kwalitatieve data geïnterpoleerd voor Vlaanderen. Op andere domeinen staat onderzoek nog in zijn kinderschoenen, dan wordt er duidelijk aangegeven dat dit niet wordt opgenomen in dit werk, mogelijks wel interessant is voor toekomstige uitbreidende analyse.

De hoofdbrok van deze dissertatie bestaat uit de beschrijving en toepassing van methodologieën voor Vlaamse data. De Vlaamse economische activiteit wordt in kaart gebracht. Hieraan worden emissies en vervolgens concentraties verbonden om daarna de impactanalyse uit te voeren. De impact situeert zich op vijf vlakken;

arbeidsproductiviteit, landbouw, ecosystemen, materialen en gezondheid waarvan deze laatste de voornaamste is.

De methodologie vraagt uiteindelijk naar een economische kostprijs, die ondermeer bepaald kan worden via een VSL-analyse, per impactcategorie die dan gesommeerd worden. Het uiteindelijke doel is het verkrijgen van een gemiddelde jaarlijkse economische kostprijs voor de impact van PM2.5 voor Vlaanderen.

1. DE SAMENSTELLING VAN LUCHTVERVUILING

De EEA, European Environment Agency, schuift luchtverontreiniging naar voren als een samenstelling van fijn stof, ozon, NO_x, benzo(a)pyreen en andere pollutanten waaronder zwaveldioxide, koolstofmonoxide, benzeen en andere toxische metalen. (EEA, 2018)

1.1. FIJN STOF

Fijn stof is een verzameling van zeer kleine deeltjes, zowel vloeibaar als vast, die aanwezig zijn in de lucht. Er wordt een opsplitsing gemaakt tussen PM10 en PM2.5, deeltjes met een aerodynamische diameter kleiner dan 10 micrometer en 2.5 micrometer respectievelijk. De aerodynamische diameter wordt gedefinieerd als de diameter van een sferisch deeltje met de densiteit van water dat in de omgevingslucht hetzelfde gedrag vertoont als het beschouwde deeltje. (Irceline, sd)

Een tweede opsplitsing wordt gemaakt tussen primair en secundair fijn stof. Wanneer fijn stof rechtstreeks in de atmosfeer terecht komt, spreekt men van primair fijn stof. Dit is bijvoorbeeld het geval bij mechanische verwerking in de metaalindustrie. Secundair fijn stof daarentegen ontstaat uit een chemische reactie in de atmosfeer van andere pollutanten. NH₃, SO₂ en NO_x is een voorbeeld van een samenstelling van precursoren die in de juiste omstandigheden leiden tot de vorming van secundair fijn stof. Naar onderzoek van de Vlaamse Milieumaatschappij, VMM, bedraagt de secundaire anorganische fractie 40% van de totale Vlaamse PM10 massa. (Irceline, sd)

De VMM doelt met haar CHEMKAR-projecten op het in kaart brengen van de chemische karakterisering van fijn stof. Volgens de laatste resultaten ziet de gemiddelde Vlaamse samenstelling er als volgt uit: secundaire anorganische ionen (30-40%), organische deeltjes (20%), mineraal stof (10-20%), zeezout (10%), elementaire of zwarte koolstof (5-10%) en een deel nog verder te onderzoeken massa die grotendeels uit water gebonden aan de fijne deeltjes zou bestaan. (Vlaamse Milieumaatschappij, sd)

1.2. OZON

Ozon is een sterk oxiderend pollutant die niet rechtstreeks wordt uitgestoten, wel een stof die ontstaat uit de reactie van een verzameling aan gassen onder invloed van zonlicht. (Vlaamse Milieumaatschappij, sd)

1.3. STIKSTOFOXIDEN (NO_x)

Stikstofoxiden zijn gassen bestaande uit de combinatie van zuurstof en stikstof. Ze ontstaan bij het verbrandingsproces en spelen onder meer een rol als precursor in de vorming van ozon. Zowel verkeer, agricultuur als industrie zijn belangrijke bronnen van NO_x. (Vlaamse Milieumaatschappij, sd)

1.4. POLYCYCLISCHE AROMATISCHE KOOLWATERSTOFFEN (PAK)

Bij de verbranding van fossiele brandstoffen of biomassa ontstaat een chemische structuur van cirkelvormige organische verbindingen, PAK. Deze koolwaterstoffen veroorzaken DNA-schade en zijn aldus in hoge mate kankerverwekkend. In de regelgeving wordt de nadruk gelegd op benzo(a)pyreen, de meest voorkomende PAK. Houtverbranding, dieselwagens, maar ook het roken van sigaretten zijn situaties waarin deze stoffen worden vrijgesteld.

1.5. VLUCHTIGE ORGANISCHE STOFFEN (VOS)

Deze stoffen zijn een chemische combinatie van koolstof- en waterstofatomen. Sommigen schadelijk voor de gezondheid, waaronder de kankerverwekkende variant benzeen, sommigen voor het milieu.

1.6. KOOLSTOFMONOXIDE

Koolstofmonoxide (CO) is een smaak-, kleur- en geurloos gas dat zijn oorsprong vindt in onvolledige verbranding, verbranding met onvoldoende zuurstof. Dit komt zelden voor buitenshuis.

1.7. ZWAVELDIOXIDE (SO₂)

Fossiele brandstoffen die zwavel bevatten geven aanleiding tot SO₂ bij verbranding. Dit is niet schadelijk voor de gezondheid, maar wel nadelig voor het leefmilieu en zorgt voor onder meer gevelaantasting door zure regen. Deze zwaveldioxidevorming is voornamelijk aanwezig in de industrie (raffinaderijen) en bij de verwarming van gebouwen.

1.8. ZWARE METALEN

Zware metalen zijn mogelijks schadelijk voor de gezondheid. Hieronder worden verstaan:

- de metalen cadmium, chroom, koper, ijzer, kwik, nikkel, mangaan, lood en zink;
- de metalloïden arseen en antimoon.

1.9. DIOXINES EN POLYCHLOORBIFENYLEN (PCBS)

Chloorbevattend organisch materiaal dat met een tekort aan zuurstof verbrand wordt, creëert giftige stoffen schadelijk voor de gezondheid. PCBs hebben een gelijkaardig effect. Ze worden opgenomen in het lichaam via voeding en water.

2. WETGEVING

De samenstelling van luchtverontreiniging is een eerste stap in het begrijpen van het onderwerp 'De economische kost van lokale luchtvervuiling'. Het volgende luik is begrijpen wat als 'te veel' wordt beschouwd. Is alle luchtverontreiniging onwenselijk of bestaan er bepaalde grenswaarden die als veilig of normaal worden beschouwd?

De wetgeving bestaat op verschillende niveaus en kan vanuit verschillende perspectieven bepaald worden. Zo staat de verbetering van de luchtkwaliteit centraal in het milieubeleid van de Europese Unie. Gecontroleerde emissies, betere brandstofkwaliteit en een geïntegreerde milieulegislatie in de transport-, energie- en industriële sector werden de laatste decennia doorgevoerd. (EEA, 2018) Dit Europees milieubeleid steunt op 3 pilaren:

1. Ambient Air Quality Standards

Deze standaarden, bepaald in de *Ambient Air Quality Directives* (EU, 2004; EU, 2008), verplichten de lidstaten om luchtkwaliteitsplannen te implementeren en grenswaarden te behalen om het milieu en de algemene gezondheid te vrijwaren. (EEA, 2018)

2. Nationale emissiedoelstellingen

Doelstellingen ingericht in de *National Emission Ceiling (NEC) Directive* (EU, 2016) die de lidstaten verplichten tegen 2019 een functioneel nationaal controlebeleid te voeren teneinde de emissiereductieverplichtingen te behalen.

3. Emissie- en energie-efficiëntiestandaarden voor specifieke luchtvervuilingsbronnen

Deze specifieke standaarden, opgenomen in de EU-wetgeving, doelen op een niet-exhaustieve lijst van emissies in de industrie, energiesector, transport en andere bedrijfstakken.¹

¹ Voor meer informatie omtrent specifieke EU-wetgeving kan u terecht op <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html?locale=nl>

Het ultieme doel van het EU-luchtkwaliteitsbeleid is het behalen van een luchtkwaliteitssituatie die geen significant negatieve impact heeft op het milieu en geen gezondheidsrisico inhoudt voor de populatie. Dit laatste aspect, het gezondheidsaspect, van dit EU-doel is vertaald in de WGO-advieswaarden. (Schneider, Nagl, & Read, 2014)

2.1. WGO-ADVIESWAARDEN

De Wereldgezondheidsorganisatie (WGO) ontwikkelt advieswaarden voor polluenten waarbij de institutie zich laat leiden door het nieuwste wetenschappelijk onderzoek. De advieswaarden bieden een basis voor het beschermen van de volksgezondheid tegen schadelijke bijwerkingen van luchtpolluenten. Tevens dienen ze als leidraad binnen risicoanalyses en beleidsbesluiten. (WGO, 2006)

De institutie identificeert een vervuilingsniveau, een strikte grens voor verscheidene polluenten, waaronder geen significant risico voor volksgezondheid meer kan waargenomen worden. In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven. De *Air Quality Guidelines* van de WGO specificeren advieswaarden² (bijlage 1) voor zeven luchtpolluenten: Fijn stof (PM), Ozon (O₃), Stikstof (NO₂), Zwaveldioxide (SO₂), Koolstofmonoxide (CO), Lood (Pb) en Cadmium (Cd). (WGO, 2006; EEA, 2018)

Voor PM_{2.5} komen deze advieswaarden neer op 10 µg/m³ (jaargemiddelde) en 25 µg/m³ (daggemiddelde).

Bovenop de WGO-advieswaarden, bestaan er ook interimdoelstellingen³ voor elke polluent. Deze worden aanzien als incrementele streefdoelen om luchtvervuiling efficiënt aan te pakken, vooral in sterk vervuilde regio's. Acute en chronische gezondheidsrisico's dalen significant bij het behalen van een interimwaarde.

² De advieswaarden worden gereviseerd. Een nieuwe publicatie wordt verwacht in 2020. (WGO, 2018)

³ De interimwaarden worden niet meegegeven, aangezien alle WGO-waarden onder revisie zijn en nieuwe doelstellingen, onder alle waarschijnlijkheid, gepubliceerd worden in 2020. (WGO, 2018)

Desondanks moet het op termijn steeds de bedoeling zijn om de advieswaarden te bereiken. (WGO, 2006)

2.2. EU-GRENSWAARDEN

Bijlage 2 geeft een overzicht van de meest recente EU-grenswaarden waaraan de lidstaten moeten voldoen. (EEA, 2018)

Bovenop de *EU Ambient Air Quality Directives* bestaan er extra grenswaarden die specifiek focussen op de bescherming van gewassen. (EEA, 2018) Deze waarden zijn terug te vinden in bijlage 3.

Nationale grenswaarden zijn het resultaat van een nauwkeurige evenwichtsoefening tussen het beschermen van de nationale volksgezondheid, technologische haalbaarheid, economische overwegingen en uiteenlopende politieke en sociale factoren die onder andere afhangen van het nationale ontwikkelingsniveau en de bekwaamheid van het land in luchtkwaliteitsbeheer. Onder alle omstandigheden moeten EU-lidstaten wel voldoen aan de EU-grenswaarden. (WGO, 2006)

Dit betekent voor PM_{2.5} voorlopig 25 µg/m³ als jaargemiddelde en 20 µg/m³ als gemiddelde blootstellingsindex (GBI). De gemiddelde blootstellingsindex is het gemiddelde over drie jaar van de gemeten PM_{2.5}-concentraties in stedelijke achtergrondstations. De GBI voor 2019 zou dus het gemiddelde zijn van de voorbije 3 jaar; 2016, 2017 en 2018, waarbij pas op het einde wordt afgerond. (IRCEL, sd)

2.3. VLAAMSE WETGEVING

Het Luchtbeleidsplan 2030 werd op 20 juli 2018 goedgekeurd door de Vlaamse Regering. Inhoudelijk biedt dit plan doelstellingen op korte, middellange (tegen 2030) en lange termijn (tegen 2050) om de luchtverontreiniging in Vlaanderen aan te pakken.

Enerzijds engageert de Vlaamse Regering zich tot het halen van de Europese grenswaarden, anderzijds ook tot het bereiken van de strengere WGO-advieswaarden

wat positieve gevolgen garandeert voor de gezondheid van de bevolking. (Vlaamse Milieumaatschappij, 2018)

Tenslotte, biedt het Luchtbeleidsplan doelstellingen teneinde de draagkracht van ecosystemen niet langer te overschrijden. Dit houdt onder meer het respecteren van de emissiedrempels voor verzurende en vermestende polluenten in. (Vlaamse Milieumaatschappij, 2018)

3. BRONNEN VAN LUCHTVERVUILING

Deze dissertatie heeft als doel het in kaart brengen van de economische kost van PM2.5-impact in Vlaanderen. De focus hierbij ligt op *ambient air pollution*, dit is de luchtverontreiniging buitenshuis (zie ook Assumpties). Deze keuze is te verantwoorden aangezien de in Vlaanderen geïmplementeerde meetstations ook enkel *ambient air pollution* meten. Wel is er door deze abstractie een onderschatting van de economische kost, daar *household air pollution* bijvoorbeeld ook impact heeft op volksgezondheid, maar deze data niet meegenomen worden.

Dit hoofdstuk beschrijft de bronnen van Vlaamse luchtverontreiniging. Is alle luchtverontreiniging toe te schrijven aan lokale bronnen? Zoniet, van waar komen de vervuilende deeltjes dan wel? Welke sectoren kunnen op het einde van deze dissertatie aansprakelijk gesteld worden en in welke mate?

3.1. LOKAAL EN BUITENLANDS AANDEEL VAN LUCHTVERONTREINIGING

Polluenten resideren niet altijd op de plaats van uitstoot. Factoren zoals de fysische en chemische eigenschappen, de emissiehoogte en meteorologische omstandigheden bepalen in welke mate de polluenten zich verplaatsen in de atmosfeer. Dit resulteert in een verhouding tussen de hoeveelheid luchtverontreiniging geëxporteerd naar de omliggende landen en de hoeveelheid luchtverontreiniging geïmporteerd naar het eigen grondgebied, de export-importverhouding. (Vlaamse Overheid, Departement LNE, 2018)

De voorgaande verhouding mag niet verward worden met de *pollution terms of trade* (PTT) geïntroduceerd door Antweiler (1996). Deze term geeft een verhouding tussen de geïmporteerde en geëxporteerde milieu impact die voortkomt uit internationale handel. De luchtvervuiling is dan intrinsiek verbonden aan het productieproces (in de brede zin van het woord) van goederen die internationaal verhandeld worden, bijvoorbeeld het exporteren van oude dieselveertuigen naar Oost-Europese landen of het importeren van confectiegoederen uit Azië. (Straumann, 2003) Deze verhouding

is verder niet relevant voor de berekening van de economische kost van lokale luchtverontreiniging en zal dus niet verder beschouwd worden.

Een significant aandeel van de Vlaamse luchtverontreiniging is afkomstig van niet-Vlaamse bronnen. Vlaanderen exporteert netto meer verontreinigde lucht naar het buitenland dan het importeert. Het Departement Leefmilieu, Natuur en Energie (2018) maakte de berekening voor fijn stof (PM2.5 en PM10), NO₂ en vermestende stikstofdepositie. De weergegeven hoeveelheden zijn jaarlijkse gemiddelden over het volledige Vlaamse Gewest en kunnen dus lokaal en op bepaalde tijdstippen hoger of lager liggen. (Vlaamse Overheid, Departement LNE, 2018) Voor PM2.5 rapporteert de VMM (2018) bovendien dat Europese, niet-Vlaamse bronnen verantwoordelijk zijn voor 43%. 30% komt van buiten Europa en natuurlijke bronnen wat de Vlaamse emissies laat neerkomen op 27%. Deze resultaten liggen in lijn met onderstaande cijfers uit het luchtbeleidsplan 2030 (2018).

POLLUENT	GEMIDDELDE IMPORT VLAAMS GEWEST [%]	EXPORT- IMPORTVERHOUDING
PM10 EN PM2.5⁴	70	1,5
NO₂	35	2,9
VERMESTENDE STIKSTOFDEPOSITIE	46	3,0

Tabel 1 Buitenlands aandeel Vlaamse luchtverontreiniging

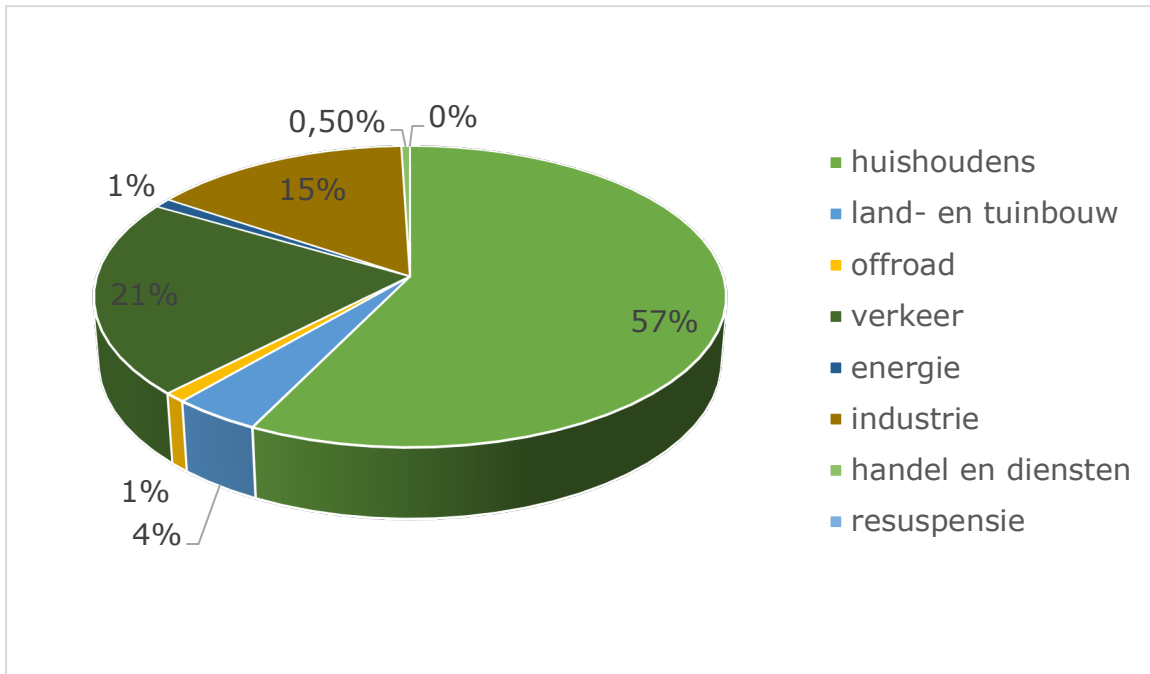
3.2. BRONNEN VAN LUCHTVERONTREINIGING

Om de Vlaamse luchtkwaliteit te verbeteren, moet je weten waar actie moet ondernomen worden en dus weten welke sectoren de emissies veroorzaken. Eens deze bronnen van luchtverontreiniging bekend zijn, zullen de uiteindelijke resultaten van deze dissertatie ook hiernaar uitgesplitst kunnen worden.

De uitstoot van pollutanten wordt toegeschreven aan een aantal maatschappelijke en industriële activiteiten in Vlaanderen. Een specifieke opdeling is afhankelijk van de gehanteerde bron. Volgens de Vlaamse Milieumaatschappij (2018) mag er uitgegaan worden van industrie en energie, gebouwenverwarming, verkeer, offroad machines,

⁴ Zowel primair als secundair fijn stof.

en land- en tuinbouw. Bovendien biedt de VMM (2018) nog een verdere opsplitsing per categorie. Het luchtbeleidsplan 2030 (2018) beperkt zich tot industrie en energie, transport, landbouw en gebouwenverwarming en baseert zich op oudere cijfers (2015) gepubliceerd door de Vlaamse Milieumaatschappij. Volgens de laatste cijfers die gevalideerd zijn door IRCEL, die van 2016, en vervolgens gecommuniceerd worden naar de Vlaamse Milieumaatschappij wordt volgend overzicht bekomen:



Figuur 1 Sectoraandeel PM2.5-emissies in Vlaanderen, 2016⁵

Resuspensie is het proces waarbij grotere luchtverontreinigingsdeeltjes door de zwaartekracht of regen neerslaan, vervolgens heropwaaien en weer in de lucht terechtkomen. (Vlaamse Milieumaatschappij, 2018) Slechts 1%-punt van de TSP-emissie in Vlaanderen (bijlage 4) is resuspensie in het wegverkeer. De overige 26% is toe te schrijven aan resuspensie door de bewerking van landbouwgronden. Resuspensie is verwaarloosbaar naarmate meer gekeken wordt naar PM10 of PM2.5 aangezien het bij resuspensie om grotere deeltjes gaat.

⁵ (Vlaamse Milieumaatschappij, 2018)

TSP, PM10 en PM2.5 zijn nauw verbonden met elkaar. De Vlaamse omgevingslucht wordt getest voor de fracties PM10 en PM2.5. Er zijn dus geen metingen voor de totale hoeveelheid fijn stof (TSP) in Vlaanderen. De berekening gebeurt met behulp van percentages uit de literatuur en historische gegevens. Hetzelfde geldt voor de hoeveelheid elementaire koolstof (EC) in de fractie PM2.5. (Vlaamse Milieumaatschappij, 2018)

Het **huishoudens**aandeel, de hoofdbron van PM2.5, bestaat voornamelijk uit gebouwenverwarming (51%), verder uit het bakken van vlees (2%), roken (2%), huis- en autobranden (3%), en overige (0,3%). **Verkeer** (21%) komt op de tweede plaats. Bijlage 6 geeft een verdere opsplitsing per sector voor PM2.5. Binnen verkeer is wegverkeer de hoofdbron. Met 15% komt **industrie** (vooral de ijzerindustrie) op de derde plaats. De top 3 wordt verder besproken.

3.2.1. HUISHOUDENS

Binnen deze emissiebron wordt de nadruk gelegd op de 51% toe te schrijven aan gebouwenverwarming. Bijlage 8 geeft de 2016-cijfers voor de emissies van EC, PM2.5, PM10 en TSP opgesplitst naar brandstofsoort.

Zowel voor TSP, PM als elementaire koolstof levert de verbranding van hout de grootste bijdrage aan de emissies voor gebouwenverwarming. Hout is met 6 304 ton verantwoordelijk voor 87% van de PM2.5-uitstoot voor gebouwenverwarming, kolen voor 11%. Aardgas, propaan-butaan-LPG en stookolie zijn van minder belang.

