



Informing you on ambient air quality
in the Belgian Regions

JAARRAPPORT Luchtkwaliteit in België 2022

Documentbeschrijving

Titel

Jaarrapport luchtkwaliteit in België 2022

Auteurs

Dit rapport kwam tot stand door de samenwerking van alle collega's van IRCEL – CELINE Lucht: Frans Fierens, Charlotte Vanpoucke, Elke Trimpeneers, Roman Dumoulin, Philippe Maetz, Virginie Hutsemékers, Christophe Degrave

Datum

11 oktober 2023

Contact

info@irceline.be

www.irceline.be

Dankwoord

Dit rapport is tot stand gekomen dankzij de luchtkwaliteits- en meteorologische data, verzameld in de meetnetten van de drie gewesten. IRCEL dankt dan ook alle medewerkers van de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), l'Institut Scientifique de Service Public (ISSeP), l'Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC) en van Leefmilieu Brussel (LB-BE).

Inhoudsopgave

1	Samenvatting	7
2	Inleiding	11
3	Wettelijke bepalingen	13
3.1	Europese regelgeving	13
3.2	Wereldgezondheidsorganisatie	13
4	Periodes met verhoogde luchtverontreiniging –smogepisodes–	15
4.1	Winter- en lentesmog	15
4.2	Zomersmog	16
5	Fijn stof	19
5.1	PM ₁₀	20
5.1.1	PM ₁₀ -meetstations	20
5.1.2	PM ₁₀ -jaargemiddelde concentratie	20
5.1.3	PM ₁₀ -daggemiddelde concentratie	21
5.2	PM _{2,5}	25
5.2.1	PM _{2,5} -meetstations	25
5.2.2	PM _{2,5} -jaargemiddelde concentratie	25
5.2.3	Gemiddelde blootstellingsindex	26
5.3	Black Carbon (BC)	28
5.3.1	BC-meetstations	28
5.3.2	BC-jaargemiddelde concentratie	28
6	Stikstofdioxiden	30
6.1	NO ₂ -meetstations	30
6.2	NO ₂ -jaargemiddelde concentratie	30
6.3	NO ₂ -uurgemiddelde concentratie	32
7	Ozon	36
7.1	Ozonmeetstations	36
7.2	Ozon en impact op de gezondheid	37
7.2.1	NET60	37
7.2.2	AOT60	38
7.3	Ozon en vegetatie	39
7.3.1	AOT40 voor vegetatie	39
7.3.2	AOT40 voor bossen	40
7.4	Ozonjaargemiddelde concentratie	40

7.5	Evolutie in ozonconcentratieklassen	41
8	Zwavel dioxide	47
8.1	SO ₂ -meetstations	47
8.2	SO ₂ -uurgemiddelde concentratie	47
8.3	SO ₂ -daggemiddelde concentratie	48
8.4	SO ₂ -jaargemiddelde concentratie	48
9	Besluit	51
10	Bijlage A: Meetstations	53
11	Bijlage B: Jaaroverzicht van luchtkwaliteitspolluenten	56
12	Bijlage C: Interpretatie van boxplots	60
13	Bijlage D: Onzekerheidskaarten	61

Lijst van afkortingen en verklarende woordenlijst

AOT40 voor vegetatie

Accumulated Ozone Exposure above a Threshold of 40 ppb (= 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$): het verschil tussen het uurgemiddelde boven 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ voor alle uurwaarden tussen 8 u en 20 u MET in de maanden mei, juni en juli (groeiseizoen). Indicator ter bescherming van de gewassen en de (semi-)natuurlijke vegetatie.

AOT40 voor bossen

Accumulated Ozone Exposure above a Threshold of 40 ppb (= 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$): het verschil tussen het uurgemiddelde boven 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ voor alle uurwaarden tussen 8 u en 20 u MET in de maanden april–september. Indicator ter bescherming van de bossen.

AOT60

Accumulated Ozone Exposure above a Threshold of 60 ppb (= 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$): het verschil tussen de dagelijkse hoogste 8-uurgemiddelde concentratie hoger dan 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, gesommeerd over een kalenderjaar.

BC

Black Carbon ofwel roet is een deel van fijn stof en is vooral afkomstig van dieselauto's en verbranding van biomassa.