Het aantal gezinnen met hoofdverwarming op elektriciteit en stookolie daalde in 2016 ten opzichte van 2005 met respectievelijk 12,2% en 21%. Voor aardgas ziet men een positieve beweging met een toename van 35%, maar ook hout bleef stijgen met 34% sinds 2005. (VITO, 2017) Dit laatste heeft dan weer een negatieve impact op PM2.5-emissies.

Tenslotte beïnvloeden tal van andere factoren emissies. Bijlage 7 geeft een overzicht van de evolutie van de huishoudensemissies sinds 2000 in Vlaanderen. Op NO_x en SO₂ namen alle emissies toe sinds 2000. Factoren als het stijgende bevolkingsaantal, toenemend aantal particuliere huishoudens, kleinere woningen, bevolkingsgedrag en

Vlaamse weersomstandigheden dragen allemaal bij tot deze trend. (Vlaamse Milieumaatschappij, 2018)

3.2.2. VERKEER

De transportsector draagt vooral bij aan NO_x-emissie (rond de 60%). (Vlaamse Milieumaatschappij, 2018) Dit is het gemeenschappelijk aandeel van de subsectoren wegverkeer, spoorverkeer, binnenvaart, luchtvaart en zeescheepvaart. Naast NO_x is de transportsector uitermate belangrijk in het PM2.5-aandeel. Op basis van de cijfers in bijlage 6 is wegverkeer de PM2.5-hoofdverantwoordelijke voor de transportsector.

Men maakt een onderscheid tussen uitlaat en niet-uitlaat emissies. De uitlaatemissies en dus de verbranding van brandstoffen zijn in 2016 slechts voor ongeveer de helft verantwoordelijk voor de PM2.5 emissies van het wegverkeer. Voor TSP is dit cijfer slechts 24,8%. De overige 75,2% is toe te schrijven aan niet-uitlaatemissies, namelijk de slijtage van wegdek, banden en remmen.

Over het algemeen is er een dalende trend voor alle zwevende stofpartikels in het wegverkeer. Dit dankzij de toepassing van ingebouwde roetfilters in alle nieuwe dieselveertuigen, uitrusting van oude voertuigen met een roetfilter en innovatieve technologieën die de verbranding van diesel efficiënter maakte. Het stijgend aantal kilometers afgelegd op de Vlaamse wegen leidt tot een toename in de niet-uitlaat TSP-uitstoot in de transportsector.

3.2.3. INDUSTRIE

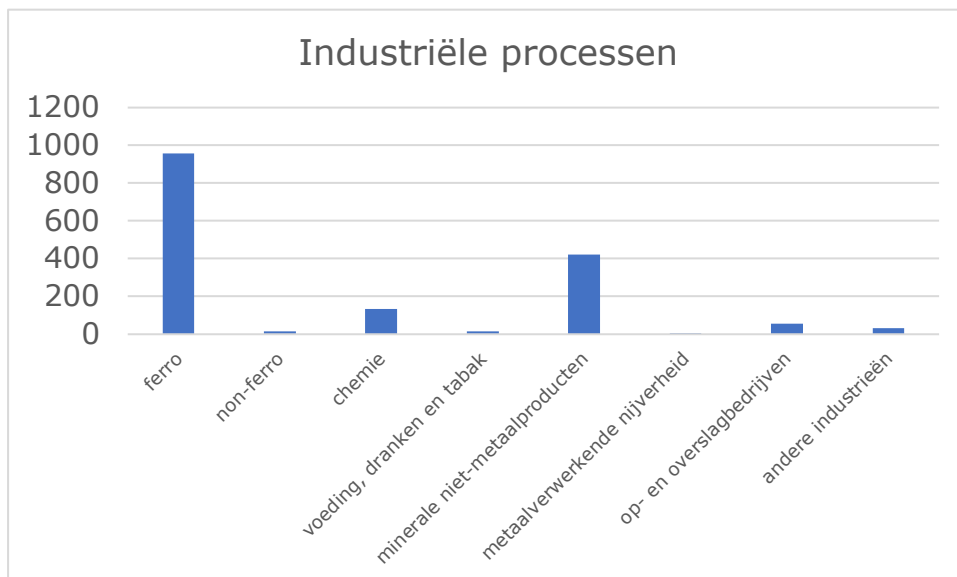
Het merendeel van de Vlaamse industriële emissies kunnen in kaart gebracht worden door de milieuverslagen van de bedrijven die onder de VLAREM-wetgeving vallen, namelijk bedrijven die een milieuvergunning kregen en aldus hun emissies moeten rapporteren. Daarnaast is er ook een bedrijvengroep die deze wetgevingsverplichting niet heeft of onder de drempelwaarde voor rapportering valt, de zogenaamde collectief geregistreerde bedrijven. Hiervoor wordt een generieke emissieberekening gedaan

met opsplitsing naar verbrandings- en procesemissies.⁶ (Vlaamse Milieumaatschappij, 2018)

Bijlage 6 geeft een overzicht van de emissies in de industrie. Zoals eerder vermeld is de ferro-industrie hoofdbron binnen de industrie voor PM2.5. Niet zozeer op vlak van verbrandingsemissies, wel voor de procesemissies.



Figuur 2 PM2.5 uit verbrandingsprocessen in de industrie, Vlaanderen, 2016



Figuur 3 PM2.5 uit industriële processen in de industrie, Vlaanderen, 2016

⁶ Deze berekening wordt herzien in 2020.

De verzurende stoffen in de industrie, als precursoren van fijn stof, zijn niet onbelangrijk. Over het algemeen is er een dalende trend. Voor SO₂ is opnieuw de ferro-industrie (38%) de hoofdbron binnen de industrie, voor NO_x is dit de chemische sector met 47%. (Bijlage 9) Een combinatie van saneringsmaatregelen in enkele sectoren, waaronder die van de minerale niet-metaalproducten voor SO₂, gebruik van minder zwavelhoudende brandstoffen, de economische crisis en tal van andere factoren zijn een verklaring voor de dalende trend. Met de herziening van de berekening voor de collectief geregistreerde bedrijven is er volgens de Vlaamse Milieumaatschappij opnieuw een shift mogelijk in 2020. (Vlaamse Milieumaatschappij, 2018)

Om dit hoofdstuk af te sluiten, is er een samenvattende tabel voorzien met de cijfers die voornamelijk in volgende hoofdstukken aan bod komen. Deze cijfers zijn belangrijk, net als de opsplitsing naar brandstofsoort, terug te vinden in bijlage 8.

PM2,5

	[ton]	[%]
huishoudens	8 167	57,10
huishoudelijke verwarming	7 230	50,55
industrie	2 208	15,43
<i>verbrandingsprocessen</i>	574	4,02
<i>industriële processen</i>	1 633	11,42
energie	182	1,27
verkeer	2 942	20,57
<i>verkeer uitlaat</i>	1 792	12,52
wegverkeer	988	6,90
spoorverkeer	17	0,12
binnenvaart	78	0,55
zeescheepvaart binnenland	63	0,44
zeescheepvaart internationaal	534	3,73
luchtvaart	111	0,78
<i>verkeer niet-uitlaat</i>	1 151	8,04
wegverkeer	955	6,68
spoorverkeer	196	1,37
luchtvaart	0	0,00
off-road	161	1,12
land- en tuinbouw	577	4,04
handel en diensten	67	0,47
resuspensie	0	0,00
totaal	14 305	100,00

Tabel 2 Bronnen van PM2.5 naar sector, in ton en relatief aandeel, 2016

4. ASSUMPTIES

Assumpties zijn veronderstellingen of aannames die een onderzoek afbakenen. Welke luchtverontreiniging komt aan bod in dit werk en waarom? Wat wordt meegenomen in de economische kost? Welke tijdsperiode wordt beschouwd? Lokale luchtvervuiling, wat houdt dit in? Cruciaal is het beschrijven van geïntroduceerde assumpties teneinde een kritische houding te kunnen aannemen ten opzichte van de latere methodologie.

In wat volgt zal de nadruk gelegd worden op de luchtvervuiling **buitenshuis** (*ambient air pollution*) en niet binnenshuis (*household air pollution*). *Household air pollution* is niet in dezelfde mate in kaart gebracht of meetbaar dan *ambient air pollution*.

Luchtverontreiniging beperkt zich in dit werk tot de impact van **fijn stof**, en indien mogelijk de impact van **PM2.5**, aangezien deze component van luchtvervuiling in de literatuur aanzien wordt als de meest significante component van luchtvervuiling en de daarmee samenhangende gezondheidsrisico's. Onderzoek uit het Verenigd Koninkrijk (Harrison & Yin, 2010) stelt dat de grootte van de luchtvervuilende partikels een directe link heeft met de kans op gezondheidsproblemen. PM2.5 wordt aanzien als meest significant. Echter, er is nog geen wetenschappelijke eenduidigheid of het voornamelijk de partikels kleiner dan 0,1 micrometer (de zogenaamde ultrafijne fractie) zijn waaraan de negatieve gezondheidseffecten toe te schrijven zijn. Het is dan ook niet verwonderlijk dat in mei 2008 de Europese Unie de luchtkwaliteitsstandaard voor PM2.5 introduceerde met zowel aan limietwaarde vanaf 2010 als een doelwaarde voor 2015. (Harrison & Yin, 2010)

Zoals reeds aangehaald in paragraaf 1.1 bestaan er primaire, maar ook secundaire deeltjes fijn stof. Voor de concentratiewaarden gemeten in de Vlaamse meetstations is dit niet van belang. Dit onderscheid is wel belangrijk bij de emissies, stap 2 in het OESO 5-stappenplan (zie supra). Emissies worden opgesplitst naar sector. Terwijl een sector niet-relevant kan zijn voor primaire emissies, kan dit wel het geval zijn voor secundaire emissies die dan via chemische of fysische reacties ook leiden tot PM2.5.

Voor de opsplitsing naar sectoren worden **secundaire emissies buiten beschouwing** gelaten.

Verder wordt steeds de **meest recente data** aangewend. In het merendeel van de gevallen is dit wetenschappelijk onderzoek uit **2017**. Elk Belgisch gewest heeft zijn eigen netwerk van meetstations uitgebouwd. Voor Vlaanderen is de verantwoordelijke instantie de Vlaamse Milieumaatschappij. IRCEL, de Intergewestelijke Cel voor Leefmilieu, is een samenwerkingsakkoord tussen de Belgische Staat en de Gewesten. De cel verzamelt en structureert de leefmilieugegevens en rapporteert aan het Europees Milieuagentschap. De meest recente data opvraagbaar bij IRCEL dateren van 2017.

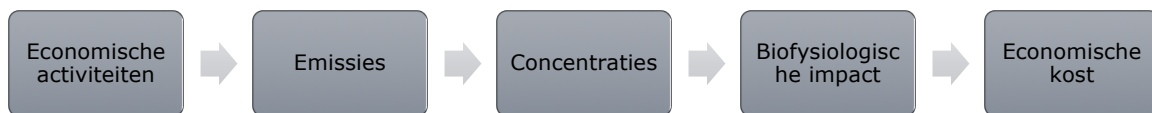
Tenslotte omspannt het dissertatieonderwerp het volledig **Vlaams grondgebied**, het Vlaamse Gewest. Dankzij het bestaan van de Vlaamse Milieumaatschappij zijn emissie- en concentratiedata beschikbaar voor deze geografische afbakening. Andere data, indien onbeschikbaar, kan kwalitatief geïnterpoleerd worden. De aangewende interpolatiemethodes, indien van toepassing, worden minutieus beschreven in de verdere relevante paragrafen.

Bovenstaande assumpties lopen als rode draad van hoofdassumpties doorheen dit werk. Indien nodig, worden bijkomende geringere benaderingen geponeerd in verdere hoofdstukken.

5. METHODOLOGIE

In de literatuur worden er verschillende methodes aangereikt teneinde de kost van luchtvervuiling te berekenen. Small en Kazimi (1995) en Danielis en Chiabai (1998) zijn het eens over de drie voornaamste, namelijk *de direct estimation of damages*, *hedonic pricing* en *de averting costs method*. Danielis en Chiabai (1998) spreken hiernaast ook nog van de *contingent valuation method* gebaseerd op de bereidheid tot betalen van de burger om luchtvervuiling te minimiseren. Kosten verbonden aan luchtvervuiling, maar ook geluidsoverlast en andere milieuverontreiniging zijn niet perfect meetbaar. (Small & Kazimi, 1995) Aldus is er anno 2019 nog geen consensus omtrent de beste meetmethode. Wel schuiven Small en Kazimi *de direct estimation of damages* naar voren als de beste en meest ontwikkelde methode. Deze methode werd reeds beschreven in 1977 (Small, 1977) en werd sindsdien verder ontwikkeld naarmate betere meetmethoden en analytische toepassingen beschikbaar kwamen.

De Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling (OESO) publiceert op regelmatige basis rapporten om haar leden van een bredere professionele basis te voorzien en hen te helpen beleidslijnen uit te stippelen en bij te sturen. (FOD Buitenlandse Zaken, Buitenlandse Handel en Ontwikkelingssamenwerking, 2016) In deze rapporten wordt ook gebruik gemaakt van *de direct estimation of damages* methode. Niettemin wordt deze term in het rapport niet expliciet naar voren geschoven. De OESO beschrijft 5 stappen teneinde de economische gevolgen van luchtvervuiling (buitenshuis) in kaart te brengen en te moneteriseren. Deze stappen vormen een uitbreiding op de dosis-respons of blootstelling-effect relaties die op de voorgrond staan van het merendeel aan luchtverontreinigingsstudies. In volgende paragrafen zullen we **dit OESO-stappenplan volgen en toepassen op Vlaamse data** om op die manier een berekening te maken voor de economische kost van lokale luchtverontreiniging in Vlaanderen.



Figuur 4 5-stappenplan van de OESO, 2016

5.1. ECONOMISCHE ACTIVITEIT

Antropogene emissies, emissies door de mens, ontstaan uit economische activiteiten. Deze eerste stap uit het OESO-vijfstappenplan loopt eigenlijk gelijk met wat reeds onderzocht werd in hoofdstuk 3, de bronnen van luchtvervuiling.

Het Europees Milieuagentschap (EEA) maakt een onderscheid tussen landbouw; handel, instituties en huishoudens, energieproductie en distributie, industrieel energiegebruik; industriële processen en productie, (weg-)verkeer, afvalverwerking, en andere. Tabel 3 geeft een overzicht van de PM2.5 emissies voor Vlaanderen.

SECTOR	PM2.5 [IN TON] [%]	
HUISHOUDENS	8 167	57
INDUSTRIE	2 208	15
ENERGIE	182	1
VERKEER	2 942	21
OFF-ROAD	161	1
LAND- EN TUINBOUW	577	4
HANDEL EN DIENSTEN	67	0,5
RESUSPENSIE	0	0
TOTAAL	14 305	100

Tabel 3 Emissies PM2.5 naar sector in ton en relatief aandeel, Vlaanderen, 2016⁷

⁷ (Vlaamse milieumaatschappij, sd)

5.2. EMISSIES

Vervolgens worden de uitstootcijfers met betrekking tot verschillende pollutanten gelinkt aan de diverse economische activiteiten. Binnen de OESO wordt hiervoor het ENV-Linkages model gebruikt met emissiecoëfficiënten uit het GAINS-model. (OESO, 2016)

The Greenhouse gas – Air pollution Interactions and Synergies (GAINS) model werd ontwikkeld door het IIASA, het Internationaal Instituut voor Toegepaste Systeemanalyse. Dit model beschrijft een methode om vervuiling afkomstig van antropogene activiteiten te linken aan relevante gezondheids- en milieugevolgen in een multi-emissie context. (IIASA, 2018) Bijlage 10 biedt een duidelijkere beschrijving van de methodologie. In Tabel 3 werd deze methodologie reeds toegepast.

5.3. CONCENTRATIES

Tot nu toe heeft de lezer een antwoord op de vraag hoeveel ton PM2.5 jaarlijks in Vlaanderen de lucht wordt ingestuurd. Dit met een opsplitsing naar sector om later ook de economische kost naar sector toe uit te splitsen. Maar dosis-responsverbanden vragen naar een inschatting van de concentratiewaarden van een pollutant. “Hoe extreem vervuild is een hoeveelheid lucht waarin de mens zich voortbeweegt?” Deze paragraaf, 5.3 concentraties, geeft een overzicht. Cijfers moeten begrijpbaar zijn en daarom wordt eerst inzicht gegeven in de verschillende modellen om concentratiewaarden te bepalen. De paragraaf sluit af met een benadering voor de jaarlijkse PM2.5-concentratiegemiddelden voor Vlaanderen.

Op verschillende vaste meetplaatsen in het Vlaamse Gewest wordt de luchtkwaliteit gemeten. Deze meetplaatsen werken zeer nauwkeurig voor de plaats waar ze opgesteld zijn. Om een inschatting te maken van de luchtkwaliteit op plaatsen zonder meetstation is de toepassing van modellen nodig zoals **RIO, IFDM en OSPM**. Alledrie deze modellen worden gebruikt in Vlaanderen, **tezamen het ATMO-Street model** genoemd. (Vlaamse Milieumaatschappij, sd)

VITO, het Vlaams Instituut voor Technologisch Onderzoek, zorgt door deze ontwikkeling dat concentraties per regio in kaart gebracht kunnen worden en combineert in deze tool het regio, stedelijke achtergrond, en street canyon effect. Het model werd op Vlaams niveau geïntroduceerd, maar wordt ook aangewend in China, India en Centraal- en Oost-Europa. (VITO, 2019)

Er zijn 72⁸ meetstations in Vlaanderen waarvan 42 stations fijn stof meten.⁹ Bijlage 11 geeft een overzicht van de meetpunten in Vlaanderen. Real-time meetgegevens worden per halfuur verzameld en opgeslagen. Deze data worden gebruikt om relevante instellingen en de bevolking te informeren, informatie- of alarmdrempels te triggeren en voorspellingsmodellen op te stellen. (Janssen et al., 2008)

5.3.1. RIO-INTERPOLATIETECHNIEK

Een eerste techniek opgenomen in het ATMO-Street model, namelijk de RIO-Interpolatietechniek is een efficiënte tool aangewend door milieuagentschappen. Deze betrouwbare methode is weinig berekeningsintens en biedt de mogelijkheid tot real-time gegevensverwerking dewelke essentieel is om de *EU Air Quality Directives* op te volgen en na te komen. Het wezen van de techniek is het in kaart brengen van luchtkwaliteit op plaatsen zonder meetstation rekening houdend met het lokale karakter van de omgeving.

Polluentconcentraties worden beïnvloed door twee impacten op verschillende niveaus. Regionaal worden concentratiefluctuaties toegeschreven aan meteorologische invloeden. Hierbovenop komt de lokale impact van puntbronnen en tijdelijke emissieuitstoot. In een verstedelijkte omgeving, zoals Vlaanderen, is de lokale impact significant, aldus Janssen et al. (2008). RIO houdt rekening met beide impacten en becijfert gemiddelde concentratieniveaus per 4x4 km².

⁸ Onder de assumptie dat de tijdelijk niet-beschikbare meetstations (aangeduid met NA in bijlage) meegerekend worden.

⁹ Andere gemeten pollutanten in Vlaanderen zijn O₃, SO₂, NO₂, C₆H₆ en CO.

Hooyberghs et al. (2006) biedt een uitgebreide beschrijving van de RIO-interpolatiemethodologie. Hieronder volgt een beknopte uiteenzetting teneinde verdere analyse verstaanbaar te maken.

Allereerst wordt de gemeten data ontdaan van hun trend. Dit wil zeggen dat het lokale en regionale karakter uit de meetgegevens wordt gehaald en ze aldus getransformeerd worden tot locatieonafhankelijke gegevens. Dan volgt de interpolatiestap gebaseerd op *Ordinary Kriging*, een statistische methode waar hier niet verder op ingegaan wordt. Tenslotte is er een retrending of retransformatiestap om plaatsen zonder meetstation te voorzien van de lokale impact. Hiervoor worden statistische eigenschappen van luchtvervuiling gelinkt aan landgebruik op lokale schaal via landinvullingsparameters. Landinvullingsparameters (*land use parameters*) zijn gedefinieerd voor elke pollutant op basis van CORINE-landinvullingskaarten (*CORINE land cover (CLC) maps*). (Janssen et al., 2008)

Data met betrekking tot landinvulling zijn beschikbaar met een nauwkeurigheid tot pixels van 100x100 m² en onderscheiden 44 classificaties. Een landinvullingsindicator β is gespecificeerd voor elke pollutant in een bepaald gebied. Om het aantal vrijheidsgraden te reduceren worden de 44 CORINE-classificaties samengenomen tot 11 RIO-classificaties. Een overzicht hiervan is terug te vinden in bijlage 12.

Onderstaande formule (logaritme van een gewogen en genormaliseerde som) wordt toegepast om de landinvullingskarakteristieken te correleren met de lokale emissieniveaus:

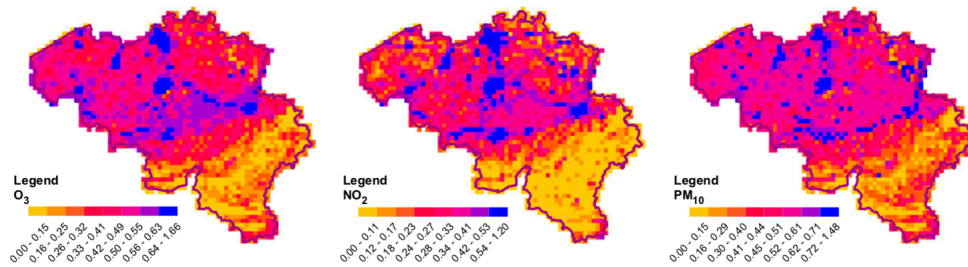
$$\text{Landinvullingsparameter } \beta = \log \left[1 + \frac{\sum_i a_i * n_{RCLi}}{\sum_i n_{RCLi}} \right]$$

In deze formule itereert de sommatie (index i) over alle RIO-classificaties.

n_{RCLi} zijn het aantal pixels in een kaartrooster (in het geval van deze methodologie is dit 4x4 km²).

A_i is een pollutantgerelateerde parameter, uniek voor elke RIO-classificatie.

Door toepassing van de formules worden indicatiekaarten verkregen per pollutant. Afbeelding 1 (Janssen et al., 2008) toont indicatiekaarten op basis van β -landinvullingsparameters per 4x4 km² kaartrooster voor 3 pollutanten; O₃, NO₂ en PM₁₀.



Afbeelding 1 β -landinvullingsindicatiekaarten voor België per pollutant. Links: O₃, midden: NO₂, rechts: PM₁₀.

5.3.2. IFDM

De RIO-interpolatietechniek geeft een gemiddeld concentratieniveau per 4x4 km² kaartrooster. Voor meer gedetailleerde informatie wordt dit gecombineerd met het IFDM-model.

IFDM, als tweede techniek in het ATMO-Street model, specificeert punt- en lijnbronnen die impact hebben op de luchtkwaliteit. Voor België werden zo'n 600 000 bronnen geïdentificeerd, zowel voor wegverkeer, scheepvaart als industrie. Om dubbeltellingen die voortkomen uit de combinatie met RIO te vermijden, is er een dubbeltellingscorrectie. (Irceline, sd)

Dit model baseert zich op emissiedata, bijvoorbeeld de grootte van een wagenpark, en meteorologische gegevens. (Irceline, sd)

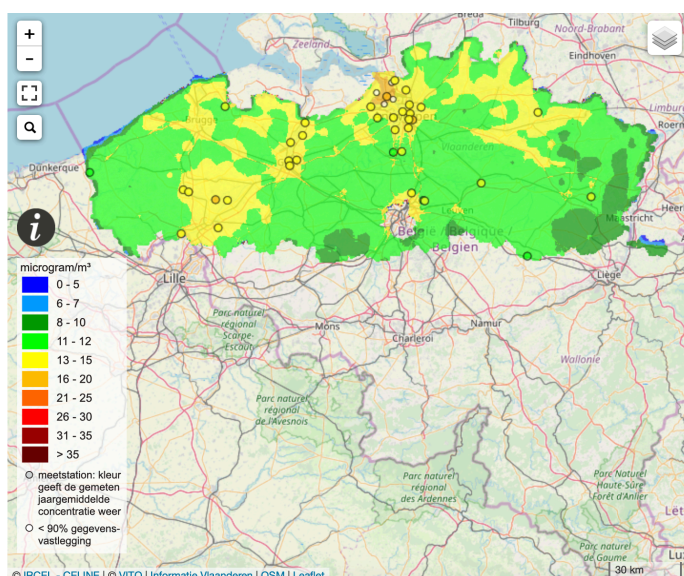
5.3.3. OSPM

Street canyons zijn smalle straten of gebieden met veel obstakels, zoals drukke steden, waar luchtvervuiling zich minder goed kan verspreiden. Bijgevolg zal een RIO-IFDM-model in deze gebieden de concentraties onderschatten.

OSPM maakt gebruik van de Vlaamse straatconfiguratie om de natuurlijke ventilatie realistisch te implementeren. (Irceline, sd) OSPM is hiermee de derde techniek opgenomen in het ATMO-Street model.

De combinatie van RIO, IFDM en OSPM leidt tot het door VITO geïntroduceerde ATMO-Street model. Verschillende validatieoefeningen (Fierens, 2017; Curieuzeneuzen Vlaanderen, 2019) tonen dat deze combinatie momenteel de best mogelijke tool is om gedetailleerd de luchtkwaliteit in real-time in kaart te brengen. Voor beperkingen van deze techniek wordt verwezen naar de literatuur.

De toepassing van de techniek op Vlaanderen resulteert per pollutant in een kaart zoals Afbeelding 2. Deze afbeelding toont de gemiddelde PM_{2.5}-concentraties voor Vlaanderen in 2017. De bolletjes duiden de meetstations aan. Bijlage 13 bevat de jaarlijkse concentratiehoeveelheden gemeten per meetstation.



Afbeelding 2 PM2.5 ATMO-Street model, Vlaanderen, 2017

Nu er inzicht is verkregen in de verschillende modellen om concentratiewaarden te bepalen, kan er een cijfer geplakt worden op de **jaarlijkse PM2.5-concentratiewaarde voor Vlaanderen**. Dit wordt benaderd op twee manieren. Enerzijds door een ongewogen gemiddelde te nemen zoals uitgevoerd in Tabel 4. (Vlaamse Milieumaatschappij, 2017) Dit levert een waarde op van **14 µg/m³**.

	[µg/m ³]
EU-GRENSWAARDE (2015)	25
INDICATIEVE EU-GRENSWAARDE (2020)	20
ADVIESWAARDE (WGO)	10
INDUSTRIEEL	14
STEDELIJK	15
VERKEER	14
VOORSTEDELIJK	14
LANDELIJK	13
VLAAMS GEMIDDELDE¹⁰	14

Tabel 4 Gemiddelde PM2.5-concentratiewaarden, Vlaanderen, 2017

¹⁰Dit is een niet gewogen gemiddelde van de industriële, (voor)stedelijke, verkeers- en landelijke jaarlijkse Vlaamse concentratieniveaus.

Anderzijds door een ongewogen gemiddelde te nemen van de individuele concentratiewaarden van de meetstations uit bijlage 13. Dit levert een waarde op van **13,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . Met dit laatste cijfer wordt verder gerekend teneinde consequent te zijn doorheen dit werk en steeds een strikte ondergrens voor de economische kost na te streven.

5.4. BIOFYSIOLOGISCHE IMPACT

Een vierde stap in het hier gevolgde OESO 5-stappenmodel is het **omschrijven en kwantificeren** van de biofysiologische impact van de in de derde stap verkregen pollutieconcentratiewaarden. Opnieuw een dosis-responsrelatie dus. De concentratie aan PM_{2.5} in een bepaalde regio als dosis bijvoorbeeld waarbij de impact op arbeidsproductiviteit een respons kan zijn.

Het OESO 5-stappen model onderscheidt de impact op arbeidsproductiviteit als mogelijke respons, maar evenzeer de gezondheidsimpact, de landbouwimpact, de impact op ecosystemen en tenslotte die op materialen.

5.4.1. IMPACT OP DE ARBEIDSPRODUCTIVITEIT

Arbeidsproductiviteit ofwel het nuttige effect van de verrichte arbeid (Van Dale Uitgevers, 2019) kan volgens de literatuur (Ostro, 1983; Ostro en Rothschild, 1989) uitgedrukt worden in aantal werkdagen. Aldus, kunnen we de (negatieve) impact op de arbeidsproductiviteit uitdrukken als het aantal verloren werkdagen (*work loss days* of WLD) en het verlies aan productiviteit op werkdagen, uitgedrukt als *restricted activity days* (RAD). Dit zijn werkdagen waarop een werknemer wel werkt, maar minder productief is. Gezien deze subjectieve beschrijving, wordt deze maatstaf in deze paragraaf weggelaten. Later, in hoofdstuk 6, komen we hierop terug.

Ostro (1987) en Ostro en Rothschild (1989) vonden in de 20^e eeuw een consistente associatie tussen fijn stof (TSP) en WLDs. Een latere Nederlandse studie (Zuidema en Nentjes, 1997) beoordelen dit effect niet significant. De resultaten van deze en voorgaande studies worden gebundeld en getest in de Noorse studie door Hansen en Selte (2000) dewelke stelt dat een toename in PM₁₀ concentratie met 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

gemiddeld leidt tot een 0,6%-toename in afwezigheidsdagen. Ostro (1983) en Hausman et al. (1984) publiceren cijfers die tot zes keer hoger liggen.

We herhalen de berekeningen¹¹ gebaseerd op Hansen en Selte (2000) voor het Vlaams Gewest. Het aantal werkbare dagen per jaar bepalen we op basis van de werkgelegenheidsgraad (Cijfers, 2018) en het aantal Vlamingen op beroepsactieve leeftijd (Cijfers, 2018). Welzijn op het werk (2017) schat dat 7.64% van dit totale aantal werkbare dagen verloren gaat omwille van ziekte. Dit brengt ons op bijna 54 miljoen dagen afwezigheid door ziekte. Vervolgens hanteren we de ondergrens van 0.6% door Hansen en Selte (2000), wat ons brengt tot de conclusie dat **het aantal ziektedagen per stijging van 1 unit in PM10-concentratie, toeneemt met ongeveer 322 016 WLDs.**

5.4.2. IMPACT OP DE LANDBOUW

Luchtverontreiniging moet bekeken worden op basis van een multi-polluent multi-effect manier. Het komt erop neer dat verschillende pollutanten verschillende effecten hebben. SO₂ en NO_x, beiden precursoren van fijn stof, hebben een bemestend karakter dat productiviteitswinsten oplevert. Te hoge concentraties van SO₂ en O₃ daarentegen leiden tot productiviteitsverliezen. Tenslotte is er ook de bekalkingskost, om verzuring te compenseren. De impact op landbouw van een bepaald pollutant is het uiteindelijke resultaat van de balansoefening. De Nocker et al. (2000) stellen dat de Vlaamse netto-impact van fijn stof op landbouw miniem tot verwaarloosbaar is, voor O₃ is deze wel belangrijk. (De Nocker et al., 2000)

Aangezien deze masterproef de nadruk legt op de economische kost van lokale luchtverontreiniging, meer bepaald die invloed van fijn stof en indien mogelijk PM2.5, is de impact van ozon op landbouwgewassen niet relevant.

¹¹ 6 552 967 inwoners * 0,64 * 0,67 = 2 809 912 werkende inwoners.

2 809 912 werkende inwoners * 250 werkbare dagen/(jaar*inwoner) = 702 478 062 werkbare dagen/jaar

702 478 062 werkbare dagen/jaar * 7,64% ziekteafwezigheid ¹¹ = 53 669 324 ziekteafwezigheidsdagen.

NH₃, SO₂, NO_x en NMVOS zorgen via chemische reacties voor de vorming van secundair fijn stof en zijn aldus precursoren voor de vorming van PM10 en PM2.5. Het aandeel van deze precursoren in de impact op landbouw is volgens De Nocker et al. (2000) te verwaarlozen en hier wordt dus niet verder op ingegaan. Uit deze resultaten concluderen we dus ook dat de **impact van fijn stof op de landbouw verwaarloosbaar is.**

5.4.3. IMPACT OP ECOSYSTEMEN

Een ecosysteem wordt door GreenFacts (2019) gedefinieerd als: “Een ecologische eenheid die bestaat uit een complex systeem van interacties tussen levende groepen (planten, dieren, schimmels en micro-organismen) en de omgeving waarin ze leven.”

De effecten van luchtvervuiling op ecosystemen worden door Smith (1981) verdeeld in drie relatiecategorïën. Bij lage dosissen worden de pollutanten opgenomen door het ecosysteem, gemiddelde concentraties tasten individuele delen van het ecosysteem aan. Tenslotte leidt een hoge dosering tot acute morbiditeit of mortaliteit van specifieke soorten en gewassen.

Economische waardering van ecosystemen is vandaag nog steeds lastig. Reeds in 2000 werden door De Nocker et al. (2000) de effecten op ecosystemen beschreven. Deze effecten zijn sterk afhankelijk per regio en emissiebeeld. Economische waardering is lastig, maar wel uitermate belangrijk aangezien de drempelniveaus in Vlaanderen worden overschreden en onze ecosystemen hieronder lijden. **Data is op alle niveaus onvoldoende voorhanden, laat staan op Belgisch of Vlaams niveau.** Ergo is het een uitermate te adviseren onderzoeksdomein waarvan de toekomstige resultaten deze studie kunnen aanvullen. De in dit werk berekende schadekost (zie supra) is aldus een ondergrens waar de kost voor ecosystemen bovenop komt.

5.4.4. IMPACT OP MATERIALEN

Luchtverontreiniging tast materialen aan. Sommige soorten materialen intensiever dan anderen met bepaalde luchtverontreinigingsdeeltjes verantwoordelijk voor bepaalde impacten. Dit alles resulteert in degradatie. Degradatie van alle objecten en rollend materieel, bijvoorbeeld auto's, die met lucht in aanraking komen, maar vooral degradatie van architectuur. Gebouwen hebben een lange levensduur waardoor de impact van luchtvervuiling significant is. (Watkiss et al., 2000) Meestal worden wagens vervangen vooraleer de impact van luchtvervuiling zichtbaar wordt, dit is niet het geval bij gebouwen.

Het in 1990 opgezette ExternE-project is een samenwerkingsverband tussen de Europese Commissie, zijn Amerikaanse tegenhanger en een panel van Europese en

Amerikaanse experten en onderzoeksbureaus. (Holland, 2001) Het project reikt een methodologie aan, de ExternE-methodologie ofwel *External Cost of Energy*, als kwantitatieve benaderingswijze voor de externe kosten van luchtvervuiling. (IER, 2018)

Watkiss et al. (2000) presenteert de toepassing van voorgaande, algemeen aanvaarde ExternE-methode op materiaaldegradatie door luchtvervuiling. Men stelt dat deze impact best gevalueerd wordt met behulp van het bereidheid tot betalen principe (zie supra).

Schade aan materialen bestaat uit 2 impactcomponenten en 3 kostencomponenten. Degradatieherstelkosten, samen met preventieve kosten en aantrekkelijkheidsverlies maken de totale materiaalimpactkost.

Schilderwerken of herstelwerken ter illustratie van degradatieherstelkosten zijn markttransacties en aldus tamelijk eenvoudig monetair uitdrukbaar. Dit in tegenstelling tot preventieve maatregelen. Maatregelen teneinde materiaaldegradatie uit te stellen of te vermijden worden niet uitsluitend genomen met het oog op luchtverontreiniging. Talloze andere factoren spelen hierin een rol. Hoe bepaalt men dan de additionele kost van deze maatregelen toewijsbaar aan luchtverontreiniging? De derde component, aantrekkelijkheidsverlies is de meest subjectieve component deel uitmakend van de totale materiaalimpactkost en vraagt opnieuw naar het bereidheid tot betalen principe. Helaas zijn er geen Europese studies beschikbaar die deze oefening hebben gedaan. Volgens Rabl (1999) geven de fluctuaties op de reinigings- en reparatiemarkt een goede indicatie van het aantrekkelijkheidsverlies waardoor deze methode als alternatief wordt aangereikt voor het WTP-principe.

Als impactcomponenten onderscheiden De Nocker et al. (2000) het effect van **verzuring van materialen** en dat van **vervuiling door stof**. Hedendaags onderzoek (EEA, 2018) bevestigt dit. Uit experimenteel blootstellings-effect onderzoek blijkt dat verzuring de som is van blootstelling aan SO₂ en aan zure regen. Dit treft een breed gamma aan materialen en leidt tot erosie en corrosie waardoor vervroegde herstel- en eventueel onderhoudskosten worden opgelopen.

Geverfde oppervlaktes, kalksteen en gele baksteen zijn gevoelig aan roet en het daarmee gepaard gaande vervuiling van gebouwen. Dit leidt in eerste instantie tot esthetische schade en later tot directe kosten. Deze schade kwantificeren is een **uitdaging die anno 2019 in Vlaanderen nog niet overwonnen** is door gebrek aan

informatie omtrent blootgestelde oppervlakken. Enerzijds is er geen inventaris per oppervlakte blootgesteld materiaal in Vlaanderen. Anderzijds interageren beide impactcomponenten met elkaar waardoor uitermate voorzichtig moet omgesprongen worden met mogelijke dubbeltellingen. (De Nocker et al., 2000)

Buitenlandse data kunnen geëxtrapoleerd worden. Toepassing van deze eenvoudige aanpak concludeert dat 3% van de SO₂-emissies toe te schrijven zijn aan verzuring. Voorzichtige analyses schatten dat vervuiling door stof een belangrijke impact kan zijn, Vlaamse data hiervoor ontbreekt. Wel werd de ExternE-methodologie aangewend om dit in kaart te brengen voor verschillende Europese steden. Resultaten werden geëxtrapoleerd op basis van populatiedata en adviseren een kosteninschatting van **70-300 euro per ton fijn stof**. (Watkiss et al., 2000) Deze kostprijs hoort eigenlijk thuis in de volgende paragraaf, namelijk de zesde stap in het OESO 5-stappenplan, de stap die de economische kost beschrijft. Aangezien Watkiss et al. (2000) niet transparant zijn met betrekking tot hun methodologie kan hieromtrent niet verder gerapporteerd worden in dit hoofdstuk. Voor meer informatie omtrent de totstandkoming van de resultaten wordt verwezen naar de literatuur.

5.4.5. IMPACT OP DE GEZONDHEID

Een vijfde impact, tevens ook de belangrijkste en meest onderzochte impact, is de gezondheidsimpact. Luchtvervuiling of de effecten van luchtverontreiniging worden beschreven in termen van fijn stof, ozon (O₃), SO₂, NO_x, koolstofmonoxide (CO), benzeen en lood (Pb). Fijn stof heeft hiervan de grootste impact op de bevolking. (Brook, 2010)

De gezondheidsimpact, op korte en lange termijn, van fijn stof omvat (verergering van) luchtweginfecties, cardiovasculaire aandoeningen, ziekenhuisopnames en vervroegde sterftegevallen. De impact weegt zwaar door in de totale economische kost van lokale luchtvervuiling. Enerzijds omwille van het feit dat andere impacts, bijvoorbeeld die op ecosystemen, nog niet of beperkt in kaart gebracht kunnen worden. Anderzijds omdat er geen veilige limietwaarde bestaat voor luchtvervuiling, zeker niet PM_{2.5}, waaronder we geen effecten op de volksgezondheid meer mogen verwachten. (De Nocker, Panis, & Torfs, 2000) Ook de Vlaamse Milieumaatschappij (2018) rapporteert dit en formuleert het als volgt: "Voor PM is er volgens de

Wereldgezondheidsorganisatie (WGO) geen veilige drempelwaarde waaronder nadelige effecten niet voorkomen.” Fijn stof is kankerverwekkend voor de mens, aldus de correspondentie van het IARC in 2013. Automatisch wordt dan gedacht aan longkanker, maar ook andere organen zoals de darmen zijn niet vrij van risico. (Vlaamse Milieumaatschappij, 2018)

In dit deel stellen we twee beschikbare meta-analyses voor die inzicht geven in de bestaande literatuur omtrent de invloed van fijn stof op de volksgezondheid. De meta-analyses zijn interessant om een beeld te krijgen van de globale en Europese situatie, maar de data zijn niet bruikbaar voor Vlaanderen om verschillende redenen. Na de voorstelling van elke meta-analyse worden deze redenen verklaard. Vervolgens gebruiken we Belgische GBD-data om een Vlaamse inschatting te maken. Hiervoor wordt een ratio gebruikt. Hierop komen we later terug.

1. Meta-analyse Anderson et al. (2004)

Ten eerste is er een studie in het kader van het WGO-project “Systematic Review of Health Aspects of Air Quality in Europe” die een antwoord wil bieden op de vragen met betrekking tot gezondheidseffecten van fijn stof, ozon en NO₂. De studie biedt een kwalitatieve analyse rond de gevaren van deze pollutanten, maar miste een kwantitatieve risicoinschatting. Om hieraan tegemoet te komen, werd een WGO-werkgroep opgericht die de eerste meta-analyse verrichte in dit domein. Een kritische houding ten aanzien van studietoetsselectie¹² is cruciaal. Studies kunnen gezondheidseffecten uiteenlopend definiëren, verscheidene pollutanten bestuderen en divers rapporteren.

De opzet van de meta-analyse is het verkrijgen van gemiddelde effectparameters voor fijn stof (PM₁₀, PM_{2.5}, BS en coarse material) en ozon voor:

- Het totale dagelijkse aantal sterfgevallen van zowel luchtwegaandoeningen als cardiovasculaire oorzaken.
- Het totale aantal hospitalopnames.

¹² Anderson et al. (2004) identificeerden 789 onderzoekspublicaties tot en met februari 2003. Na kritische selectie werkt men verder met 286 tijdsreeksen en 124 panel studies.

- Hoestsymptomen bij individuen met luchtwegaandoeningen.¹³
- Geneesmiddelengebruik bij individuen met luchtwegaandoeningen.

De resultaten voor mortaliteit en ziekenhuisopnamen zijn opgenomen in **Tabel 5** en Tabel 6.¹⁴ (Anderson et al., 2004)

ZIEKTEBEELD	LEEFTIJD	PM10	PM2.5	COARSE	BS
TOTAAL	Alle	1,006 (1,004-1,008)	NA	NA	1,006 (1,004- 1,008)
		33			26
CARDIOVASCULAIR	Alle	1,013 (1,005- 1,020)	NA	NA	1,006 (0,998- 1,015)
		18			18
RESPIRATOIR	Alle	1,009 (1,005- 1,013)	NA	NA	1,004 (1,002- 1,007)
		17			18

Tabel 5 Mortaliteitseffect per 10 µg/m³ toename in fijn stof.

¹³ Respiratoire aandoeningen, luchtwegaandoeningen en ademhalingsproblemen worden als synoniemen voor elkaar gebruikt als vertaling voor de Engelstalige term *respiratory causes of respiratory diseases*.

¹⁴ De 95%-confidentie intervallen staan tussen haakjes en het aantal opgenomen studies in het vet. In het geval dat het aantal relevant beschikbare studies kleiner is dan vier, kan geen effect berekend worden. Resultaten zijn dan niet beschikbaar, NA. Aldus zijn er geen gemiddelde parameters voor PM2.5 en coarse material.

ZIEKTEBEELD	LEEFTIJD	PM ₁₀	PM _{2.5}	COARSE	BS
RESPIRATOIR	0-14	NA	NA	NA	NA
RESPIRATOIR	15-64	NA	NA	NA	1,006 (1,001-1,012)
RESPIRATOIR	65+	1,007 (1,002- 1,013)	NA	NA	1,001 (0,993- 1,010)
CARDIOVASCULAIR	65+	NA	NA	NA	NA

Tabel 6 Effect op hospitaalopnamen per 10 µg/m³ toename in fijn stof.

Met bovenstaande resultaten dient zorgvuldig omgesprongen te worden. Anderson et al. (2004) rapporteren een gebrek aan Europese data voor PM_{2.5}-effecten. De significante Noord-Amerikaanse schattingsresultaten liggen hoger dan die voor Europese steden en dus induceert dit enige onzekerheid wanneer de schattingsresultaten gebruikt worden in verdere Europese studies. Zelfs als er op een vakkundige manier kan verder gewerkt worden met deze resultaten moet men er zich van bewust zijn dat er legio inter-Europese verschillen zijn die ingecalculleerd dienen te worden. Voor PM₁₀ en BS daarentegen zijn er wel voldoende relevante studies die tot significante schattingsparameters leiden.

Als algemene conclusie stelt men dat bij gebrek aan data, niet-Europese studies als basis kunnen dienen voor Europese kwantitatieve analyse mits inachtnaeme van onzekerheid. Op welke manier dit gedaan dient te worden, wordt niet verder beschreven.

2. Meta-analyse Achilleos et al. (2017)

In een meer recente studie, de tweede meta-analyse die hier besproken wordt, baseren Achilleos et al. (2017) zich op 3851 databaserecords gepubliceerd tussen 2013 en 2015 in de Verenigde Staten, Europa en de westelijke Stille Zuidzee om na een proces van screening en toetsing 41 studies over te houden. De onderzoekers concluderen een **gemiddelde 0,89%-mortaliteitsstijging¹⁵ per**

15 95% CI: 0,68-1,10

10 µg/m³ stijging in PM2.5-concentratie met 114 steden opgenomen in de studie. Cardiovasculaire mortaliteit, sterfgevallen door cardiovasculaire aandoeningen, stijgen gemiddeld met 0,80% ¹⁶ per 10 µg/m³ PM2.5-concentratie. Voor sterfgevallen door ademhalingsaandoeningen is dit 1,10%¹⁷.