GBI

Gemiddelde Blootstellingsindex: nationale indicator die wordt berekend als het gemiddelde over drie jaar van gemeten $\text{PM}_{2,5}$ -concentraties in stedelijke achtergrondstations.

LTD

Langetermijndoelstelling

MLTD

Middellangetermijndoelstelling

NET60

Number of Exceedances above a Threshold of 60 ppb (= 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$): aantal dagen waarop de hoogste 8-uurgemiddelde ozonconcentratie hoger dan 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ was.

NO_x

Verzamelnaam voor een gasmengsel dat bestaat uit stikstofmonoxide (NO) en stikstofdioxide (NO_2).

O_3

Ozon: zeer reactief gas dat in de troposfeer gevormd wordt door de inwerking van uv-licht op bepaalde verbindingen aanwezig in de lucht, de zogeheten precursoren. Ozon wordt voornamelijk gevormd op warme en zonnige zomerdagen.

Ozondag

Een dag waarop de maximale uurgemiddelde ozonconcentratie in minstens één meetstation in België hoger is dan 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

PM_{10}

Particulate Matter, ofwel fijn stof, met een diameter kleiner dan 10 μm .

$\text{PM}_{2,5}$

Particulate Matter, ofwel fijn stof, met een diameter kleiner dan 2,5 μm .

RIO

Interpolatietechniek gebruikt in dit rapport om een ruimtelijk beeld te scheppen van de luchtkwaliteit in België.

Smog

Een toestand met verhoogde luchtverontreiniging. In de winter (of in de lente) vooral veroorzaakt door fijn stof, in de zomer door ozon.

SO₂

Zwavel dioxide: een kleurloos gas met een karakteristieke irriterende geur en smaak bij hoge concentraties.

Temperatuursinversie

Meteorologisch fenomeen waarbij de luchttemperatuur lager is dicht bij de grond dan in de hogere luchtlagen. Dat zorgt ervoor dat de luchtvervuiling niet kan stijgen en aan de grond blijft hangen.

UNECE

United Nations Economic Commission for Europe.

VOC

Vluchtige Organische Componenten: een mengeling van gasvormige verbindingen met koolstof en waterstof als belangrijkste elementen. Ze vormen een precursor van ozon.

WGO

Wereldgezondheidsorganisatie

1 Samenvatting

De laatste drie decennia verbetert de luchtkwaliteit in België stapsgewijs. Ondanks die gestage verbetering bleven alle inwoners in 2022 blootgesteld aan vervuiling boven de advieswaarden van de wereldgezondheidsorganisatie (WGO).

De laatste 25 jaar dalen de jaargemiddelde concentraties van PM₁₀, NO₂ en SO₂ stelselmatig. Enkel voor ozon wordt een licht stijgende trend waargenomen. De luchtkwaliteit in 2022 was vergelijkbaar met of beter dan het gemiddelde van de afgelopen tien jaar en volgt dus de langetermijntrend. Op kortere termijn is de trend verstoord door de COVID-19-pandemie: in vergelijking met 2020 geldt er voor 2021 en 2022 een toename van de luchtvervuiling.

Onderstaande tabel 1 toont de verschillende luchtkwaliteitsindicatoren voor België in 2022 en vergelijkt die via een kleurencode met gemiddelden van de 10 voorafgaande jaren: 2012–2021. De cijfers zijn gebaseerd op de berekeningen met de RIO-interpolatietechniek, met een ruimtelijke resolutie van 4x4 km². De cijfers zijn dus representatief voor gebieden van 4 km op 4 km, waaruit volgt dat de concentraties (of het aantal overschrijdingen) lokaal hoger of lager kunnen zijn. Voor pollutanten die sterk bepaald worden door plaatselijke emissies, zoals NO₂ door verkeeremissies, kan de beoordeling lokaal sterk verschillen van deze op het 4x4 km² niveau.

Voor PM_{2.5} en stikstofdioxide zijn alle indicatoren beduidend lager dan het gemiddelde van de tien voorafgaande jaren: zowel de indicatoren voor een lange periode (jaargemiddelden) als voor korte periodes (uurgemiddelden) telkens voor het minimum, gemiddelde en maximum van de 4x4 km² gebieden. Voor zwaveldioxide staan de indicatoren al meer dan tien jaar op zeer lage niveaus. Voor PM₁₀ zijn de indicatoren ofwel beduidend lager dan, ofwel slechts vergelijkbaar met, het voorbije tienjaarsgemiddelde. Deze stagnatie is, zeker ten dele, het gevolg van emissiereducties tijdens de COVID-19-pandemie die niet volgehouden werden.

Voor deze pollutanten, fijn stof, NO₂ en SO₂, zijn geen overschrijdingen van de Europese grens- of streefwaarde meer waarneembaar op het 4x4 km² niveau. Voor fijn stof en stikstofdioxide worden de advieswaarden van de WGO wel in grote gebieden overschreden.

Voor ozon zijn alle indicatoren (met uitzondering van het aantal dagen met een uurgemiddelde boven 240 µg/m³) vergelijkbaar of beduidend slechter dan het tienjaarsgemiddelde. De jaargemiddelde ozonconcentratie, een maat voor het achtergrondniveau in België, vertoont de laatste 15 jaar een licht stijgende trend. De ozonindicatoren die de overmaat boven een bepaalde drempel weergeven vertonen een grillige trend, 2022 was over het algemeen een gemiddeld ozonjaar maar de belasting op bossen en de vijfjaarsgemiddelde belasting op vegetatie waren hoog. De middellangetermijndoelstellingen voor ozon voor de bescherming van de gezondheid en de vegetatie werden gehaald. De langetermijndoelstellingen voor de ozonblootstelling worden nog steeds overschreden.

Tabel 2 geeft het percentage van de bevolking dat potentieel wordt blootgesteld aan concentraties boven de EU-grenswaarden enerzijds, en de advieswaarden van de WGO anderzijds.

Men kan besluiten, op basis van die berekeningen, dat niemand in België werd blootgesteld aan overschrijdingen van de Europese grens- of advieswaarden voor fijn stof, stikstofdioxide of zwaveldioxide. De bevolkingsblootstelling wordt geschat op basis van de RIO-berekeningen van de luchtkwaliteit in de roostercellen van 4x4 km² en het aantal overeenkomstige inwoners in deze roostercellen. Deze relatief lage ruimtelijke resolutie verklaart waarom 0 % van de bevolking werd blootgesteld aan concentraties hoger dan de NO₂-grenswaarde van de Europese richtlijn. Vooral voor pollutanten zoals NO₂ of PM_{2.5} die sterk bepaald worden door de bijdrage van lokale emissiebronnen, is dit een onderschatting.




Voor ozon wordt de langetermijndoelstelling om op geen enkele dag een 8-uurgemiddelde boven 120 µg/m³ te bereiken voor de totale bevolking overschreden. De middellangetermijndoelstelling om, gemiddeld over 3 jaar, maximum 25 dagen per jaar een 8-uurgemiddelde boven 120 µg/m³ te bereiken, wordt wel overal behaald.

Bij vergelijking van de indicatoren met de advieswaarden opgesteld door de WGO, in plaats van de grenswaarden van de EU, is de situatie minder gunstig: 74,4 % van de Belgische bevolking woont in een gebied waar de jaargemiddelde PM₁₀-concentratie de WGO-advieswaarde van 15 µg/m³ overschrijdt, 94,5 % van de Belgische bevolking woont in een gebied waar de jaargemiddelde PM_{2.5}-concentratie de WGO-advieswaarde van 5 µg/m³ overschrijdt en 75,6 % in een gebied waar de jaargemiddelde NO₂-

concentratie de WGO-advieswaarde van $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ overschrijdt.

Concluderend kan gesteld worden dat in 2022 de $\text{PM}_{2.5}$ -, NO_2 - en SO_2 -concentraties verder gedaald zijn terwijl PM_{10} - en ozonconcentraties stagneren of stijgen. Evoluties gedurende de laatste jaren worden gedomineerd door de impact van de COVID-19-pandemie. Als gemiddelde in de $4 \times 4 \text{ km}^2$ roostercellen blijven de concentraties fijn stof, stikstofdioxide en zwaveldioxide onder de Europese grens- of streefwaarden. Voor ozon werden de doelstellingen niet gehaald. Het merendeel van de bevolking blijft blootgesteld aan concentraties boven de WGO-advieswaarden voor zowel PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, ozon als NO_2 .