Bovenstaande resultaten zijn het gepoolde effect van PM2.5 na een kortetermijnblootstelling, de termijn wordt niet verder gespecificeerd. Het uiteindelijke doel van de studie was een inzicht verkrijgen in het belang van de deeltjes die PM2.5 uitmaken. SO₄²⁻ is de meest onderzochte PM2.5-deeltje. Verschillende deeltjes hebben uiteenlopende effecten op totale mortaliteit, ademhalings- en cardiovasculaire mortaliteit. Ook de leeftijd van de onderzochte bevolkingsgroep speelt een rol.

De twee meta-analyses verschaffen een uitstekend referentiekader, maar geen consistente data of methodologie toepasbaar op de Vlaamse realiteit. Daarom gebruiken we voor het resterende deel van dit hoofdstuk Belgische GBD-data.

Opdat gezondheidssystemen effectief zouden zijn, is kwalitatieve data rond de uitdagingen voor volksgezondheid essentieel. Pre 1990 was deze data niet beschikbaar tot de Wereldbank en de Wereldgezondheidsorganisatie de nood hieraan erkenden en in 1991 de *Global Burden of Disease (GBD) Study* opzetten. Dit is een allesomvattende inschatting van de mondiale gezondheidstoestand die regelmatig gereviseerd wordt. (Christopher J.L. Murray, 2013) De meest recente editie dateert van 2017. GBD heeft als voordeel dat de methode mondiaal consistent en systematisch wordt toegepast, waardoor **resultaten vergelijkbaar** zijn. Vergelijkingen zijn mogelijk tussen landen of geografische gebieden, maar ook in de tijd. Bij gebrek aan data is er een gestandaardiseerde statistische modeleringstechniek die in deze gebreken voorziet. De grootste troef is de **interne validiteit**. (Christopher J.L. Murray, 2013). De 2017-versie van de *Global Burden of Disease* studie werd in november 2018 gepubliceerd in *The Lancet* en reikt schattingsparameters aan voor 195 landen. (Institute for Health Metrics and Evaluation, 2019)

16 95% CI: 0,41-1,20, nsteden = 89

17 95% CI: 0,59-1,62%, nsteden = 86

Uit GBD 2017, maar ook oudere versies, worden verschillende tools ontwikkeld waaronder GBD Compare¹⁸. GBD reiken verschillende meetinstrumenten aan: *deaths*, *years of life lost (YLLs)*, *years lived with disability (YLDs)*, *disability-adjusted life years (DALYs)*, *incidence*, *prevalence*, *maternal mortality ratio* en *(healthy) life expectancy*. De eerste 4 zijn relevant voor de impact van gezondheid in Vlaanderen en worden hieronder besproken.

GBD Compare geeft een risicoinschatting voor fijn stof op het totaal sterftecijfer, verloren levensjaren (YLL), ziektejaarequivalenten (YLDs) en DALYs voor België. We maken de assumptie dat deze cijfers bij benadering ook correct zijn voor Vlaanderen. De omrekening van Belgische naar Vlaamse data gebeurt aan de hand van de mortaliteitscijfers (Tabel 7). Tenslotte bestaat er een verschil tussen effecten op gezondheid na korte- en na langetermijnblootstelling. Om praktische vereenvoudigingsredenen hanteert dit werk het steady-state principe; gemiddelde jaarconcentraties en blootstellingscijfers aan fijn stof bepalen het risico. (Milieurapport Vlaanderen, 2012)

Dit werk heeft niet als doel een uitgebreide medische uiteenzetting te geven. Aldus, wordt het jargon zo eenvoudig mogelijk gehouden. Een overzicht van de vertalingen:

Ischemic heart disease	Ischemische hartziekte
Chronic obstructive pulmonary disease	COPD (chronisch obstructieve longziekte)
Diabetes mellitus	Diabetes
Stroke	Beroerte
Tracheal, bronchus and lung cancer	Longkanker (als verzamelnaam voor kanker van de longen, luchtpijp en luchtwegvertakkingen)
Lower respiratory infections	Lagere luchtweginfectie (bijvoorbeeld longontsteking, bronchitis)

¹⁸ Met deze interactieve tool kunnen 359 ziektebeelden en aandoeningen en 84 risicofactoren geanalyseerd worden, op verschillende manieren, tussen 1990 en 2017.

Mortaliteitscijfer (*Deaths*)

De laatste cijfers van Statbel (2019) tonen een totaal Belgisch mortaliteitscijfers van 108 056 individuen voor 2016 en 109 629 voor 2017.

	MANNEN	VROUWEN	TOTAAL	[%]
BRUSSELS HOOFDSTEDELIJK GEWEST	4 326	4 740	9 066	8,39
VLAANDEREN	30 448	30 465	60 913	56,37
WALLONIË	18 522	19 555	38 077	35,24
BELGIË	53 296	54 760	108 056	100

Tabel 7 Mortaliteitscijfers in België en de Gewesten, 2016

De Belgisch-Vlaamse ratio van 56,37%¹⁹ zal in verdere paragrafen aangewend worden als heuristisch om Belgische data om te zetten naar Vlaamse schattingen. De ratio wordt op het einde van dit hoofdstuk nog eens gecheckt. Het totaal sterftecijfer in Vlaanderen ligt in 2017 op 61 800 individuen.

	TOTAAL AANDEEL IN MORTALITEIT [%]	ATTRIBUTIE VAN DE RISICOFACOR [%]	FIJN STOF MORTALITEIT VLAANDEREN
ISCHEMISCHE HARTZIEKTE	14,17	8,53	747
COPD	5,61	16,47	571
DIABETES	1,32	19,75	161
BEROERTE	7,56	5,54	259
LONGKANKER	6,65	8,99	369
LAGE LUCHTWEGINFECTIE	5,21	12,42	400

Tabel 8 Invloed van fijn stof op mortaliteit, 2017, alle leeftijden, beide geslachten

¹⁹ 60 913/108 056 = 0,5637

Tabel 8 vat de resultaten samen voor Vlaanderen in 2017. Ischemische hartziekten, aandoeningen waarbij de toe- of afvoer van bloed naar het hart onvoldoende is, liggen aan de basis van 14,17% van de jaarlijkse sterftegevallen. 8,53% van deze sterftegevallen zijn te wijten aan fijn stof wat maakt dat jaarlijks 747²⁰ Vlaamse burgers sterven ten gevolge van een ischemische hartziekte veroorzaakt door fijn stof. Voor COPD zijn dit er 571. Op plaats drie staan de lage luchtweginfecties die jaarlijks 400 slachtoffers veroorzaken door fijn stof. Deze data zijn interessant, maar niet bruikbaar voor verdere analyse. Om een economische kostprijs in kaart te brengen is het namelijk van belang om een idee te hebben van het aantal jaren aan levensverlies de samenleving lijdt, niet de totale mortaliteit. Hiervoor wordt de maatstaf YLL of het aantal verloren levensjaren gebruikt.

Verloren levensjaren (Years of life lost)

Bij vroegtijdige sterfte ten opzichte van de gemiddelde levensverwachting wordt het aantal verloren levensjaren berekend en toegeschreven aan verscheidene oorzaken. De gemiddelde Vlaamse levensverwachting is 82,23 jaar. Bij vrouwen ligt dit iets hoger (84,34 jaar) dan bij mannen (80,07 jaar). In het algemeen scoort het Vlaamse gemiddelde 0,87 jaar beter dan het Belgische. (Statbel, 2019)

Gegeven de laatste cijfers van 2017 komt het totale aantal verloren levensjaren voor België op 1 590 582,31²¹.

²⁰ $14,17\% * 8,53\% * 61\ 800$

²¹ Dit is voor alle leeftijden en beide geslachten met een (1 513770,36 – 1 669 225,57) 95%-confidentie interval.

	TOTAAL AANDEEL IN YLL [%]	ATTRIBUTIE VAN DE RISICOFACITOR [%]	FIJN STOF YLL BELGIË	FIJN STOF YLL VLAANDEREN
ISCHEMISCHE HARTZIEKTE	11,61	10,59	19 556	11 024
COPD	4,76	16,45	12 455	7 021
DIABETES	1,2	18,36	3 504	1 975
BEROERTE	5,77	6,83	6 268	3 533
LONGKANKER	8,9	8,99	12 726	7 174
LAGE LUCHTWEG- INFECTIE	3,76	12,42	7 428	4 187
TOTAAL			61 938	34 914

Tabel 9 Invloed van fijn stof op verloren levensjaren (YLL), 2017, alle leeftijden, beide geslachten

Tabel 9 geeft een overzicht van het aantal verloren levensjaren per oorzaak. Ter illustratie hebben lage luchtweginfecties een 3,76%-aandeel in het totale aantal Belgische verloren levensjaren. 12,42% hiervan is te wijten aan *Ambient Particular Matter*. Dit komt op 7 428 YLL in België en 4 187 YLL in Vlaanderen. Dit zegt iets over de mortaliteit vanwege fijn stof. Daarnaast is ook morbiditeit, uitgedrukt in YLDs, een factor die meegenomen moet worden.

Ziektejaarequivalenten (Years lived with disability)

Niet alle aandoeningen leiden tot onmiddellijke sterfte. Mortaliteit wordt voorafgegaan door een periode van ziekte waarin de levenskwaliteit opmerkelijk lager ligt. De zieke jaren worden uitgedrukt in ziektejaarequivalenten. Een ziek jaar kan bijvoorbeeld gelijkgesteld worden aan twee gezonde maanden.

De YLD-term is het product van drie onderdelen, namelijk het aantal mensen dat aan een bepaalde ziekte lijdt, de duurtijd en de ernst van ziekte (beoordeeld door experts). (Milieुरapport Vlaanderen, 2012)

	TOTAAL AANDEEL IN YLD [%]	ATTRIBUTIE VAN DE RISICOFACOR [%]	FIJN STOF YLD BELGIË	FIJN STOF YLD VLAANDEREN
ISCHEMISCHE HARTZIEKTE	0,8	1,75	225	127
COPD	3,56	16,27	9 165	5 166
DIABETES	5,54	22,33	19 864	11 197
BEROERTE	1,86	4,2	1 242	700
LONGKANKER	0,12	8,99	171	97
TOTAAL			30 667	17 287

Tabel 10 Invloed van fijn stof op ziektejaarequivalenten (YLD), 2017, alle leeftijden, beide geslachten

De interpretatie van Tabel 10 is gelijkaardig aan de voorgaande. 0,12% van de totale Belgische ziektejaarequivalenten zijn toe te schrijven aan longkanker. Gemiddeld 8,99% hiervan wordt veroorzaakt door fijn stof. Opnieuw wordt de 56,37%-ratio gebruikt om een Vlaamse inschatting te geven.

Wanneer YLLs en YLDs opgeteld worden, wordt de DALY bekomen. De DALY drukt de ziektelast uit als het aantal potentieel verloren levensjaren. (Milieurapport Vlaanderen, 2012)

Ziektelast (Disability-adjusted life years)

De DALY is als indicator van de Wereldgezondheidsorganisatie een eenheid die gebruikt wordt om ziektelast uit te drukken. DALYs zijn een maat voor het aantal potentieel verloren gezonde levensjaren. Het grote voordeel van deze term is het comparabel maken van aandoeningen met verschillende ernst, duurtijd en symptomen. Het is aan een team van experts uit de medische sector om hiervan een inschatting te maken. Er dient benadrukt te worden dat de DALY een relatieve indicator en geen absolute indicator is. Ziektelast wordt door een verzameling aan factoren beïnvloed, waaronder het al dan niet roken, omgevingsparameters, voeding en het al dan niet hebben van een actieve levensstijl. Hierdoor zijn alleen DALYs berekend in een statische setting vergelijkbaar. (Milieurapport Vlaanderen, 2012)

Sommige studies geven een gewicht aan de leeftijd waarop iemand ziek wordt. Er zou gesteld kunnen worden dat de maatschappij meer investeert in jongere mensen of kinderen die ziek worden dan 60-plussers. Dit is een ethische kwestie, niet relevant voor dit werk. Ook om praktische redenen wordt er verder geen rekening mee gehouden. Verder speelt er ook een tijdspreferentie. Juist zoals 1 euro nu hoger gewaardeerd wordt dan 1 euro in de toekomst, heeft een toekomstige DALY minder waarde in de verre toekomst ten opzichte van op dit moment. Welvaartsgevolgen zouden dus verdisconteerd kunnen worden. Opnieuw, om praktische redenen wordt hiervan afgezien in dit werk. Dat we hiervan afzien in dit werk wil zeggen dat er geen leeftijdsaanpassingen en tijdspreferentieaanpassingen worden gedaan voor de Vlaamse data. De Belgische cijfers worden bekomen op basis van de GBD Compare tool die deze aanpassingen wel doorvoert.

Zoals eerder aangevoerd, bestaat er geen drempelwaarde waaronder er door fijn stof geen gezondheidseffect meer optreedt. Aldus rapporteert MIRA (2012) DALY-waarden en economische kosten (zie later) op basis van een blootstelling met drempelwaarde gelijk aan nul.

	TOTAAL AANDEEL IN DALY [%]	ATTRIBUTIE VAN DE RISICOFACOR [%]	FIJN STOF DALY BELGIË	FIJN STOF DALY VLAANDEREN
ISCHEMISCHE HARTZIEKTE	6,21	10,01	19 788	11 154
COPD	4,15	16,37	21 616	12 185
DIABETES	3,37	21,61	23 382	13 180
BEROERTE	3,81	6,19	7 515	4 236
LONGKANKER	4,51	8,99	12 902	7 273
LAGE LUCHTWEGINF ECTIE	1,89	12,42	7 458	4 204
TOTAAL			92 662	52 233

Tabel 11 Invloed van fijn stof op de ziektelast (DALY), 2017, alle leeftijden, beide geslachten

Tabel 11 is een samenvatting van de gerapporteerde waarden van de Global Burden of Disease Compare Tool dewelke fijn stof DALYs voor België berekent.

Zowel voor het totale aantal sterftegevallen als YLLs, YLDs en DALYs wordt de Belgisch-Vlaamse ratio van 56,43% gehanteerd ervan bewust zijnde dat dit een eenvoudige heuristiek is om de Vlaamse realiteit in kaart te brengen. Dit induceert

onzekerheid. Het gebruik van voorgaande heuristisch is opportuun, aangezien er geen Vlaamse data beschikbaar is met betrekking tot YLLs en YLDs. Deze data bestaat wel voor DALYs en werd voor het laatst gerapporteerd door VITO (januari 2018) in opdracht van Milieurapport Vlaanderen en op basis van VMM, IRCEL en SVR. De laatst beschikbare Vlaamse gegevens, zie Tabel 12 (VITO, 2018), dateren van 2016. De 2017-cijfers worden bekomen door de Excel TREND-functie toe te passen. Dit induceert opnieuw onzekerheid, maar maakt data wel vergelijkbaar.

VLAAMSE DALYS	2016	2017
STANDAARDAFWIJKING FIJN STOF (TOTAAL)	82 181	77 519,32
	37 829	35 777,30
KORTETERMIJN PM2,5	116	108,92
LANGETERMIJN PM2,5	53 135	49 987,08
KORTETERMIJN PM10	601	572,88
LANGETERMIJN PM10	6 154	5 979,76
FIJN STOF (TOTAAL)	60 005	56 648,44

Tabel 12 Invloed van fijn stof op Vlaamse DALYs, 2016

De Vlaamse data gebaseerd op de GBD-studie uit Tabel 11 (52233 DALYs) en de Vlaamse trenddata uit Tabel 12 (56648,44 DALYs) liggen in dezelfde lijn. Met een verschil van 'slechts' ongeveer 4416 DALYs is de Belgisch-Vlaamse ratio redelijk betrouwbaar, ook voor de Vlaamse YLL- en YLD-schattingen.

Ook uit Tabel 12 concluderen we dat de invloed van kortetermijnblootstelling aan PM2.5 en PM10 verwaarloosbaar is ten opzichte van de totale fijn stof impact. In meerdere studies wordt een onderscheid gemaakt tussen lange- en kortetermijnimpact, maar deze tijdspanne wordt zelden gedefinieerd.

Tenslotte uit Tabel 12 kan het aandeel van de PM2.5-impact berekend worden in de totale impact van fijn stof. PM2.5 is verantwoordelijk voor 88,74%²² van de Vlaamse

²² $\frac{116 + 53\ 135}{60\ 005} = 88,74\%$

jaarlijkse DALYs. Deze ratio wordt ook gebruikt om Vlaamse YLL- en YLD-waarden om te zetten **van fijn stof naar PM2.5**. De omzettingresultaten staan in Tabel 13.

	FIJN STOF DALY VLAANDEREN	PM2.5 DALY VLAANDEREN	FIJN STOF YLD VLAANDEREN	PM2.5 YLD VLAANDEREN	FIJN STOF YLL VLAANDEREN	PM2.5 YLL VLAANDEREN
ISCHEMISCHE HARTZIEKTE	11 154	9 898	127	113	11 024	9 783
COPD	12 185	10 813	5 166	4 584	7 021	6 230
DIABETES	13 180	11 696	11 197	9 936	1 975	1 753
BEROERTE	4 236	3 759	700	621	3 533	3 135
LONGKANKER	7 273	6 454	97	86	7 174	6 366
LAGE LUCHTWEGIN FECTIE	4 204	3 731	-	-	4 187	3 716
TOTAAL	52 233	46 351	17 287	15 340	34 914	30 983

Tabel 13 Impact PM2.5 op DALYs, YLDs en YLLS, Vlaanderen, 2017

MIRA, de dienst Milieurapportering van de Vlaamse Milieumaatschappij, communiceert de ziektelast ook nog op een alternatieve manier, namelijk in DALYs per inwoner: "Omgerekend per Vlaamse inwoner van Vlaanderen bedraagt de gemiddelde ziektelast in 2016 9 verloren gezonde maanden (= 0,77 DALYs) in een volledig leven bij een levenslange blootstelling aan de huidige fijnstofconcentraties." (VITO, 2018)

Merk vooral op dat er gesproken wordt van een gemiddelde ziektelast. Dit betekent dat voor bepaalde leeftijdscategorieën en gevoelige personen de impact groter, al dan niet kleiner zal zijn.

5.5. ECONOMISCHE KOST

Het vijfde deel in het OESO 5-stappenplan. Logischerwijs het sluitstuk van deze dissertatie getiteld 'de economische kost van lokale luchtverontreiniging in Vlaanderen'. Want luchtvervuiling is één ding, maar wat kost dat nu aan onze

samenleving? En wie is hiervoor verantwoordelijk? Simpele vragen, maar geen simpele antwoorden.

Laten we beginnen met een literatuuroverzicht. Small en Kazimi deden reeds in 1995 een poging om de kost van luchtvervuiling door voertuigen in de Los Angeles in kaart te brengen. De auteurs onderscheiden mortaliteit door fijn stof en morbiditeit door fijn stof en ozon. Afhankelijk van de aangenomen assumpties ligt de kost van PM10-mortaliteit tussen \$ 21 400 en \$ 442 000 per ton uitstoot afhankelijk van de waarde geplakt op een leven, in dit geval tussen \$ 2,1M en \$ 11,3M. Voor morbiditeit ligt de economische kost tussen \$ 4 800 en \$ 6 400 per ton PM10-emissie. Deze inschatting is een goede start, maar is ten eerste onvolledig aangezien het niet alle impactcategorieën bevat, ten tweede uiterst gedateerd en tenslotte is het niet duidelijk of ook de interne economische kosten, de marktkosten, worden meegenomen in deze kostprijs.

De OESO is hier duidelijker in. In hun publicatie 'The economic consequences of outdoor air pollution' (2016) maken de auteurs een duidelijk onderscheid tussen marktkosten enerzijds en niet-marktkosten anderzijds. Onder marktkosten begrijpt men verminderde arbeidsproductiviteit, additionele gezondheidsuitgaven en landbouwverliezen. Enkel de eerste twee categorieën zijn relevant voor fijn stof. De organisatie stelt dat de totale jaarlijkse marktkost voor luchtverontreiniging in 2015 neerkomt op 0,3% van het BBP en dat dit waarschijnlijk zal stijgen tot 1,0% tegen 2060. De niet-marktkost of welvaarskost schat men op \$ 3,2 biljoen wereldwijd, en \$ 730 miljard voor de Europese OESO-landen in 2015 met een vermoedelijke stijging tot bijna \$ 1,7 biljoen in 2060. Een combinatie van meer vroegtijdige sterftegevallen door demografische verschuivingen en concentratiefluctuaties, en ook een stijgende VSL (zie supra) door inkomensstijgingen in groei landen ligt aan de basis van deze trend. Deze OESO-referentiewaardes, in tegenstelling tot die van Small en Kazimi (1995), bieden wel duidelijkheid inzake markt- en niet-marktkosten, maar maken geen onderscheid voor fijn stof, laat staan PM2.5. Het is ook nog de vraag hoe vanuit deze cijfers een Vlaamse benadering te bekomen.

In dit vijfde deel van het OESO 5-stappenplan dient een economische kost geplakt te worden op 3 impacten die in voorgaand deel (5.4 Biofysiologische impact) gekwantificeerd werden; impact op arbeidsproductiviteit, impact op materialen en impact op gezondheid. Gezien de extensie van deze uitdaging, lijkt het aangewezen

om hier een volledig nieuw hoofdstuk aan te wijden om de structuur en leesbaarheid van dit werk te vrijwaren.

6. BEREKENING VAN DE ECONOMISCHE KOST

Dit zesde hoofdstuk heeft als doel een monetaire indicatie te plakken op luchtverontreiniging, meer bepaald de invloed van fijn stof en naar voorkeur de economische kost van PM2.5 voor Vlaanderen aan de hand van de meest recente cijfers. Er wordt 1 cijfer bekomen per emissiehoeveelheid, als percentage van het BBP en opgesplitst naar sectoren. Allereerst wordt de economische kost van productiviteitsverlies berekend, vervolgens die van de materiaalimpact en als slot de gezondheidskost in al zijn aspecten. Na de bepaling van de gezondheidskost geven we een overzicht van de alle economische kosten, inclusief kritische opmerkingen. We concluderen dit hoofdstuk met een terugkoppeling naar hoofdstuk 3, de bronnen van luchtvervuiling, en een overzicht van de beperkingen van deze studie.