Tabel 1: Luchtkwaliteitsindicatoren voor België, 2022

Indicator	min.	gem.	max.	Europese grens- of streefwaarde	WGO-advieswaarde (2021)
PM₁₀					
Jaargemiddelde conc. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	7	15	25	40	15
Aantal dagen $>50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0	3	16	Max. 35 dagen	
Aantal dagen $>45 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0	5	23		Max. 3 dagen
PM_{2.5}					
Jaargemiddelde conc. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	4	8	14	25	5
Ozon					
Aantal dagen $>180 \mu\text{g}/\text{m}^3$		7			
Aantal dagen $>240 \mu\text{g}/\text{m}^3$		0			
Aantal dagen hoogste 8-uurgem. $>120 \mu\text{g}/\text{m}^3$	4	17	28	MLTD: 25 dagen, LTD: 0 dagen	0 dagen met hoogste 8-uurgem. $>100 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Aantal dagen hoogste 8-uurgem. $>120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (gem. 2020–2022)	5	14	23	MLTD: 25 dagen, LTD: 0 dagen	0 dagen met hoogste 8-uurgem. $>100 \mu\text{g}/\text{m}^3$
AOT60 ($(\mu\text{g}/\text{m}^3)\cdot\text{u}$)	352	1997	3720	5800***	
AOT40 voor vegetatie ($(\mu\text{g}/\text{m}^3)\cdot\text{u}$)	3370	11633*	17861	MLTD: 18000, gem. over 5 jaar, LTD: 6000	
AOT40 voor vegetatie ($(\mu\text{g}/\text{m}^3)\cdot\text{u}$) (gem. 2018–2022)	3127	12001*	17251	MLTD: 18000, gem. over 5 jaar, LTD: 6000	
AOT40 voor bossen ($(\mu\text{g}/\text{m}^3)\cdot\text{u}$)	6131	21687**	32603	Kritiek niveau: 10000***, referentieniveau: 20000***	
NO₂					
Jaargemiddelde conc. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3	9	30	40	10
19 ^{de} hoogste uurgem. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	17	36	88	200	Hoogste uurgem.: 200
SO₂					
25 ^{ste} hoogste uurgem. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1	2	18	350	
4 ^{de} hoogste daggem. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1	1	12	125	Hoogste daggem.: 40
Overschrijding van de Europese grens- of streefwaarde.					
* Gewogen gemiddelde van de vegetatie-oppervlakte.					
** Gewogen gemiddelde van de bosoppervlakte.					
*** Niet in richtlijn 2008/50/EG.					
	Waarde beduidend lager dan het voorbije 10-jaarsgemiddelde.				
	Waarde vergelijkbaar met het voorbije 10-jaarsgemiddelde.				
	Waarde beduidend hoger dan het voorbije 10-jaarsgemiddelde.				

Tabel 2: Percentage van de bevolking of de vegetatieoppervlakte potentieel blootgesteld aan waarden boven de Europese grens- of streefwaarde of WGO-advieswaarde

Indicator	Europese grens- of streefwaarde	Bevolking of vegetatie met blootstelling boven de Europese grens- of streefwaarde	WGO-advieswaarde (2021)	bevolking met blootstelling boven de WGO-advieswaarde
PM₁₀				
Jaargemiddelde	40 µg/m ³	0 %	15 µg/m ³	74,4 %
Aantal dagen >50 µg/m ³	Max. 35 dagen	0 %		
Aantal dagen >45 µg/m ³			Max. 3 dagen	73,9 %
PM_{2.5}				
Jaargemiddelde	25 µg/m ³	0 %	5 µg/m ³	94,5 %
Ozon				
Aantal dagen met hoogste 8-uurgem. >120 µg/m ³	LTD: 0 dagen	100,0 %	Hoogste 8-uurgem. >100 µg/m ³	100,0 %
Aantal dagen met hoogste 8-uurgem. >120 µg/m ³ (gem. 2020–2022)	MLTD: 25 dagen gem. over 3 jaar	0 %		
AOT60	5800* (µg/m ³).u	0 %		
AOT40 voor vegetatie	LTD: 6000 (µg/m ³).u	99,7 %		
AOT40 voor vegetatie (gem. 2018–2022)	MLTD: 18000 (µg/m ³).u gem. over 5 jaar	0 %		
AOT40 voor bossen	Kritiek niveau: 10000* (µg/m ³).u	100,0 %		
AOT40 voor bossen	Referentieniveau: 20000* (µg/m ³).u	72,0 %		
NO₂				
Jaargemiddelde	40 µg/m ³	0 %	10 µg/m ³	75,6 %
Uurgem. >200 µg/m ³	Max. 18 uur	0 %	0 uur	0 %
SO₂				
Daggemiddelde >125 µg/m ³	Max. 3 dagen	0 %	daggemiddelde >40 µg/m ³	0 %
Uurgem. >350 µg/m ³	Max. 24 uur	0 %		
* Niet in richtlijn 2008/50/EG				
	0 %			
	>0 % en ≤ 50%			
	>50 %			

2 Inleiding

Dit rapport geeft een overzicht van de luchtkwaliteit in 2022 in België. De luchtkwaliteit wordt bepaald door de combinatie van verschillende vervuulende stoffen die gemeten worden in de meetnetten van de drie gewesten.

BOX 1: Aanpassing kleuren en schaal

De WGO publiceerde in september 2021 een actualisatie van de advieswaarden voor verschillende luchtvervuulende stoffen [14], zie tabel 4. Op basis van de recentste wetenschappelijke inzichten werd geconcludeerd dat de nadelige effecten van luchtvervuiling zich reeds bij blootstelling aan lagere concentraties voordoen. De kleuren en schalen in dit rapport werden aangepast om op een logische manier overeen te komen met de WGO-advieswaarden. In vergelijking met vorige jaarrapporten wordt de luchtkwaliteit strenger beoordeeld, dit weerspiegelt beter de impact op de gezondheid van de lucht die we inademen. Op irceline.be werd een duiding bij de schalen gepubliceerd.

In Vlaanderen worden de meetnetten uitgeroepen door de [Vlaamse Milieumaatschappij \(VMM\)](#), in Wallonië door l'[Institut Scientifique de Service Public \(ISSeP\)](#) en het [Agence Wallonne de l'Air et du Climat \(AWAC\)](#) en in Brussel door [Leefmilieu Brussel](#). De meetwaarden worden verzameld door IRCEL en opgeslagen in de intergewestelijke luchtdatabank.

Dit rapport beschrijft de toestand van de luchtkwaliteit in 2022 en de evolutie van de luchtkwaliteit in België de laatste jaren. De pollutanten PM₁₀, PM_{2.5}, BC, O₃, NO₂ en SO₂ worden besproken. Om de concentraties van deze pollutanten te bepalen op plaatsen waar geen metingen worden uitgevoerd, wordt gebruik gemaakt van een interpolatietechniek: RIO.

BOX 2: RIO-interpolatietechniek

In dit rapport wordt gebruikgemaakt van een ruimtelijke interpolatietechniek van luchtkwaliteitsmetingen, genaamd RIO [5][7]. De techniek laat toe om de concentraties en de blootstelling van de bevolking te bepalen op plaatsen waar niet gemeten wordt. Gewone interpolatietechnieken vereisen dat elke meetplaats representatief is voor eenzelfde ruimtelijk gebied. In de praktijk is dat voor luchtverontreiniging echter niet het geval. Concentraties gemeten dicht bij een verontreinigingsbron zullen veelal slechts representatief zijn voor een beperkt gebied rond die bron, terwijl concentraties die gemeten worden in een landelijke zone over het algemeen voor een grotere oppervlakte representatief zijn. RIO werd speciaal ontwikkeld om deze problematiek te omzeilen.

De ruimtelijke resolutie van de RIO-interpolatietechniek is 4x4 km²: het grondgebied van België wordt opgedeeld in vlakken van 4 km op 4 km. Dankzij RIO is het mogelijk om voor elke 4x4 km² roostercel in België de luchtkwaliteit te berekenen. Ontbrekende meetresultaten in meetstations worden ingevuld door de interpolatie van de metingen van de meetplaatsen die wel beschikbaar zijn.