6.1. DE ECONOMISCHE KOST VAN HET VERLIES AAN ARBEIDSPRODUCTIVITEIT

In paragraaf 5.4.1 (Impact op de arbeidsproductiviteit) concluderen Hansen en Selte (2000) **dat per unit PM10 concentratietoename het aantal jaarlijkse ziektedagen toeneemt met ongeveer 322 016 afwezigheidsdagen of WLDs.** Deze conclusie wordt doorgetrokken naar PM2.5, aangezien PM2.5 een onderdeel is van PM10. De heuristisch toegepast in paragraaf 5.4.1 is een ondergrens, door hier de cijfers voor PM10 door te trekken naar PM2.5 worden de afwijkingen in balans gebracht. Buekers et al. (2012) plakken hier voor Vlaanderen een marktkost op van € 82 per absentiedag en refereren naar de betrouwbare ExterneE-NEEDS-methodologie aan de hand waarvan dit cijfer bepaald werd. De jaarlijkse kost per unit PM2.5-toename voor Vlaanderen is **€ 26 405 312.**²³

Ook in paragraaf 5.4.1 werd de term RAD geïntroduceerd. Daar werd toen niet op ingegaan, maar is hier wel van toepassing. PM2.5 geeft aanleiding tot

²³ 322 016 afwezigheidsdagen * € 82 per afwezigheidsdag.

productiviteitsverlies; hieronder valt absenteïsme, verminderde productiviteit op gewone werkdagen en vervroegd pensioen. Aldus, moet ook de kost van deze dagen, met verminderde activiteit, meegenomen worden. Een Vlaamse studie in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij (Buekers et al., 2012), tevens dezelfde studie die hierboven gebruikt wordt, maakt een onderscheid tussen dagen met verminderde en licht verminderde activiteit. Ze komen neer op € 130 en € 38 per dag respectievelijk. De studie geeft wel inzicht in de marktkost van de eindpunten, maar geeft niet aan om hoeveel productiviteitsverlies het precies gaat. Productiviteitsverliezen worden in paragraaf 6.3.1 rond marktkosten meegenomen in de berekeningen.

6.2. DE ECONOMISCHE KOST VAN DE MATERIAALIMPACT

De tweede impactcategorie wordt beschreven in paragraaf 5.4.4. Impact op materialen. In die paragraaf, wordt op basis van de Watkiss et al. (2000) studie, geadviseerd dat er jaarlijks **€ 70-300 per ton fijn stof** als externe kost voor materiaalimpact dient ingecalculeerd te worden. We maken de assumptie dat de kostprijs voor de materiaalimpact identiek is voor alle samenstellende deeltjes van fijn stof, dus ook voor PM2.5.

In Tabel 3 vinden we dat in 2016 in Vlaanderen 14 305 ton PM2.5 uitgestoten werd door de Vlaamse sectoren.

De jaarlijkse economische kost van materiaalimpact in Vlaanderen voor PM2.5 op basis van de meest recente cijfers bedraagt ongeveer **1 miljoen euro**²⁴. Dit is een strikte ondergrens.

²⁴ € 70 per ton PM2.5 * 14 305 ton PM2.5 = € 1 001 350. Opnieuw wordt de € 70 ondergrens gehanteerd teneinde consistent te zijn doorheen dit werk.

6.3. DE ECONOMISCHE KOST VAN DE GEZONDHEIDSIMPACT

De gezondheidskost dient in twee delen opgesplitst te worden, de marktkost enerzijds en de niet-marktkost anderzijds. De marktkost komt neer op de effectieve additionele gezondheidsuitgaven, zoals hospitaalopnames, medicijnkosten, doktersbezoeken enzovoort. Buekers et al. (2012) noemt dit de COI, de combinatie van directe medische kosten, indirecte kosten en productiviteitsverliezen. De niet-marktkosten, de externe kosten, zijn welvaartsverliezen door vroegtijdig overlijden of periodes van langdurige ziekte. Het is mogelijk om deze welvaartsverliezen te monetariseren. De gezondheidslast wordt in paragraaf 5.4.5 uitgedrukt in DALYs, deze benadering wordt verdergezet.

6.3.1. MARKTKOSTEN

In deze paragraaf worden 2 methodologieën toegepast op Vlaamse data en op het einde vergeleken. De eerste methodologie of eerste manier baseert zich op data input van 2 verschillende studies en maakt de opsplitsing tussen directe en indirecte marktkosten. De tweede methodologie of manier vertrekt vanuit een totale gezondheidskost per DALY waar we de niet-marktkost van aftrekken. Voor manier 2 bekijken we eerst kritisch de opbouw van de studie om nadien pas een berekening voor Vlaanderen te maken.

Een eerste manier om de marktkosten in kaart te brengen is het plakken van een marktkost op elke ziektecategorie aan de hand van cijfers die terug te vinden zijn in de het werk van Albrecht en Vandenberghe (2019), voornamelijk voor cardiovasculaire ziekten en diabetes, en Gibson et al. (2013) voor long- en ademhalingsaandoeningen.

Albrecht en Vandenberghe (2019) splitsen de marktkosten op in directe en indirecte kosten; *primary, outpatient, inpatient, drugs, en accident and emergency* vallen onder directe kosten. Productiviteitsverliezen door vervroegde mortaliteit of morbiditeit en mantelzorg (*informal care*) zijn indirecte kosten.

Gibson et al. (2013) focussen op long- en ademhalingsaandoeningen en rapporteren net als Albrecht en Vandenberghe de directe en indirecte kosten van de marktkosten. Hier vallen *primary care, outpatient care, inpatient care, en drugs en oxygen* onder de directe kosten. *Accident and emergency* worden niet vermeld. Voor directe kosten zijn er opnieuw de productiviteitsverliezen door verloren werkdagen en vervroegd pensioen. Het is onduidelijk of hier ook de mantelzorg opgenomen wordt. Dit wordt wel één keer vermeld door de auteurs, maar niet verder op ingegaan.

	JAAAR	GEBIED	DIR. KOST [€ MILJOEN]	DALYS GEBIED ²⁵	DIR. KOST/DALY [€]	DALYS PM2.5 VLAANDEREN ²⁶	VLAAMSE DIR. KOST [€]
ISCHEMISCHE HARTZIEKTE	'15	EU ²⁷	19 248	12 773 526	1 507	9 898	14 914 966
BEROERTE	'15	EU	20 453	7 240 603	2 825	3 759	10 618 291
COPD	'11	EU	24 886	4 819 534	5 164	10 813	55 833 680
LONGKANKER	'11	EU	3 578	6 011 304	595	6 454	3 841 498
DIABETES	'16	NL	1 276	155 898	8 185	1 1696	95 729 881
LAGE LUCHTWEGINFECTIE	'11	EU	2 500	1 982 937	1 261	3 731	4 703 882
TOTAAL							185 642 198

Tabel 14 Berekening gezondheidskost PM2.5, directe marktkost, Vlaanderen²⁸

²⁵ Cijfers verkregen via GBD Compare tool (2019).

²⁶ Uit Tabel 13

²⁷ Hieronder vallen alle EU28 landen (België, Bulgarije, Cyprus, Denemarken, Duitsland, Estland, Finland, Frankrijk, Griekenland, Hongarije, Ierland, Italië, Kroatië, Letland, Litouwen, Luxemburg, Malta, Nederland, Oostenrijk, Polen, Portugal, Roemenië, Slovenië, Slowakije, Spanje, Tsjechië, Verenigd Koninkrijk, en Zweden) voor de jaren 2015 en 2016. Voor 2011 wordt Kroatië weggelaten wegens latere toetreding.

²⁸ Alle cijfers gebruikt voor de berekeningen in Tabel 14 komen rechtstreeks voort uit de studies van Albrecht en Vandenberghe (2019) en Gibson et al. (2013)

Voor de directe marktkosten van ischemische hartziekten, beroertes, COPD, longkanker en diabetes in tabel 14 wordt verwezen naar Albrecht en Vandeberghe (2019), voor lage luchtwegeninfecties naar Gibson et al. (2013). Voor diabetes zijn er geen EU-cijfers beschikbaar, we baseren ons op Nederlandse cijfers. Voor longkanker wordt het meeste recente cijfer meegenomen om consistent te zijn met de assumpties van dit werk.

Om de EU-cijfers en Nederlandse cijfers om te zetten van hun oorspronkelijk geografisch gebied naar het Vlaams Gewest, wordt de DALY opnieuw geïntroduceerd. DALYs hebben in principe niets te maken met de marktkosten van de gezondheidsimpact, wel met het welvaartsverlies. Aangezien de DALY een inschatting maakt van de ziektelast is het uitermate geschikt om de overkoepelende ziektelast (die van de EU en Nederland) te verdelen. Deze methode wordt ook aangewend door Buekers et al. (2012) die een waarde op de DALY plakt waarin zowel markt- als niet-marktkosten zijn begrepen. (zie supra)

De toepassing van deze eerste manier levert een jaarlijkse gemiddelde **directe marktkost** voor de Vlaamse gezondheidsimpact door PM2.5 van **€ 185 642 198**.

Naar analogie wordt Tabel 15 bekomen voor de indirecte marktkosten. Gibson et al. (2013) publiceren geen indirecte marktkost voor lage luchtweginfecties waardoor het bekomen resultaat opnieuw een ondergrens is.

	JAAR	GEBIED	INDIR. KOST [€ MILJOEN]	DALYS GEBIED	INDIR. KOST PER DALY [€]	DALYS PM2.5 VLAANDEREN	VLAAMSE INDIR. KOST [€]
ISCHEMISCHE HARTZIEKTE	'15	EU	41 249	12 773 526	3 229	9 898	31 963 187
BEROERTE	'15	EU	25 778	7 240 603	3 560	3 759	13 382 795
COPD	'11	EU	26 809	4 819 534	5 563	10 813	60 148 080
LONGKANKER	'11	EU	13 283	6 011 304	2 210	6 454	14 261 212
DIABETES	'16	NL	3 297	155 898	21 148	11 696	247 352 208
LAGE LUCHTWEGINFECTIE	'11	EU	NA				
TOTAAL							367 107 482

Tabel 15 Berekening gezondheidscost PM2.5, indirecte marktkost, Vlaanderen

De toepassing van deze eerste manier levert een gemiddelde jaarlijkse **indirecte marktkost** voor de Vlaamse gezondheidsimpact door PM2.5 van **€ 367 107 482**.

Ergo kan de gemiddelde jaarlijkse marktkost getotaliseerd worden door de directe en indirecte kosten op te tellen. Dit komt neer op een **totale marktkost van € 552 749 680**.

De tweede manier om een idee te krijgen van de marktkost gelinkt aan de gezondheidsimpact van PM2.5 is gebaseerd op Buekers et al. (2012). In hun studie getiteld 'Inschatting ziektelast en externe kosten veroorzaakt door verschillende milieufactoren in Vlaanderen' in opdracht van MIRA plakken ze een waarde op de Vlaamse DALY die zowel de markt- als de niet-marktkost bevat. Volgens de auteurs dient de gezondheidscost berekend te worden aan de hand van WTP-studies dewelke een indicatie geven van hoeveel iemand gemiddeld bereid is te betalen om een gezondheidseffect te verlagen of te vermijden.

Elke stressor in de studie is gelinkt aan een reeks gezondheidseindpunten uitgedrukt in DALYs. Er bestaan zowel gezondheidseindpunten voor PM2.5 als

voor PM10, dewelke niet volledig in lijn liggen met de eerste manier en eerder aangehaalde literatuur.

Stressor	Gezondheidseindpunt
PM2.5	<ul style="list-style-type: none">▪ Mortaliteit: verloren levensjaren of YOLL▪ Dagen verminderde activiteit▪ Dagen licht verminderde activiteit▪ Absenteïsme werk
PM10	<ul style="list-style-type: none">▪ Chronische bronchitis▪ Mortaliteit baby's▪ Hospitalisaties ademhalingsproblemen▪ Hospitalisaties hartproblemen▪ Gebruik bronchodilator kinderen▪ Gebruik bronchodilator volwassenen▪ Symptoomdag probleem lagere luchtwegen kinderen▪ Symptoomdag probleem lagere luchtwegen volwassenen

Tabel 16 Stressoren en eindpunten voor inschatting totale marktkost²⁹

Voor PM2.5 bijvoorbeeld wordt in deze studie de totale gezondheidskost berekend enkel op basis van mortaliteit (niet-marktkost) en productiviteitsverliezen. Aangezien PM10 overkoepeld is voor PM2.5, is PM10 te linken aan de PM2.5-eindpunten én de eigen eindpunten. De eindpunten specifiek voor PM10 blijven eerder algemeen in vergelijking met de studies uit manier 1. Chronische bronchitis ligt in lijn met COPD, voor ademhalingsproblemen en hartproblemen is er geen opsplitsing. LRA komt wel aan bod, terwijl diabetes niet in de lijst is opgenomen. Zowel voor PM10 en PM2.5 is er een gebrek aan morbiditeit. Naast externe kosten voor mortaliteit, bestaan die ook voor morbiditeit. Deze worden niet vermeld als gezondheidseindpunt door de auteurs. Uit onderstaande definitie geponeerd door de auteurs zelf blijkt dat er wel een goed begrip is van de DALY-maatstaf. Aldus, wordt er in wat volgt vanuit gegaan dat de totale Vlaamse DALY-waarden zowel morbiditeit als mortaliteit bevatten.

“Algemeen zijn DALYs de som van het aantal potentieel gezonde levensjaren dat men verliest door vroegtijdige sterfte (*Years of Life lost*) en het aantal levensjaren dat men leeft men een beperking of ziekte (*Years Lived with Disability*).” (Buekers et al., 2012, p.13)

²⁹ uit Buekers et al. (2012, p.33)

Gezien de beperkte gezondheidseindpunten voor PM2.5 en wetende dat de PM10-eindpunten evenwel relevant zijn voor PM2.5, berekenen we een gezondheidskost per DALY voor fijn stof. Hierna pas splitsen we op naar PM2.5. Op die manier worden ook kosten die in de studie specifiek gelinkt worden aan PM10 meegerekend voor PM2.5. Dit gaat dus in tegen de werkwijze van Buekers et al. (2012), maar steunt op betrouwbaar en recent wetenschappelijk onderzoek, waaronder WGO-publicaties.

Totale gezondheidskost fijn stof	€ 5 224 000 000
-	
Totale niet-marktkost fijn stof	€ 2 854 800 000 ³⁰
=	
Totale marktkost fijn stof	€ 2 369 200 000
Marktkost per DALY	€ 29 830 ³¹
Totale marktkost PM2.5	€ 1 382 639 872

Volgens bovenstaande berekening komt volgens de tweede manier de gemiddelde jaarlijkse **totale marktkost** voor Vlaanderen op **€ 1,38 miljard**.

Het cijfer volgens de 2^e manier is meer dan 100% hoger dan het cijfer bekomen via de 1^e manier. De berekening van de niet-marktkost in manier 2, namelijk de normale DALY-waarden die alleen de externe kosten in rekening nemen, zou hiervoor een reden kunnen zijn. Om dit uit te maken, maken we de vergelijking tussen beide manieren:

	Marktkost per DALY [€]	Totale marktkost PM2.5 [€ miljard]
Manier 1	55 246	2,561
Manier 2	29 830	1,383

³⁰ DALY-hoeveelheden voor PM2.5-mortaliteit (70 597) en mortaliteit baby's (773) vermenigvuldigd met € 40 000 (VYOLL).

³¹ Totaal aantal DALYs fijn stof: 79 424 (Buekers et al., 2012)

Merk op dat voor manier 1 het totale marktkostcijfer nu bijna 5 keer hoger ligt dan hiervoor. De oorzaak? Door de marktkost per DALY te vermenigvuldigen met het totaal aantal PM2.5-DALYs in plaats van het gewogen gemiddelde te nemen, zoals initieel gedaan bij manier 1, liggen beide resultaten boven of onder elkaar.

In deze dissertatie wordt manier 1³² geprefereerd boven manier 2 om 4 redenen:

- Geen inzicht in de morbiditeitseindpunten bij manier 2, waardoor inschatting van de niet-marktkosten niet transparant is.
- Zeer algemene en niet-consistente toewijzing van gezondheidseindpunten aan stressoren.
- De studie in manier 2 is meer gedateerd dan de studies in manier 1.
- Geen kwantificatie van de omvang van de gezondheidskosten per gezondheidseindpunt, waardoor het berekenen van een gewogen gemiddelde in manier 2 onmogelijk is.

³² Het dient wel opgemerkt te worden dat de DALY-benadering op basis van marktkosten in manier 1 gebaseerd is op de studie in manier 2.

6.3.2. NIET-MARKTKOSTEN

Deze paragraaf heeft als doel het moneteriseren van mortaliteit en morbiditeit. Zoals we reeds aanhaalden, schuiven Small en Kazimi de *direct estimation of damages* naar voren als de beste en meest ontwikkelde methode om de kost van luchtvervuiling in kaart te brengen. Deze methode werd reeds beschreven in 1977 (Small, 1977) en werd sindsdien verder ontwikkeld naarmate betere meetmethoden en analytische toepassingen beschikbaar kwamen.

“Direct valuation methods determine willingness to pay by questioning individuals using special interview techniques. Since surveys usually involve considerable amounts of time and money, these methods are only used where it is not possible to draw conclusions about economic value judgements from observable market behaviour.” (Schwermer, 2012, p.14)

Bovenstaande definitie stelt dat niet-marktkosten bepaald worden op basis van een WTP-inschatting. Met andere woorden: hoeveel is een leven waard of hoeveel is iemand hiervoor bereid te betalen?

Allereerste plakken we een cijfer op de niet-marktkost van mortaliteit, vervolgens doen we dit voor morbiditeit.

Voor **mortaliteit** wordt een VSL-waarde gebruikt. Zo rapporteren Kip Viscusi en J. Masterman (2017) in hun studie een Belgische VSL-waarde van \$ 7,613 miljoen. In de eerder aangehaalde Vlaamse studie (Buekers et al., 2012) vindt men een jaarlijkse waarde, een inschatting per DALY die neerkomt op € 40 000³³. Met deze waarde wordt verdergewerkt, ook voor YLL en YLD.³⁴

³³ Gezien de datering van de studie zou deze waarde geïndexeerd kunnen worden. Dit wordt hier niet gedaan. Het idee is dat de preferentie omtrent de waarde van een levensjaar niet verandert over de tijd.

³⁴ Aangezien DALY = YLL + YLD

Tabel 13 reikt een YLL inschatting aan per ziektecategorie. Door deze cijfers te vermenigvuldigen met € 40 000 per YLL krijgt men onderstaande resultaten:

	PM2.5 YLL VLAANDEREN	€
ISCHEMISCHE HARTZIEKTE	9 783	391 307 904
COPD	6 230	249 217 416
DIABETES	1 753	70 104 600
BEROERTE	3 135	125 407 368
LONGKANKER	6 366	254 648 304
LAGE LUCHTWEGINFECTIE	3 716	148 621 752
TOTAAL	30 983	1 239 307 344

Tabel 17 Economische niet-marktkost YLL Vlaanderen, 2017

De jaarlijkse economische kost voor mortaliteit in Vlaanderen door PM2.5 bedraagt **€ 1,2 miljard**.

De economische kost van **morbiditeit** dient hierbij opgeteld te worden om zo een economische kost te bekomen van de totale ziektelast.

Opnieuw reikt Tabel 13 een inschatting aan per ziektecategorie, deze keer voor YLDs, de maatstaf voor morbiditeit. Door deze cijfers te vermenigvuldigen met € 40 000 per YLD krijgt men onderstaande resultaten:

	PM2.5 YLD VLAANDEREN	€
ISCHEMISCHE HARTZIEKTE	113	4 507 992
COPD	4 584	183 372 336
DIABETES	9 936	397 448 712
BEROERTE	621	24 847 200
LONGKANKER	86	3 443 112
LAGE LUCHTWEGINFECTIE	-	-
TOTAAL	15 340	613 619 352

Tabel 18 Economische niet-marktkost YLD, 2017

De jaarlijkse economische kost voor morbiditeit in Vlaanderen door PM2.5 bedraagt **€ 0,6 miljard**.

Dit zesde hoofdstuk, de berekening van de economische kost, concluderen we in onderstaande tabel:

	[€]	Methodologie	Paragraaf
Productiviteitskost	351 190 650 ³⁵	Hansen en Selte (2000), Buekers et al. (2012)	6.1
Materiaalkost	1 001 350	Watkiss et al. (2000)	6.2
Gezondheidskost	2 405 676 376		6.3
Marktkost	552 749 680		6.3.1
<i>Direct</i>	185 642 198	Albrecht en Vandenberghe (2019)	
<i>Indirect</i>	367 107 482	Albrecht en Vandenberghe (2019)	
Niet-marktkost	1 852 926 696		6.3.2
<i>Morbiditeit</i>	613 619 352	Buekers et al. (2012)	
<i>Mortaliteit</i>	1 239 307 344	Buekers et al. (2012)	
Totale economische kost³⁶	2 406 677 726		

Tabel 19 Samenvatting, economische kost PM2.5-impact in Vlaanderen

Om de cijfers in perspectief te plaatsen, drukken we deze uit ten opzichte van het Vlaamse BBP³⁷. Voor de marktkost van de gezondheidsimpact komt dit op 0,24%, voor de niet-marktkost op 0,81%. De totale economische kost van Vlaamse luchtverontreiniging voor PM2.5 bedraagt jaarlijks € 2,4 miljard. Dit is **1,05% van het Vlaamse BBP** en ongeveer **€ 369 per capita**. Per ton PM2.5-uitstoot komt het op € 168 240,32.

Deze resultaten moeten kritisch benaderd worden om drie redenen.

Ten eerste dienen alle eerder aangehaalde assumpties, heuristieken en andere bronnen van onzekerheid in het achterhoofd gehouden te worden.

³⁵ Berekend op basis van een gemiddelde Vlaamse PM2.5-concentratie van 13,3 µg/m³.

³⁶ Dit is de som van de materiaalkost en de gezondheidskost om dubbeltellingen van de productiviteitskost te vermijden.

³⁷ Aantal inwoners Vlaams Gewest: 6 526 061 (Eurostat, 2018)
Vlaams BBP per capita: € 35 100 (Eurostat, 2018)

Ten tweede richt de OESO (2016) de aandacht op het bestaan van interactie-effecten tussen de verschillende impacten. De effecten van de drie door hun geponeerde impactcategorieën kunnen niet zomaar opgeteld worden om de totale marktimpact te komen. Er bestaan interactie-effecten die zowel positief als negatief kunnen zijn. Op globale schaal is dit effect minimaal, namelijk minder dan 0,1% van het BBP in 2060. Voor andere regio's zijn deze effecten meer significant. Hiervan wordt abstractie gemaakt in dit werk.

Tenslotte bestaat er ook zoiets als comorbiditeit of multimorbiditeit. Beide termen zijn niet juist hetzelfde, maar hun betekenis ligt dicht bij elkaar. Co- of multimorbiditeit is het lijden aan verschillende aandoeningen op hetzelfde moment en dit komt veel voor. Voor 55-plussers zou meer dan de helft hier last van hebben. (Netwerk Kwaliteitsontwikkeling, 2017) Dit verschijnsel heeft invloed op de gezondheidsimpact die hierdoor overschat wordt. Ook dit negeren we hier.