De techniek staat toe om de onzekerheid per roostercel van 4x4 km² te berekenen voor elke pollutant. Voor deze kaarten en een meer gedetailleerde uitleg rond het bepalen van de modelonzekerheid verwijzen we naar Bijlage D.

De RIO-interpolatietechniek wordt gebruikt om de concentraties te bepalen over het volledige grondgebied, in dit rapport wordt niet ingegaan op de metingen in de verschillende individuele meetstations. Daarvoor verwijzen we naar de jaarlijkse publicaties van de gewesten en de jaarlijkse rapportering van België in het kader van de Europese richtlijn 2008/50/EG. In het voorliggende rapport werd RIO-versie 5.0_v2020 gebruikt. Voor de resultaten van andere pollutanten zoals o.a. NO, CO, zware metalen verwijzen we eveneens naar de gewestelijke websites en rapporten: www.vmm.be¹, www.wallonaair.be² en www.leefmilieu.brussels³.

Door de concentratie van een pollutant in een RIO-roostercel te koppelen aan de bevolkingsdichtheid in die roostercel (zie figuur 1) kan ook de blootstelling van de bevolking aan die pollutant berekend worden. Gezien de bevolkingsdichtheid bepaald is op basis van de woonplaatsen en dus geen rekening houdt met verplaatsingen wordt hier steeds 'statische' blootstelling bedoeld.

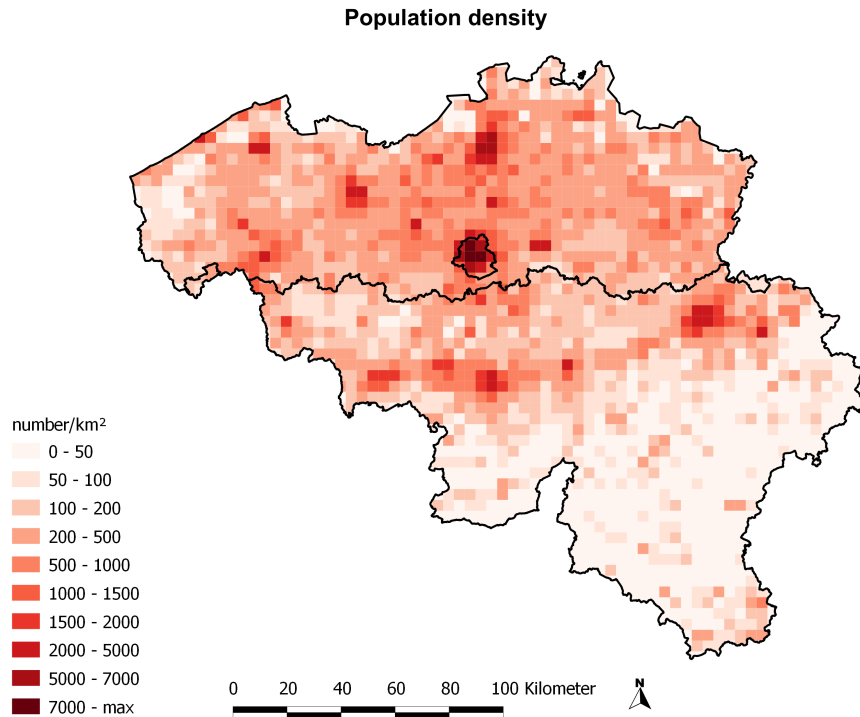
Hoewel de ruimtelijke resolutie van de RIO-interpolatie reeds vrij hoog is, blijven de resultaten uiteraard

¹Hoe evolueert de luchtkwaliteit in Vlaanderen

²Rapports annuels des réseaux de surveillance de la qualité de l'air en Wallonie

³Rapports annuels de la qualité de l'air en région de Bruxelles-Capitale

een benadering van de werkelijkheid. Binnen één roostercel van $4 \times 4 \text{ km}^2$ wordt een homogene concentratie verondersteld. De bevolking binnen een roostercel wordt steeds verondersteld aan exact deze concentratie te zijn blootgesteld. Voor visualisaties van de jaargemiddelde concentraties op hoge resolutie verwijzen we naar de RIO-IFDM- of ATMO-Streetkaarten op de website van IRCEL – CELINE: [NO₂](#), [PM₁₀](#), [PM_{2.5}](#), [BC](#) en [O₃](#).