6.4. TERUGKOPPELING

Nu de laatste stap van het OESO-vijfstappenmodel in kaart gebracht is en er een kostenplaatje plakt op de impact van PM2.5 voor Vlaanderen op basis van de meest recente cijfers en alle andere assumpties die eerder beschreven werden, is er nog één finale vraag. Wie is in welke mate verantwoordelijk voor deze economische kost van lokale luchtverontreiniging in Vlaanderen? We koppelen terug naar hoofdstuk 3, de bronnen van luchtvervuiling.

Door de samenvattende tabel uit hoofdstuk 3 te combineren met de economische kost verkregen in de vorige paragraaf, kan de kost uitgesplitst worden per sector. Dit doen we in Tabel 20. Uiteraard blijft de top 3 van verantwoordelijke sectoren identiek. Ten eerste zijn er de huishoudens, met vooral huishoudelijke verwarming, dan volgt de transportsector en ten slotte de industrie.

Sector	€
huishoudens	1 374 097 979
huishoudelijke verwarming	1 216 477 346
industrie	371 436 658
<i>verbrandingsprocessen</i>	96 641 006,2
<i>industriële processen</i>	274 795 652
energie	30 680 779,5
verkeer	495 004 860
<i>verkeer uitlaat</i>	301 429 168
wegverkeer	166 180 830
spoorverkeer	2 922 141,65
binnenvaart	13 171 660,2
zeescheepvaart binnenland	10 671 434,4
zeescheepvaart internationaal	89 830 434,6
luchtvaart	18 652 666,9
<i>verkeer niet-uitlaat</i>	193 575 692
wegverkeer	160 649 078
spoorverkeer	32 926 613,4
luchtvaart	0
off-road	27 041 467,4
land- en tuinbouw	97 118 736,5
handel en diensten	11 297 245,4
resuspensie	0
totaal	2 406 677 726

Tabel 20 Economische kost per sector

Voor **huishoudens** wordt er in lijn met het voorgaande een opsplitsing gemaakt naar brandstofsoort. Hout is aldus te koppelen aan € 1 060 674 024, verantwoordelijk voor een goede 87%. De tweede belangrijkste bron voor huishoudelijke verwarming is kolen, met ongeveer 10% en € 129 555 679.

Voor **verkeer** ligt de focus op wegverkeer. De uitlaat- en niet-uitlaatemissies voor wegverkeer gaan ongeveer gelijk op met € 166 180 830 en € 160 649 078 respectievelijk.

Binnen de **industrie** spelen industriële processen de hoofdrol met een aandeel van bijna 74% en € 274 795 652.

6.5. BEPERKINGEN

Elke studie heeft beperkingen. Doorheen dit werk werd er steeds getracht deze duidelijk aan te geven.

Zo ligt in deze studie de nadruk op *ambient particular matter* wat correct gemeten wordt door de Vlaamse meetstations, maar naar gezondheidsimpact toe rapporteren we wel een overschatting. Daar mensen buitenshuis en binnenshuis in contact komen met luchtverontreiniging, zit dit ook vervat in de DALYs.

Daarnaast wordt het merendeel van de Vlaamse data bekomen op basis van 2 ratio's. Enerzijds de ratio om over te gaan van Belgische GBD-data naar Vlaamse data en anderzijds om fijn stof gegevens te specificeren naar PM2.5. Dit zijn benaderde data. Idealiter zijn alle data in de toekomst voor Vlaanderen beschikbaar en kan de analyse herhaald worden voor een meer correcte inschatting.

Verder rapporteren we een strikte ondergrens. Dit geldt bijvoorbeeld voor de impact op materialen.

Ten vierde baseren we ons voor het niet-marktkostendeel in 6.3.2. op slechts 1 Vlaamse studie voor de waarde van een verloren levensjaar. WTP-studies zijn de meest courante methode voor dit soort inschattingen. Desalniettemin zou een andere DALY-waarde tot volledig andere resultaten kunnen leiden.

Tenslotte, is niet alle luchtverontreiniging in Vlaanderen toe te schrijven aan Vlaamse bronnen. Luchtbeleidsplan 2030 (2018) rapporteert dat Vlaanderen maar liefst 70% van de gemeten PM2.5 en PM10 importeert. De terugkoppeling van de economische

kost naar sectoren is aldus niet volledig correct. De Vlaamse sectoren worden aansprakelijk gesteld op basis van hun emissies voor een kost die niet volledig door hun veroorzaakt wordt. Echter, exporteren de Vlaamse sectoren ook op hun beurt emissies waarvoor ze in het buitenland niet aansprakelijk worden gesteld. We maken dus de assumptie dat beide effecten elkaar opheffen.

7. AANBEVELINGEN

In dit laatste, zevende hoofdstuk kijken we welke rol de economische kost van lokale luchtverontreiniging speelt binnen beleidsadviezen. Allereerst wordt de huidige Vlaamse luchtverontreiniging afgetoetst aan de WGO-advieswaarden en grenswaarden uit hoofdstuk 2. Dit toont aan dat er nood is aan de huidige en extra regelgeving inzake fijn stof. Vervolgens focussen we op enkele aandachtspunten inzake mogelijke beleidsadviezen en wordt de concrete implementatie van lage emissiezones geanalyseerd. We besluiten met de omschrijving van de kosten-batenanalyse en het belang ervan in beleidsadviezen.

Volgens de voorlopige 2019-jaargemiddelden gepubliceerd door IRCEL (2019) wordt in geen enkel meetstation in Vlaanderen de EU-grenswaarde van $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ overschreden. Dit in tegenstelling tot de WGO-advieswaarde voor PM2.5 die we op geen enkele meetplaats halen. Daarom is het belangrijk dat Vlaanderen blijft inzetten op maatregelen om fijn stof terug te dringen.

Om fijn stof terug te dringen moet er ingezet worden op 2 fronten; de algemene emissies dienen teruggedrongen te worden, maar ook de fijnstofconcentraties moeten naar beneden.

- Terugdringen van de algemene emissies

De voorbije jaren zijn in het Vlaams Gewest heel wat actieplannen opgezet en doorgevoerd teneinde de totale PM2.5-uitstoot te verlagen. Maatregelen zoals de VLAREM-wetgeving, milieubeleidsvereenkomsten met de industrie, herziening van de verkeersbelasting³⁸, kilometerheffing voor vrachtwagens, roetfilterpremies en verbod op verbranding in openlucht hebben duidelijk geleid tot een verbetering van de luchtkwaliteit. (Van Mierlo, 2016)

- Lagere fijnstofconcentraties

Bovenstaande algemene actieplannen leiden tot een reductie van de totale Vlaamse emissies, maar voor bepaalde hotspotzones zijn lokale plannen

³⁸ Vergroening door shift richting benzine.

noodzakelijk. Zoals besproken in hoofdstuk 5 liggen de concentraties in de omgeving van puntbronnen en in street canyons vaak significant hoger dan de advies- of grenswaarden, waardoor materialen, ecosystemen, maar vooral volksgezondheid nog meer in het gedrang komen. Het halen van de gemiddelde grenswaarde wil dus niet zeggen dat er lokaal geen problemen meer zijn. De snelheidsbeperkingen bij SMOG-alarm is een voorbeeld van een in het verleden genomen actie om lokale concentraties aan te pakken teneinde bevolkingsblootstelling in te perken. Het meest bekende voorbeeld is de recente implementatie van lage emissiezones (LEZ).

Begin 2017 ging in Antwerpen, als eerste stad in Vlaanderen, een lage emissiezone van start. Een jaar later, in maart 2018, werden de effecten van deze maatregel berekend in een rapport door Transport & Mobility Leuven en VITO. De algemene PM2.5-emissies dalen volgens dit rapport met 1,65 ton per jaar. Dit is een relatief verschil van 10,2% voor 2017. (VITO, 2018) Naast het terugdringen van de algemene emissies, is ook de concentratieverandering belangrijk. Volgens het VMM-rapport (2017) 'Luchtkwaliteit in de Antwerpse haven en de Antwerpse agglomeratie 2017' is er voorlopig nog geen LEZ-effect merkbaar in de concentratieresultaten. Bovendien is het niet duidelijk in welke mate de resultaten toe te schrijven zijn aan de LEZ-invoering, dan wel de algemene verjonging van het wagenpark in Vlaanderen. Toekomstige metingen zullen hieromtrent uitsluitsel moeten geven. (VMM, 2018)

We besluiten dat bij het formuleren van beleidsadviezen voor fijnstofreducties steeds rekening moet gehouden worden met de 2 fronten, algemene emissiereducties en concentratiereducties. Verder, alvorens een maatregel aan te bevelen of in te voeren, wordt een kosten-batenanalyse aangeraden. Ruijgrok et al. (2004) spreken in het kader van luchtverontreiniging over een maatschappelijke kosten-batenanalyse en definiëren het als volgt:

“Een maatschappelijke kosten-batenanalyse is een allesomvattend afwegingsinstrument waarmee alle huidige en toekomstige maatschappelijke en economische voor- en nadelen van een maatregel tegen elkaar afgewogen worden door ze te monetariseren. Wanneer de baten groter zijn dan kosten is een project maatschappelijk en economisch verantwoord.” (Ruijgrok et al., 2004)

Het onderwerp van deze studie, de economische kost, staat dus centraal in zo'n kosten-batenanalyse. Ook voor toekomstige maatregelen³⁹ dient de economische kost van lokale luchtverontreiniging meegenomen te worden in de berekeningen waarop de beleidsadviezen gebaseerd zijn.

³⁹ Mogelijke toekomstige maatregelen, zoals de sluiting van de kerncentrales in België, de invoering van rekeningrijden en het afschaffen van het belastingvoordeel voor salarismotoren.

De economische kost van lokale luchtverontreiniging in Vlaanderen in kaart brengen aan de hand van het OESO-vijfstappenplan heeft ons inzicht gegeven in de bronnen van luchtverontreiniging, hun biofysiologische impact en de kosten die eraan verbonden zijn. We herhalen kort de inhoud van dit werk en sluiten af met beperkingen van deze studie en adviezen voor verder onderzoek.

Deze dissertatie onderzocht de economische kost van lokale luchtverontreiniging in Vlaanderen, en meer specifiek de impact van PM_{2.5}. 'Wat is de gemiddelde jaarlijkse kost per capita van PM_{2.5}-luchtverontreiniging in Vlaanderen en hoe verhoudt deze kost zich ten opzichte van het BBP?' is de centrale onderzoeksvraag waar een antwoord op geboden wordt. Om dit te doen, hebben we ons gebaseerd op bestaande literatuur, en waar nodig, aanpassingen gemaakt voor Vlaanderen. De focus in de methodologie ligt op de toepassing van het OESO-vijfstappenplan op bestaande data, aangepast voor Vlaanderen.

Als bronnen van luchtverontreiniging zijn huishoudens, verkeer, en industrie de belangrijkste sectoren, samen goed voor 93% van de PM_{2.5}-emissies. Vooral gebouwenverwarming op basis van hout is, met 6 304 ton per jaar in Vlaanderen, significant.

De impact situeert zich op 5 vlakken: arbeidsproductiviteit, landbouw, ecosystemen, materialen, en gezondheid. Volgens De Nocker et al. (2000) is de impact van PM_{2.5} op landbouw verwaarloosbaar. Verder is data voor de impact op ecosystemen nog onvoldoende voorhanden. Dit is ook het geval voor de materiaalimpact, daar kunnen we ons wel beroepen op de € 70-ondergrens per ton fijn stof van Watkiss et al. (2000). Arbeidsproductiviteit en gezondheid hangen nauw samen, aangezien arbeidsproductiviteit meegerekend wordt in de marktkosten van gezondheid. De gezondheidsimpact drukken we uit in DALYs, indicator voor de totale ziektelast.

De gezondheidskosten zijn de grootste factor in de totale economische kosten. Gezondheidskosten zijn in realiteit uiterst belangrijk voor de impact van PM_{2.5}, omdat het juist die deeltjes zijn die het diepst doordringen in de menselijke celmembranen en dus de meeste schade aanrichten. Niettemin is het relatief aandeel in de totale kost naar alle waarschijnlijkheid overschat. Zo kunnen we anno 2019 nog geen kost

plakken op de impact op ecosystemen en hanteren we voor de materiaalimpact ook slechts een ruwe schatting. De totale economische kost wordt naar beneden gebracht waardoor het aandeel van de gezondheidskost overschat wordt.

Door het toepassen van het vijfstappenplan, de ruggengraat van de methodologie, op bestaande data komen we op een totale economische kost van Vlaamse luchtverontreiniging voor PM2.5 van € 2,4 miljard per jaar. Dit is 1,05% van het Vlaamse BBP en ongeveer € 369 per capita. Per ton PM2.5-uitstoot komt het jaarlijks op € 168 240,32.

Deze resultaten zijn, zoals alle resultaten van een studie, onderhevig aan beperkingen. Doorheen dit werk werden de beperkingen steeds duidelijk beschreven. De belangrijkste zaken zijn bovendien terug te vinden in hoofdstuk 6.5. We stellen ons kritisch op ten opzichte van de afbakening van de onderzoeksvraag, de toepassing van ratio's, het hanteren van een strikte ondergrens, gebrek aan data en het (niet-)lokale karakter van luchtverontreiniging.

Om af te sluiten bieden we nog enkele adviezen voor toekomstig onderzoek. Ten eerste ontbreekt deze studie data voor de impact op ecosystemen en materialen. Globaal, maar ook in Vlaanderen, bestaat er geen databank van alle materialen die blootgesteld worden aan luchtverontreiniging. Door opname van alle impactcategorieën en interactie-effecten zal de economische kost vermoedelijk toenemen. Ten tweede, kan een meer correcte economische kost verkregen worden door GBD-data en PM2.5-emissies op Vlaams niveau in te schatten en te meten. Tenslotte, kunnen dan op deze nauwkeurige economische kostresultaten nieuwe studies gebaseerd worden. Luchtverontreinigingsmaatregelen bijvoorbeeld worden pas geïmplementeerd na uitgebreid kosten-batenonderzoek waarin de economische kostprijs een centrale rol speelt.

REFERENTIES

- Achilleos, S., Kioumourtzoglou, M.-A., Wu, C.-D., Schwartz, J. D., Koutrakis, P., & Papatheodorou, S. I. (2017). Acute effects of fine particulate matter constituents on mortality: A systematic review and meta-regression analysis. *Environment International* 109, pp. 89-100.
- Albrecht, J., & Vandenberghe, D. (2019). The financial burden of non-communicable diseases in the European Union: a systematic review. *European Journal of Public Health, Vol. 0, No. 0*, 1-7.
- Anderson, R. H., Atkinson, R. W., Peacock, J. L., Marston, L., & Konstantinou, K. (2004). *Meta-analysis of time-series studies and panel studies of Particulate Matter (PM) and Ozone (O3)*. WHO Publications.
- Bencom. (sd). *Woordenlijst*. Opgehaald van Energiewereld.nl: <https://www.energiwereld.nl/veelgestelde-vragen/woordenlijst>
- Brook, R. R.-R. (2010). Particulate Matter Air Pollution and Cardiovascular Disease: An Update to the Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation* 121, 2331-2378.
- Buekers, J., Torfs, R., Deutsch, F., Lefebvre, W., & Bossuyt, M. (2012). *Inschatting ziektelast en externe kosten veroorzaakt door verschillende milieufactoren in Vlaanderen, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2012/06, VITO, 2012/MRG/R/187*.
- Christopher J.L. Murray, M. D. (2013). Measuring the Global Burden of Disease. *The new england journal of medicine*, 369;448-57.
- Cijfers*. (2018). Opgehaald van Steunpunt Werk : <https://www.steunpuntwerk.be/cijfers>
- Curieuzeneuzen Vlaanderen. (2019). *Waarom kunnen inwoners van Brussel en Wallonië niet deelnemen?* Opgehaald van Curieuzeneuzen Vlaanderen: <https://curieuzeneuzen.be/faq/waarom-kunnen-inwoners-van-brussel-en-wallonie-niet-deelnemen/>
- Danielis, R., & Chiabai, A. (1998). *ESTIMATING THE COST OF AIR POLLUTION FROM ROAD TRANSPORT IN ITALY*. Elsevier Science Ltd.
- De Nocker, L., Panis, L. I., & Torfs, R. (2000). *Milieuschadeprijzen van luchtverontreiniging*. VITO.
- EEA. (2018, juli 12). Air pollutant emissions data viewer (Gothenburg Protocol, LRTAP Convention) 1990-2016. Denmark.
- EEA. (2018). *Air quality in Europe - 2018 report*. Denmark: European Environment Agency.
- Ensie. (2019, september 26). morbiditeit.
- EU. (2004, december 15). *Directive 2004/107/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air*. Opgehaald van EUR-Lex: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1486475021303&uri=CELEX:02004L0107-20150918>
- EU. (2008). *Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe (OJ L 152, 11.6.2008, p. 1-44)*. Opgeroepen op 2019, van EUR-Lex: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32008L0050>
- EU. (2016, december 14). *Directive (EU) 2016/2284 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2016 on the reduction of national emissions of certain atmospheric pollutants, amending Directive 2003/35/EC and repealing Directive 2001/81/EC (OJ L 344, p. 1-31)*. Opgehaald van EUR-Lex: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2016.344.01.0001.01.ENG
- European Commission. (2017, oktober). *Attitudes of European Citizens towards the environment*.
- European Commission. (sd). *The GAINS Model*. Opgehaald van Europese Commissie: https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/strategies/analysis/models/docs/gains_en.pdf

- European Respiratory Society. (2013). The economic burden of lung disease: Respiratory Health and Disease in Europe. In G. J. Gibson, R. Loddenkemper, & Y. Sibille, *European Lung White Book*. Sheffield: European Respiratory Society.
- Fierens, F. (2017). *Validatie luchtkwaliteitsmodel ATMO-Street (Vlaanderen) voor NO2 in 2017*. Irceline.
- FOD Buitenlandse Zaken, Buitenlandse Handel en Ontwikkelingssamenwerking. (2016). *Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling (OESO)*. Opgehaald van Buitenlandse zaken, buitenlandse handel en ontwikkelingssamenwerking: https://diplomatie.belgium.be/nl/Beleid/internationale_instellingen/financieel-economische_instellingen/oeso
- GreenFacts. (2019, maart 4). *Ecosysteem*. Opgehaald van GreenFacts : <https://www.greenfacts.org/nl/begrippenlijst/def/ecosysteem.htm>
- Hansen, A. C., & Selte, H. K. (2000). Air Pollution and Sick-leaves. *Environmental and resource economics*, pp. 31-50.
- Harrison, R. M., & Yin, J. (2010). *Chemical speciation of PM2.5 particles at urban background and rural sites in the UK atmosphere*. The Royal Society of Chemistry.
- Hausmann, J., Ostro, B., & Wise, D. (1984). *Air pollution and lost work*. Cambridge: National Bureau of Economic Research (NBER).
- Holland, M. (2001, januari). *Applications of the ExternE methodology*. Opgehaald van researchgate: https://www.researchgate.net/publication/237329703_APPLICATIONS_OF_THE_EXTERNE_METHODODOLOGY
- Hooyberghs, J., Mensink, C., Dumont, G., & Fierens, F. (2006). Spatial interpolation of ambient ozone concentrations from sparse monitoring points in Belgium. *Journal of Environmental Monitoring*, 1129-1135.
- IER. (2018). *Methodology*. Opgehaald van ExternE - External Cost of Energy: http://www.externe.info/externe_d7/
- IHME. (sd). *Terms defined*. Opgehaald van IHME, Measuring what matters: <http://www.healthdata.org/terms-defined>
- IIASA. (2018, juni). *The GAINS Model*. Opgehaald van International Institute for Applied Systems Analysis: <http://www.iiasa.ac.at/web/home/research/researchPrograms/air/GAINS.html>
- Institute for Health Metrics and Evaluation. (2019). *GBD 2017 Resources*. Opgehaald van healthdata.org: <http://www.healthdata.org/gbd/gbd-2017-resources>
- Irceline. (2019). *Metingen*. Opgehaald van Irceline: <http://www.irceline.be/nl/luchtkwaliteit/metingen>
- Irceline. (sd). *Hoe ontstaat fijn stof?* Opgehaald van Irceline.be: <http://www.irceline.be/nl/documentatie/faq/wat-is-primair-en-secundair-stof>
- Irceline. (sd). *Informatie fijn stof*. Opgehaald van Irceline: <http://www.irceline.be/nl/luchtkwaliteit/metingen/fijnstof/informatie>
- Irceline. (sd). *ATMO-Street (RIO-IFDM-OSPM)*. Opgehaald van Irceline: <http://www.irceline.be/nl/documentatie/modellen/rio-ifdm-ospm>
- Janssen, S., Dumont, G., Fierens, F., & Mensink, C. (2008, februari 19). Spatial interpolation of air pollution measurements using CORINE land cover data. België.
- Kip Viscusi, W., & Masterman, C. J. (2017). *Income Elasticities and Global Values of a Statistical Life*. Society for Benefit-Cost Analysis.
- Milieurapport Vlaanderen. (2012). *Inschatting ziektelast en externe kosten veroorzaakt door verschillende milieufactoren in Vlaanderen*. MIRA.
- Netwerk Kwaliteitsontwikkeling. (2017). *Comorbiditeit*. Utrecht: Netwerk Kwaliteitsontwikkeling GGz.
- OESO. (2016). *The economic consequences of outdoor air pollution*. Paris: OECD Publishing.

- Ostro, B. B., & Rothschild, S. (1989). Air Pollution and Acute Respiratory Morbidity" An Observational Study of Multiple Pollutants. *Environmental research*, pp. 238-247.
- Ostro, B. D. (1983). The Effects of Air Pollution on Work Loss and Morbidity. *Journal of environmental economics and management*, pp. 371-382.
- Ostro, B. D. (1987). Air Pollution and Morbidity Revisited: A Specification Test. *Journal of environmental economics and management*, pp. 87-98.
- Rabl, A. (1999). Air Pollution and Buildings: an Estimation of Damage Costs in France. *Environmental Impact Assessment Review*, vol.19(4), 361 - 385.
- Ruijgrok, M., Brouwer, R., & Verbruggen, H. (2004). *Waardering van Natuur, Water en Bodem in Maatschappelijke Kosten Baten Analyses*. Witteveen en Bos.
- Schneider, J., Nagl, C., & Read, B. (2014, oktober). EU Air Quality Policy and WHO Guideline Values for Health. Brussel.
- Schwermer, S. (2012). *Economic valuation methods, Annex A to "Economic Valuation of Environmental Damage – Methodological Convention 2.0 for Estimates of Environmental Costs"*. Dessau: German Federal Environment Agency (UBA).
- Small. (1977). *Estimating the air pollution costs of transport modes*.
- Small, K., & Kazimi, C. (1995). *On the Costs of Air Pollution from Motor Vehicles*.
- Smith, W. H. (1981). Interactions between air pollutants and forest ecosystems. In W. H. Smith, *Air Pollution and forests*. New York: Springer-Verlag.
- Statbel. (2019, januari 31). *Doodsoorzaken*. Opgehaald van STATBEL: <https://statbel.fgov.be/nl/themas/bevolking/sterfte-en-levensverwachting/doodsoorzaken>
- Statbel. (2019, maart 31). *Moedersterftes*. Opgehaald van STATBEL: <https://statbel.fgov.be/nl/themas/bevolking/sterfte-en-levensverwachting/moedersterfte#documents>
- Statbel. (sd). *Sterftetafels en levensverwachting*. Opgehaald van STATBEL: <https://statbel.fgov.be/nl/themas/bevolking/sterfte-en-levensverwachting/sterftetafels-en-levensverwachting#panel-14>
- Straumann, R. (2003). *Exporting Pollution? Calculating the embodied emissions in trade for Norway*. Oslo.
- Van Dale Uitgevers. (2019). *Betekenis 'arbeidsproductiviteit'*. Opgehaald van Van Dale: <https://www.vandale.nl/gratis-woordenboek/nederlands/betekenis/arbeidsproductiviteit#.XLTL3y-YPPA>
- Van Mierlo, T. (2016). *Luchtbeleid in Vlaanderen*. Departement LNE.
- VITO. (2017). *Energiebalans Vlaanderen 2000-2016*. Brussel: Luc Peeters.
- VITO. (2018). *Lage-emissiezone (LEZ) Antwerpen - Impact op uitstoot fijn stof*. Antwerpen: Departement LNE.
- VITO. (2018, januari). *Totaal verloren gezonde levensjaren (DALY's) door fijn stof*. Opgehaald van Vlaamse Milieumaatschappij: <https://www.milieurapport.be/milieuthemas/milieu-gezondheid/dalys/verloren-gezonde-levensjaren-dalys-door-blootstelling-aan-fijn-stof>
- VITO. (2019). *Atmo-Street*. Opgehaald van VITO: <https://vito.be/nl/atmo-street>
- Vlaamse Milieumaatschappij. (2018). *Jaarrapport Lucht. Emissies 2000-2016 en luchtkwaliteit 2017*.
- Vlaamse Milieumaatschappij. (2018, april 30). *Milieudata*. Opgehaald van Milieurapport.be: <https://www.milieurapport.be/milieudata/kernset>
- Vlaamse Milieumaatschappij. (sd). Fijn stof.
- Vlaamse Milieumaatschappij. (sd). *Stikstofoxiden*. Opgehaald van VMM.be: <https://www.vmm.be/lucht/stikstofoxiden>

- Vlaamse Milieumaatschappij. (sd). *Waarop is deze kaart gebaseerd?* Opgehaald van Vlaamse Milieumaatschappij: <https://www.vmm.be/data/methodiek-luchtkwaliteitsmodellen/waarop-is-deze-kaart-gebaseerd>
- Vlaamse Milieumaatschappij. (sd). *Wat is fijn stof?* Opgehaald van VMM.be: <https://www.vmm.be/lucht/fijn-stof/wat-is-fijn-stof>
- Vlaamse Overheid, Departement LNE. (2018). *Luchtbeleidsplan 2030*.
- VMM. (2017). *Emissies luchtverontreiniging en broeikasgassen*. Opgehaald van Vlaamse Milieumaatschappij: <https://www.vmm.be/data/emissies-luchtverontreinigende-stoffen>
- VMM. (2018). *Luchtkwaliteit in de Antwerpse haven en de Antwerpse agglomeratie 2017*. Vlaamse Milieumaatschappij.
- VMM. (sd). *Emissies per sector*. Opgehaald van vmm.be: <https://www.vmm.be/data/emissies-per-sector>
- VMM. (sd). *Fijn stof (PM10) jaargemiddelde*. Opgehaald van Vlaanderen.be: <http://www.vmm.be/data/fijn-stof-pm10-jaargemiddelde>
- VMM. (sd). *Fijn stof (PM2,5) jaargemiddelde*. Opgehaald van Vlaanderen.be: <http://www.vmm.be/data/fijn-stof-pm2-5-jaargemiddelde>
- Volksgezondheidszorg.info. (2019). *ziektelastberekeningen*. Opgehaald van Volksgezondheidszorg.info: <https://www.volksgezondheidszorg.info/definitie-en-methode-ziektelastberekening#node-selectie-van-ziekten>
- Watkiss, P., Eyre, N., Holland, M., Rabl, A., & Short, N. (2000, september 1). *IMPACTS OF AIR POLLUTION ON BUILDING MATERIALS*. Opgehaald van researchgate: https://www.researchgate.net/publication/268030572_IMPACTS_OF_AIR_POLLUTION_ON_BUILDING_MATERIALS
- Welzijn op het werk*. (2017). Opgehaald van Overheid Vlaanderen: <https://overheid.vlaanderen.be/bedrijfsinformatie/welzijn-op-het-werk>
- WGO. (2006). *WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, Global update 2005, Summary of risk assessment*. Zwitserland: WHO Press.
- WGO. (2018, mei 2). *Ambient (outdoor) air quality and health*. Opgehaald van WHO.int: [https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Zuidema, T., & Nentjes, A. (1997). Health damage of air pollution: An estimate of a dose-response relationship for the Netherlands. *Environmental and resource economics*, pp. 291-308.

BIJLAGEN

1. ADVIESWAARDEN WGO

(EEA, 2018)

POLLUENT	GEMIDDELDE [JAAR]	GEMIDDELDE [24U]	GEMIDDELDE [8U]	GEMIDDELDE [1U]	GEMIDDELDE [10']
PM2.5	10 µg/m ³	25 µg/m ³			
PM10	20 µg/m ³	50 µg/m ³			
O₃			100 µg/m ³		
NO₂	40 µg/m ³			200 µg/m ³	
SO₂		20 µg/m ³			500 µg/m ³
CO			10 mg/m ³	30 mg/m ³	
PB	0,5 µg/m ³				
CD	5 ng/m ³				

Tabel 21 WGO-advieswaarden

2. EU-GRENSWAARDEN

(EEA, 2018)

	Gemiddelde [jaar]	Gemiddelde [1u]	Gemiddelde [8u]	Gemiddelde [24u]	Gem. blootstellingsconcentratie [jaar]
NO₂	40 µg/m ³	200 µg/m ³			
PM10	40 µg/m ³			50 µg/m ³	
PM2.5⁴⁰	25 µg/m ³				20 µg/m ³
O₃⁴¹			120 µg/m ³		
BAP⁴²	1 ng/m ³				
SO₂		350 µg/m ³		125 µg/m ³	
CO			10 mg/m ³		
C₆H₆	5 µg/m ³				
PB⁵	0,5 µg/m ³				
AS⁵	6 ng/m ³				

Tabel 22 EU-grenswaarden

⁴⁰ 20 µg/m³ vanaf 2020.

⁴¹ Op lange termijn wordt naar een algemene grenswaarde (gemiddelde [8u]) van 120 µg/m³ gestreefd die nooit overschreden mag worden.

⁴² Gemeten als inhoud van PM10.

3. GRENSWAARDEN TER BESCHERMING VAN DE VEGETATIE

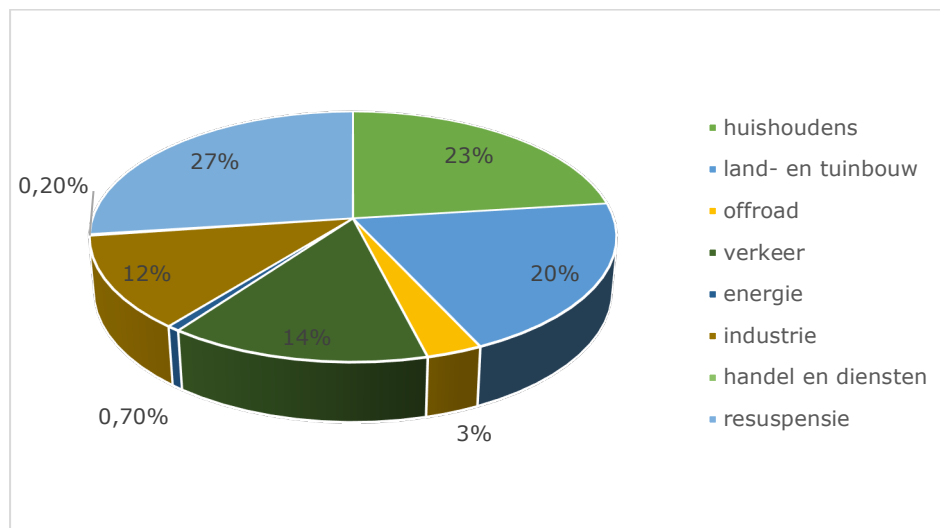
(EEA, 2018)

Polluent	Periode waarover het gemiddelde genomen wordt	Grenswaarde	Opmerkingen
O₃	AOT40 ⁴³ van mei tot juni	18000 µg/m ³ .uur	Op lange termijn: 6000 µg/m ³ .uur
	AOT40 van april tot september	10000 µg/m ³ .uur	Kritiek niveau voor bosbescherming
NO_x	Jaar	30 µg/m ³	
SO₂	Jaar/winter	20 µg/m ³	

Tabel 23 EU-grenswaarden ter bescherming van de vegetatie

4. TSP-EMISSIONS VLAANDEREN PER SECTOR, 2016

(Vlaamse Milieumaatschappij, 2017)

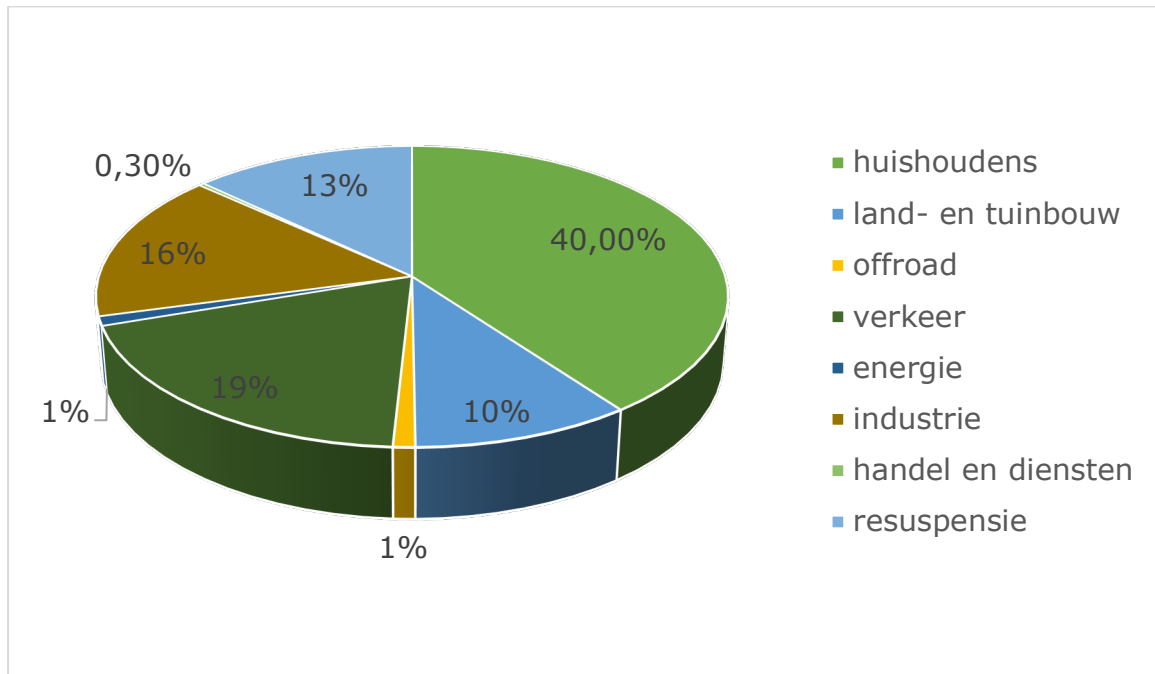


Figuur 5 Sectoraandeel TSP-emissies in Vlaanderen, 2016

⁴³ AOT40 geeft een indicatie van de geaccumuleerde ozonblootstelling, in µg/m³.uur, over een drempel van 40 ppb. Hier wordt verder niet op ingegaan.

5. PM10-EMISSIONS VLAANDEREN PER SECTOR 2016

(Vlaamse Milieumaatschappij, 2017)



Figuur 6 Sectoraandeel PM10-emissies in Vlaanderen, 2016

6. PM2.5-EMISSIONS VLAANDEREN PER SECTOR, 2000-2016

(VMM, 2017)

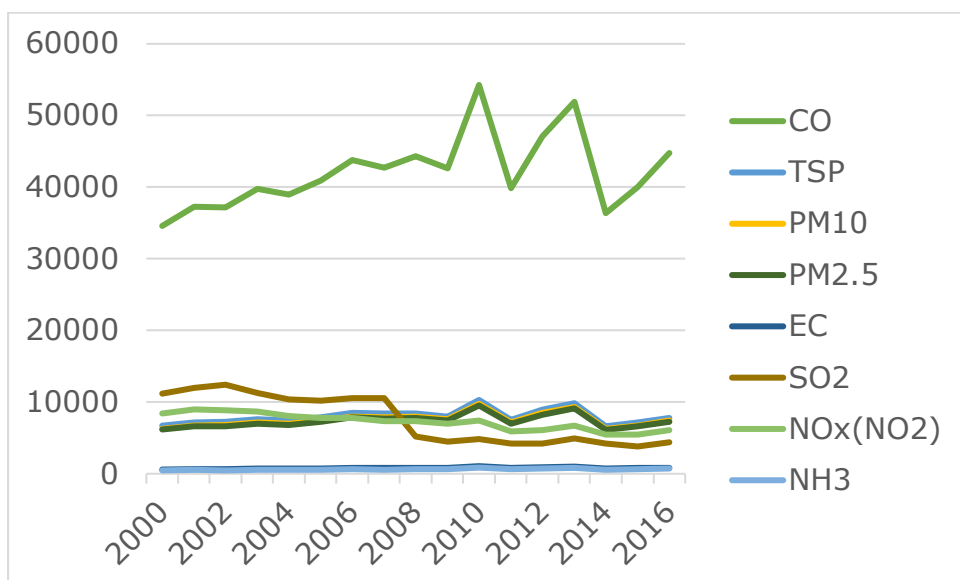
PM2.5	2000		2001		2002		2003		2004		2005		2006		2007		2008		2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016							
	ton	%	ton	%	ton	%	ton	%	ton	%	ton	%	ton	%	ton	%	ton	%	ton	%	ton	%	ton	%	ton	%	ton	%	ton	%	ton	%								
huishoudens	7405	35	7814	38	7917	38	8257	40	8067	40	8907	43	9076	43	8930	47	8955	50	8556	52	10704	56	8076	53	8975	57	10234	62	7095	53	7547	54	8167	57						
huishoudelijke verwarming	6156	28	6513	30	6656	31	7012	33	6838	34	7260	34	7840	36	7726	40	7808	43	7405	37	9526	46	6979	51	8272	57	6121	45	6595	48	7230	52	7730	56						
afvalverbranding in open lucht	164	1	139	1	154	1	146	1	145	1	139	1	134	1	132	1	126	1	120	1	114	1	92	1	69	1	46	1	23	1	7	1	4	1						
branden van afval	243	1	231	1	231	1	16	0	28	0	29	0	26	0	33	0	28	0	28	0	26	0	23	0	23	0	23	0	33	0	34	0	24	0	3	0				
barbecue, vehr. houtskool	3	0	3	0	3	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0				
tabak roken	364	2	312	2	352	2	339	2	337	2	363	2	367	2	330	2	275	2	284	2	314	2	287	2	318	2	309	2	310	2	310	2	285	2	285	2				
branden van huizen en auto's	445	2	446	2	447	2	449	2	450	2	453	2	455	2	458	2	461	2	465	2	468	2	472	2	476	2	480	2	483	2	486	2	489	2	492	2	495	2		
industrie	3159	15	2970	15	3357	17	3325	16	3424	17	3507	15	3078	16	2595	14	2531	14	2167	13	2200	12	2332	15	2315	14	1906	12	2092	16	2303	17	2208	15	2208	15				
verbrandingsprocessen	789	4	894	4	870	4	927	4	1039	5	1019	5	978	5	1015	5	909	5	916	5	830	4	726	5	665	4	644	4	609	5	629	5	574	4	574	4				
non-ferro	55	0	77	0	82	0	68	0	66	0	73	0	73	0	73	0	56	0	47	0	21	0	14	0	15	0	15	0	14	0	13	0	13	0	13	0				
chemie	309	1	324	1	288	1	282	1	281	1	283	1	266	1	238	1	229	1	196	1	196	1	221	1	196	1	196	1	169	1	163	1	182	1	182	1				
voeding, dranken en tabak	159	1	164	1	176	1	149	1	179	1	188	1	188	1	188	1	161	1	161	1	148	1	164	1	164	1	164	1	164	1	164	1	164	1	164	1	164	1		
papier en uitgeverijen	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0		
textiel en leer	41	0	50	0	38	0	103	0	109	0	113	0	120	0	106	0	87	0	86	0	90	0	84	0	65	0	64	0	64	0	72	0	72	0	72	0				
metaalverwerkende nijverheid	14	0	56	1	12	0	11	0	10	0	15	0	16	0	16	0	34	0	31	0	32	0	16	0	15	0	15	0	15	0	15	0	13	0	13	0				
textiel, leer en kleeding	20	0	16	0	12	0	9	0	12	0	6	0	6	0	9	0	4	0	5	0	3	0	4	0	5	0	5	0	5	0	6	0	6	0	5	0				
andere industrie	138	1	140	1	104	0	260	1	286	1	247	1	247	1	272	1	285	1	256	1	222	1	211	1	211	1	211	1	211	1	211	1	211	1	211	1	211	1		
WKK industrie	16	0	17	0	17	0	17	0	18	0	18	0	18	0	18	0	18	0	18	0	18	0	18	0	18	0	18	0	18	0	18	0	18	0	18	0	18	0		
energie	1761	8	1325	6	1263	6	1561	8	1556	8	994	5	847	4	802	4	432	3	330	2	244	1	172	1	160	1	202	1	197	1	199	1	199	1	199	1	199	1		
elektriciteitscentrales	854	4	457	2	477	2	576	3	615	3	442	2	323	1	240	1	191	1	186	1	133	0	81	0	55	0	63	0	48	0	58	0	46	0	46	0	46	0		
refinaderijen	905	4	867	4	785	4	1018	5	940	5	551	2	521	2	560	2	258	1	142	0	109	0	90	0	104	0	138	0	148	0	140	0	136	0	136	0				
gasfabriek	2	0	1	0	2	0	2	0	2	0	2	0	3	0	1	0	1	0	2	0	2	0	2	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0				
verkeer	7106	34	6846	34	6432	31	6164	30	6026	30	5670	29	5595	28	5462	28	4917	27	4453	27	4281	23	3921	26	3668	22	3410	21	3250	24	3063	22	2942	21	2942	21				
verkeer/ruiflaar	6068	29	5902	29	5575	26	5704	26	4957	24	4397	23	4487	23	4341	23	3820	21	3375	20	3190	17	2821	18	2559	16	2373	14	2132	16	1948	14	1782	13	1782	13				
wegverkeer	4607	21	4321	20	3918	18	3706	17	3598	17	3290	15	3152	14	2970	14	2512	12	2264	10	2158	9	1838	13	1645	10	1465	10	1282	9	1146	8	988	7	988	7				
spoorverkeer	120	1	139	1	126	1	158	1	128	1	150	1	113	0	113	0	108	0	83	0	64	0	83	0	83	0	83	0	81	0	78	0	78	0	78	0				
zeevaart	102	0	98	0	97	0	96	0	101	0	101	0	97	0	112	0	113	0	96	0	109	0	90	0	81	0	88	0	81	0	72	0	63	0	63	0				
zeescheepvaart binneland	980	4	1033	5	1055	5	996	4	956	4	976	4	954	4	963	4	858	4	771	3	679	3	637	3	588	3	534	3	536	3	515	3	534	3	534	3				
luchtvaart	189	1	168	1	133	0	140	1	136	1	135	1	137	1	144	1	144	1	132	1	128	1	134	1	131	1	122	1	134	1	119	1	111	1	111	1				
verkeer/ruiflaar	1038	5	1044	5	1057	5	1060	5	1075	5	1079	5	1099	5	1122	5	1097	5	1079	5	1091	5	1100	5	1109	5	1109	5	1117	5	1135	5	1151	5	1151	5				
wegverkeer	837	4	845	4	858	4	860	4	874	4	880	4	899	4	921	4	921	4	883	4	883	4	904	4	914	4	901	4	922	4	939	4	955	4	955	4				
spoorverkeer	201	1	199	1	199	1	200	1	201	1	199	1	200	1	200	1	204	1	196	1	196	1	195	1	186	1	186	1	186	1	186	1	186	1	186	1				
luchtvaart	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
off-road	477	2	432	2	401	2	374	2	349	2	326	2	307	2	313	2	286	2	272	2	256	1	242	2	221	1	203	1	186	1	172	1	161	1	161	1				
tractoren	466	2	421	2	390	2	363	2	338	2	315	2	296	2	302	2	285	2	261	2	245	1	231	2	210	1	192	1	175	1	161	1	150	1	150	1				
tractoren	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0		
landbouw	916	4	902	4	887	4	871	4	867	4	843	4	843	4	814	4	791	4	714	4	636	3	524	3	524	3	546	3	546	3	546	3	546	3	546	3	546	3		
landbouw	453	2	453	2	453	2	453	2	453	2	453	2	453	2	453	2	453	2	453	2	453	2	453	2	453	2	453	2	453	2	453	2	453	2	453	2	453	2	453	2
handtoevoer incl WKK	463	2	449	2	434	2	416	2																																

7. EMISSIES HUISHOUDENS (GEBOUWENVERWARMING), VLAANDEREN, 2000-2016

(Vlaamse Milieumaatschappij, 2017)

jaar	CO		TSP		PM10		PM2.5		EC		SO2		NOx(NO2)		NH3	
	ton	%	ton	%	ton	%	ton	%	ton	%	ton	%	ton	%	ton	%
2000	34584	100	6667	100	6282	100	6156	100	587	100	11200	100	8396	100	461	100
2001	37293	108	7159	107	6751	107	6613	107	639	109	11962	107	8978	107	505	110
2002	37180	108	7216	108	6786	108	6656	108	636	108	12425	111	8859	106	478	104
2003	39753	115	7587	114	7164	114	7012	114	701	119	11270	101	8704	104	559	121
2004	38977	113	7391	111	6994	111	6838	111	706	120	10398	93	8057	96	575	125
2005	40969	118	7856	118	7419	118	7260	118	742	126	10169	91	7752	92	589	128
2006	43767	127	8495	127	8004	127	7840	127	792	135	10575	94	7759	92	608	132
2007	42735	124	8384	126	7877	125	7726	125	773	132	10581	94	7363	88	565	123
2008	44334	128	8442	127	7987	127	7808	127	831	141	5202	46	7296	87	668	145
2009	42629	123	7996	120	7584	121	7405	120	825	141	4491	40	6967	83	672	146
2010	54263	157	10296	154	9753	155	9526	155	1059	180	4816	43	7390	88	852	185
2011	39823	115	7547	113	7141	114	6979	113	773	132	4240	38	5942	71	607	132
2012	47085	136	8947	134	8465	135	8272	134	924	157	4182	37	6122	73	726	157
2013	51910	150	9875	148	9340	149	9129	148	1022	174	4928	44	6749	80	796	173
2014	36352	105	6622	99	6258	100	6121	99	706	120	4247	38	5491	65	545	118
2015	40007	116	7118	107	6737	107	6585	107	776	132	3805	34	5465	65	621	135
2016	44749	129	7816	117	7396	118	7230	117	857	146	4405	39	6044	72	695	151

Tabel 25 Evolutie huishoudensemissies, 2000-2016, Vlaanderen



Figuur 7 Evolutie huishoudensemissies, 2000-2016, Vlaanderen

8. AANDEEL BRANDSTOFSOORT (IN TON) IN GEBOUWENVERWARMING, VLAANDEREN, 2016

(VMM, 2017)

	TSP	PM10	PM2.5	EC
AARDGAS	49	49	49	3
HOUT	6 804	6 470	6 304	799
KOLEN	856	770	770	49
PROPAAN-BUTAAN-LPG	1	1	1	0,059
STOOKOLIE	106	106	106	6
EINDTOTAAL	7 816	7 396	7 230	857

Tabel 26 Aandeel brandstofsoort in emissies huishoudens (gebouwenverwarming), Vlaanderen, 2016

9. VERZURENDE STOFFEN IN DE INDUSTRIE (IN TON), VLAANDEREN, 2008-2016

(Vlaamse Milieumaatschappij, 2018)

JAAR	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
NH₃	2 323	2 385	2 343	2 340	2 383	2 396	2 259	2 269	2 274
NO_x	3 086	2 870	2 918	2 674	2 576	2 647	2 507	2 470	2 351
SO₂	2 029	1 629	1 242	1 115	1 035	994	958	977	983
TOTALEN	7 438	6 885	6 504	6 128	5 994	6 037	5 723	5 716	5 608

Tabel 27 Verzurende stoffen in de industrie (in ton), Vlaanderen, 2008-2016

10. METHODOLOGIE GAINS-MODEL

Per pollutant wordt een schatting gemaakt op basis van huidige en toekomstige emissies en de verwijderingsefficiëntie van controlemaatregelen.