Figuur 1: Bevolkingsdichtheid per RIO-roostercel (Bron: Bevolkingscijfers Statistics Belgium)

De analyses en visualisaties van de trend van de verschillende indicatoren werden uitgevoerd in het statistische softwarepakket R [10] met behulp van het ‘openair’-pakket [4]. De kaarten in dit jaarrapport werden gemaakt met het geografisch informatiesysteem QGIS [9]. De documentopmaak werd verwezenlijkt met L^AT_EX.

3 Wettelijke bepalingen

3.1 Europese regelgeving

De belangrijkste wettelijke basis inzake luchtkwaliteitsnormen is de richtlijn 2008/50/EG van het Europees Parlement en de Raad van 20 mei 2008 betreffende de luchtkwaliteit en schonere lucht voor Europa [3]. Deze richtlijn formuleert een strategie om in Europa de luchtkwaliteit te beoordelen; om de schadelijke gevolgen te voorkomen, te verhinderen of te verminderen; om correcte informatie te verzamelen en te verspreiden; en om de goede luchtkwaliteit in stand te houden en die in andere gevallen te verbeteren.

De richtlijn bevat hiertoe **grenswaarden**, **streefwaarden**, **informatiedrempels** en **alarmdrempels**. De grens- en streefwaarden zijn opgenomen in tabel 1 en 2, de informatie- en alarmdrempels in tabel 3.

- *Grenswaarden* zijn niveaus die binnen een bepaalde termijn moeten worden bereikt en, wanneer ze eenmaal zijn bereikt, niet meer mogen worden overschreden.
- *Streefwaarden* zijn niveaus die ‘voor zover mogelijk’ binnen een vooropgestelde termijn moeten worden bereikt.
- *Informatiedrempels* zijn niveaus waarboven kortstondige blootstelling een gezondheidsrisico inhoudt voor bijzonder kwetsbare bevolkingsgroepen, en voor wie een onmiddellijke en toereikende informatievoorziening noodzakelijk is.
- *Alarmdrempels* zijn niveaus waarboven een kortstondige blootstelling risico’s inhoudt voor de gezondheid van de bevolking als geheel, en bij het bereiken waarvan de lidstaten onmiddellijk stappen dienen te ondernemen.

Tabel 3: Overzicht van de gemiddelde uurlijkse informatie- en alarmdrempels volgens de EU-richtlijn 2008/50/EG.

Polluent	Informatiedrempel	Alarmdrempel
SO ₂		500 µg/m ³
NO ₂		400 µg/m ³
O ₃	180 µg/m ³	240 µg/m ³

3.2 Wereldgezondheidsorganisatie

De Wereldgezondheidsorganisatie – WGO (World Health Organisation – WHO) heeft een eigen reeks luchtkwaliteits**advieswaarden** opgesteld. De WGO-advieswaarden kwantificeren de concentraties waarbij er een belangrijk risico is voor de publieke gezondheid. In september 2021 werden deze waarden geactualiseerd op basis van recentere wetenschappelijke inzichten en daarbij aanzienlijk verstrengd [14]. Deze advieswaarden worden in dit rapport aan figuren en tabellen toegevoegd waar dat relevant is, zie ook BOX 1. In tabel 4 worden zowel de huidige als de oude advieswaarden uit 2005 gegeven.

De WGO-advieswaarden zijn strenger dan de grens- en streefwaarden van de EU. Europa houdt niet alleen rekening met gezondheidsredenen maar ook met de economische haalbaarheid om tot die doelstellingen te komen.