A_{its} is de activiteitsdata in regio i in jaar t van bron s . Dit wordt vermenigvuldigd met een emissiefactor EF_{ism} . Emissiecontrole van de activiteit door technologie wordt aangeduid met $APPL_{itsm}$.

Aldus:

$$E_{its} = \sum_m [A_{its} * EF_{ism} * APPL_{itsm}] \text{ met } EF_{ism} = EF_{is}^{NOC} * (1 - \text{removeff}_{sm}) \text{ en } \sum_m APPL_{its} = 1$$

A_{its} is de activiteit.

EF_{ism} is de emissiefactor voor het te controleren deel van de activiteit.

$APPL_{itsm}$ is het applicatieniveau van de technologie op activiteit s .

EF_{is}^{NOC} is de emissiehoeveelheid zonder controlemaatregelen.

Removeff_{sm} is de verwijderingsefficiëntie van technologie m met betrekking tot activiteit s .

Deze methode houdt rekening met de sector- en nationale verschillen. Het is duidelijk dat twee regio's met een divers activiteitenportfolio niet hetzelfde emissiebeeld zullen vertonen en aldus andere controlemaatregelen nemen. Dit leidt tot een uniek kostenbeeld.

(European Commission, sd)

11. MEETPLAATSEN IN VLAANDEREN

(Irceline, 2019)

CODE	GEMEENTE	O ₃	NO ₂	CO	SO ₂	PM10	PM2.5	C ₆ H ₆
40AT44	Ordamstraat		x		x			
40MN01	Menen					x	x	
40OB01	Oostrozebeke					x	x	
40OB02	Wielsbeke					x	x	
40RL01	Roeselare (Brugsesteenweg)					x	x	
44M705	Roeselare (Haven)	x	x			x	x	
44N012	Moerkerke	x	x			x	x	
44N029	Houtem (Veurne)	NA	NA		x	x	x	
44N052	Zwevegem	x	x			x	x	
47E714	Dudzele		x					
47E715	Zuienkerke		x					
40AL02	Doel (Engelsesteenweg)					x	x	
40AL03	Verrebroek					x	x	
40AL04	Kallo (Liefkenshoektunnel)					x	x	
40AL05	Kallo (sluis Kallo)					x	x	
40ZL01	Zelzate							x
42R823	Beveren-Waas		x			x	x	
42R830	Doel (Scheldemolenstraat)		x					
42R892	Kallo (sluis Kallo)		x		x			
44M702	Ertvelde		x					
44N051	Idegem	x	x					
44R701	Gent (Baudelopark)	x	x	x	x	x	x	
44R702	Gent (Gustaaf Callierlaan)		x			x	x	
44R703	Gent (Lange Violettestraat)					NA		
44R710	Destelbergen	x	x			x	x	
44R721	Wondelgem		x		x			

44R731	Evergem		x		x	x	x	
44R740	Sint-Kruiswinkel	x	x			x	x	
44R750	Zelzate		x	x	x	x	x	
47E703	Oost-Eeklo		x					
47E704	Wachtebeke		x					
47E716	Mariakerke		x					
40AL01	Antwerpen-Linkeroever		x			x	x	x
40HB23	Hoboken		x		x	x	x	
40LD01	Laakdal		NA					NA
40LD02	Geel		x					x
40R833	Stabroek		x					x
40SA04	Hoevenen					x	x	
40WZ02	Wezel				x			
42M802	Antwerpen (Luchtbal)		x			x	x	x
42N016	Dessel	x	x		x	x	x	
42R801	Borgerhout	x	x		NA	NA	NA	
42R802	Borgerhout (straatkant)		x	x		x	x	
42R803	Antwerpen (Park Spoor Noord)		x			x	x	
42R804	Borgerhout (Ring)		x			x	x	
42R805	Antwerpen (Belgiëlei)		x			x	x	
42R811	Schoten	NA	x			NA	NA	
42R817	Antwerpen (Groenenborgerlaan)		x			x	x	
42R818	Antwerpen (Burchtse Weel)					x	x	
42R820	Kapellen		x		x			
42R822	Antwerpen (haven)		NA		x			
42R831	Berendrecht	x	x		x	x	x	
42R834	Boom		x			x	x	
42R891	Antwerpen (haven)		x		x			
42R893	Antwerpen (haven)		x		x			
42R897	Antwerpen (haven)		x		x			

40SZ01	Steenokkerzeel		x			x		NA
40SZ02	Steenokkerzeel		x			x		x
42N035	Aarschot	x	x		x	x		x
42N040	Sint-Pieters-Leeuw	x	x					
42N054	Walshoutem	x	x			x		x
42R010	Sint-Stevens-Woluwe		x					
42R020	Vilvoorde		x	x	x	x		x
47E007	Sint-Pieters-Leeuw		x					
47E008	Grimbergen		x					
47E009	Zemst		x					
40GK06	Diepenbeek (Zinniastraat)						NA	NA
40GK09	Genk (Sluis Langerlo)			NA				x
40HH08	Houthalen-Helchteren					x		x
42N027	Bree	x	x					
42N046	Gellik	x		NA				
47E814	Ham (Genebosstraat)		x					

Tabel 28 Meetplaatsen in Vlaanderen

12. RIO-CLASSIFICATIES

(Janssen, Dumont, Fierens, & Mensink , 2008)

RIO-CLASSIFICATIE	BESCHRIJVING	CORINE-CLASSIFICATIE
RCL 1	Dicht verstedelijkte omgeving	1
RCL 2	Discontinuu verstedelijkte omgeving, vergroening en sportinfrastructuur	2, 10, 11
RCL 3	Industriële en economische activiteiten	3
RCL 4	Weg- en treinnetwerken	4
RCL 5	Havenomgeving	5
RCL 6	Luchthaven	6
RCL 7	Mijnen, stortplaatsen en constructieomgeving	7-9
RCL 8	Bebouwbaar land	12-14
RCL 9	Landbouwomgeving	15-22
RCL 10	Wouden en semi-natuurlijke omgeving	23-34
RCL 11	Water- en moerasgebied	35-44

Tabel 29 Beschrijving en samenstelling RIO-classificaties

13. GEMIDDELDE JAARCONCENTRATIES PER VLAAMS MEETSTATION, 2017

(VMM, 2018)

CODE	GEMEENTE	PM10 [MICROGRAM/M ³]	PM2.5 [MICROGRAM/M ³]
40MN01	Menen	24	14
40OB01	Oostrozebeke	28	17
40OB02	Wielsbeke	23	15
40RL01	Roeselare (Brugsesteenweg)	21	14
44M705	Roeselare (Haven)	25	15
44N012	Moerkerke	20	13
44N029	Houtem (Veurne)	19	12
44N052	Zwevegem	22	14
40AL02	Doel (Engelsesteenweg)	23	0
40AL03	Verrebroek	0	14
40AL04	Kallo (Liefkenshoektunnel)	0	16
40AL05	Kallo (sluis Kallo)	23	0
42R823	Beveren-Waas	22	14
44R701	Gent (Baudelopark)	26	14
44R702	Gent (Gustaaf Callierlaan)	23	14
44R703	Gent (Lange Violettestraat)	NA	NA
44R710	Destelbergen	21	14
44R731	Evergem	24	14
44R740	Sint-Kruiswinkel	25	15
44R750	Zelzate	24	15
40AL01	Antwerpen-Linkeroever	22	14
40HB23	Hoboken	22	13
40SA04	Hoevenen	22	14
42M802	Antwerpen (Luchtbal)	25	14

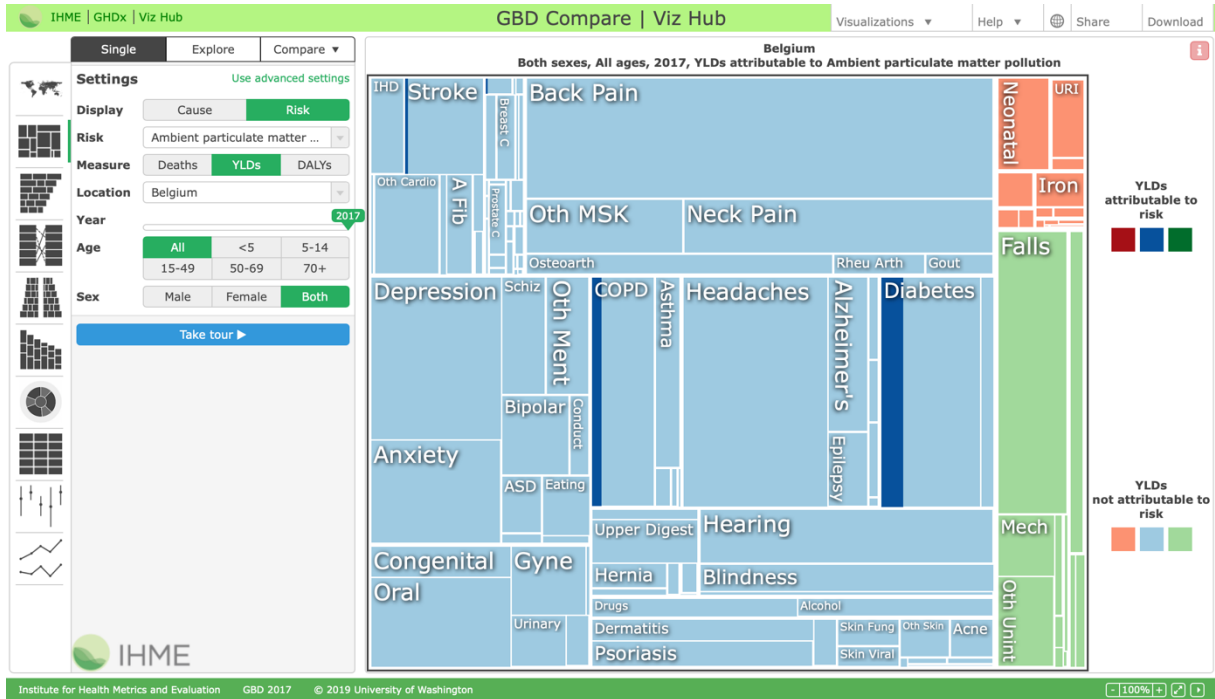
42N016	Dessel	21	14
42R801	Borgerhout	23	14
42R802	Borgerhout (straatkant)	25	15
42R803	Antwerpen (Park Spoor Noord)	25	15
42R804	Borgerhout (Ring)	26	16
42R805	Antwerpen (Belgiëlei)	24	14
42R811	Schoten	22	14
42R817	Antwerpen (Groenenborgerlaan)	22	13
42R818	Antwerpen (Burchtse Weel)	23	15
42R831	Berendrecht	21	13
42R834	Boom	21	13
40SZ01	Steenokkerzeel	19	12
40SZ02	Steenokkerzeel	20	13
42N035	Aarschot	20	13
42N054	Walshoutem	20	12
42R020	Vilvoorde	23	14
40GK06	Diepenbeek (Zinniastraat)	21	13
40HH08	Houthalen-Helchteren	NA	NA

Tabel 30 Gemiddelde jaarconcentraties per Vlaams meetstation, PM10 en PM2.5, 2017

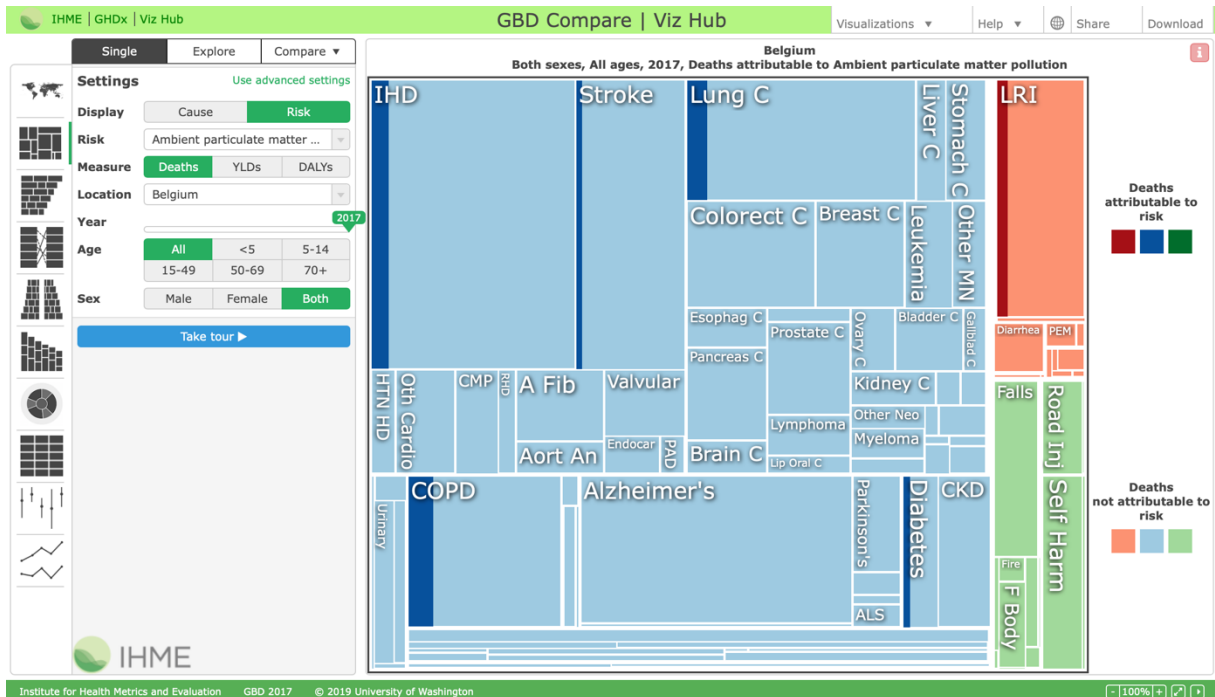
Meetstations Houthalen-Helchteren en Gent (Lange Violettestraat) werden niet teruggevonden op de fijnstofkaarten aangereikt op de website van de Vlaamse Milieumaatschappij, vandaar de aanduiding 'NA'. Voor de volledigheid worden ze wel behouden in de lijst van meetstations.

14. INSTELLINGEN GBD COMPARE TOOL

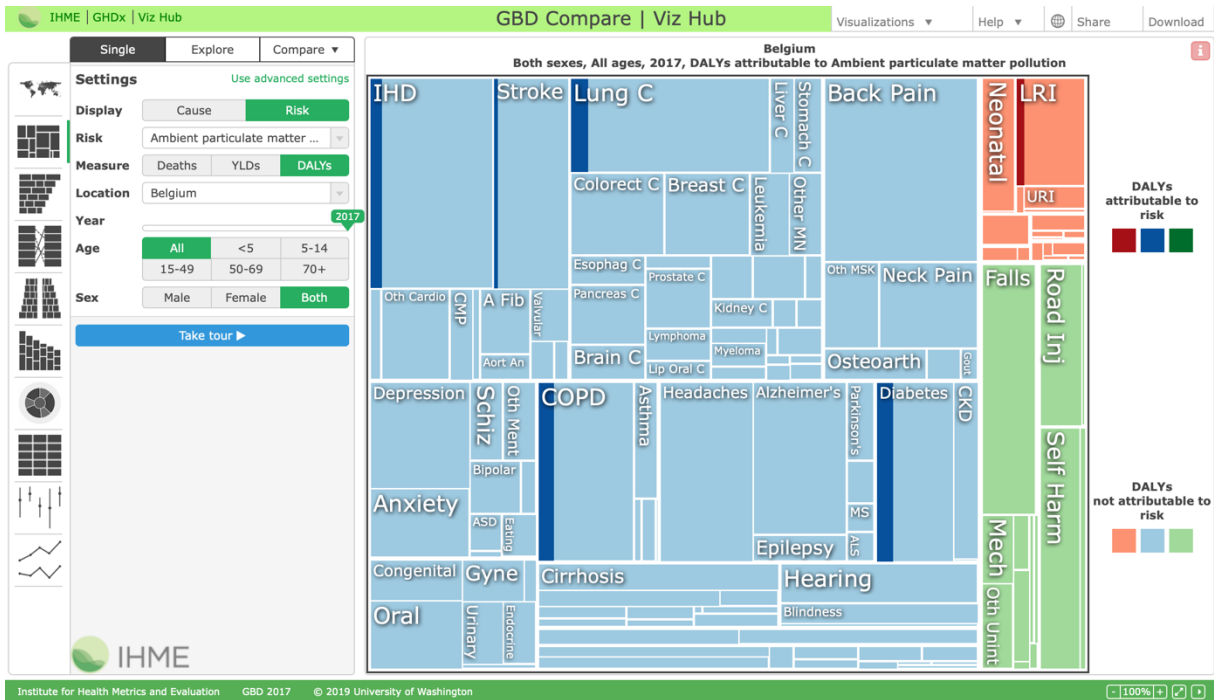
(GBD Compare, sd)



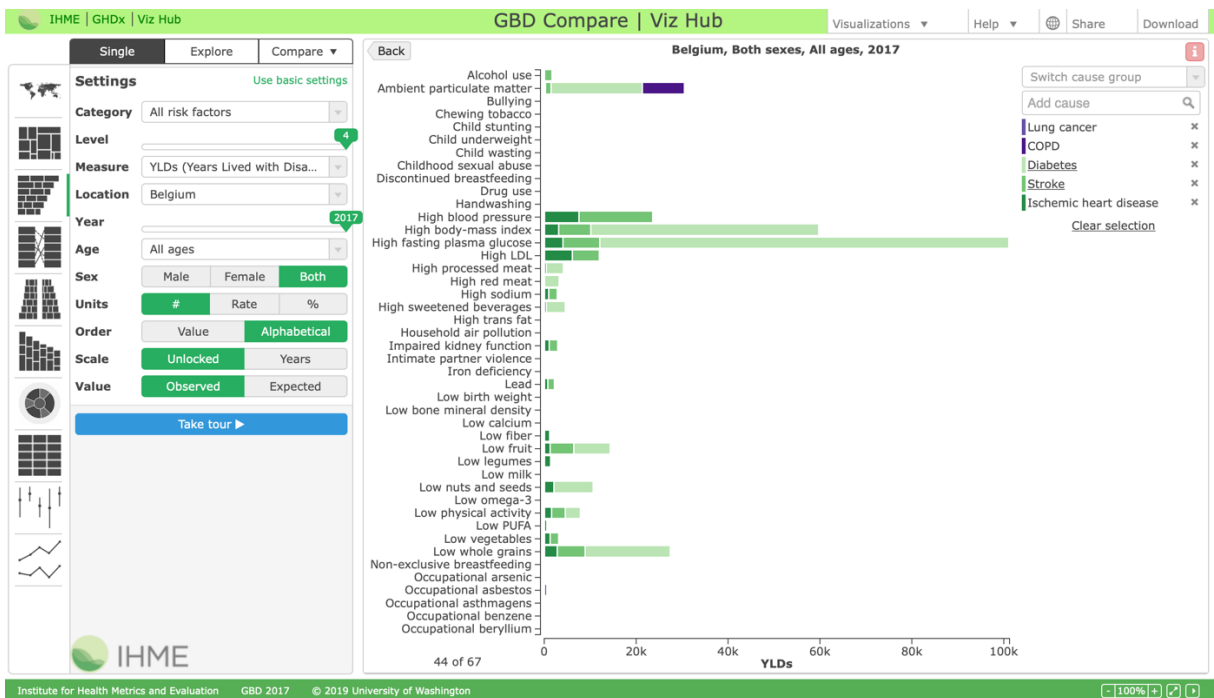
Afbeelding 3 Instellingen GBD Compare Tool, YLD



Afbeelding 4 Instellingen GBD Compare Tool, Deaths



Afbeelding 5 Instellingen GBD Compare Tool, DALY



Afbeelding 6 Instellingen GBD Compare Tool, #YLD