Tabel 4: Overzicht van de advieswaarden voor luchtkwaliteit van de Wereldgezondheidsorganisatie

Polluent	Middelingstijd	Toegestaan aantal overschrijdingen	Waarde(2005)	Waarde(2021)
PM ₁₀	1 dag	3	50 µg/m ³	45 µg/m ³
	1 jaar		20 µg/m ³	15 µg/m ³
PM _{2.5}	1 dag	3	25 µg/m ³	15 µg/m ³
	1 jaar		10 µg/m ³	5 µg/m ³
NO ₂	1 uur	0	200 µg/m ³	200 µg/m ³
	1 dag	3		25 µg/m ³
	1 jaar		40 µg/m ³	10 µg/m ³
O ₃	8 uur *	0	100 µg/m ³	100 µg/m ³
	6 maanden **			60 µg/m ³
SO ₂	10 minuten		500 µg/m ³	500 µg/m ³
	1 dag	0	20 µg/m ³	40 µg/m ³

* Hoogste 8-uurgemiddelde van een dag

** Glijdend 6-maandgemiddelde van de hoogste 8-uurgemiddelde van een dag tijdens het piekseizoen

4 Periodes met verhoogde luchtverontreiniging –*smogepisodes*–

De concentraties van luchtverontreinigende stoffen in de omgevingslucht variëren van dag tot dag en zelfs van uur tot uur. Dat heeft verschillende oorzaken. In de eerste plaats zijn de concentraties afhankelijk van de vervuiling die uitgestoten wordt door menselijke en natuurlijke bronnen. Daarnaast kunnen pollutanten gevormd of verwijderd worden door verschillende fysicochemische reacties in de atmosfeer, kunnen ze door depositie uit de lucht worden verwijderd of kunnen ze door de wind over een grote afstand verspreid worden. Als de verontreinigende stoffen origineel in het buitenland uitgestoten worden en vervolgens in België terechtkomen, spreken we van import. Bijgevolg zijn, naast de emissies, ook temperatuur, windsnelheid en neerslag belangrijke parameters die de concentratie van een pollutant bepalen.

Wanneer de concentraties van luchtvervuilende stoffen in de lucht te hoog oplopen, ontstaat *smog*. We onderscheiden winter-, zomer- en lentesmog.

Verhoogde luchtvervuiling door fijn stof en stikstofdioxide tijdens de winter (**wintersmog**) komt meestal voor bij stabiele weersomstandigheden met weinig wind en bij de aanwezigheid van een temperatuursinversie. De ‘dispersie’- of verspreidingsomstandigheden van de luchtvervuiling in de atmosfeer zijn dan slecht. Een temperatuursinversie op lage hoogte zorgt ervoor dat de luchtvervuiling (veroorzaakt door emissies en/of import) als het ware aan de grond blijft hangen, ‘gevangen’ onder de warmere luchtlag erboven. Wanneer een dergelijke situatie meerdere dagen aanhoudt, kan de luchtvervuiling zich opstapelen en stijgen de concentraties van luchtverontreinigende stoffen geleidelijk.

Verhoogde fijnstofconcentraties kunnen ook het gevolg zijn van een plotse toename van secundair fijn stof. In tegenstelling tot het rechtstreeks uitgestoten of primaire fijn stof, wordt secundair fijn stof gevormd door chemische reacties in de atmosfeer. Uit chemische analyses van fijn stof blijkt dat ‘secundair anorganische ionen’ (bijvoorbeeld ammonium, nitraat, sulfaat) 30–40 % bijdragen tot de totale massa fijn stof [12][13]. Een sleutelcomponent in de vorming van secundair fijn stof is ammoniak. Hoge secundaire fijnstofconcentraties komen dan ook vaak voor in het voorjaar (**lentesmog**), wanneer de landbouwers de stallen schoonmaken en mest uitrijden met hoge ammoniakuitstoot tot gevolg.

Ozonsmogepisodes (**zomersmog**) komen vooral voor op warme en zonnige zomerdagen ($> 25\text{ °C}$) met weinig wind. Zulke meteorologische condities zijn gunstig voor de fotochemische vorming van ozon.

Een smogepisode is (meestal) niet uitsluitend toe te schrijven aan één oorzaak. Hoge concentraties in de lucht zijn altijd het gevolg van een combinatie van bovenstaande factoren (uitstoot, meteorologische omstandigheden, import, secundaire (foto)chemische reacties) waarbij de ene factor meer of minder doorweegt dan de andere, afhankelijk van de situatie.

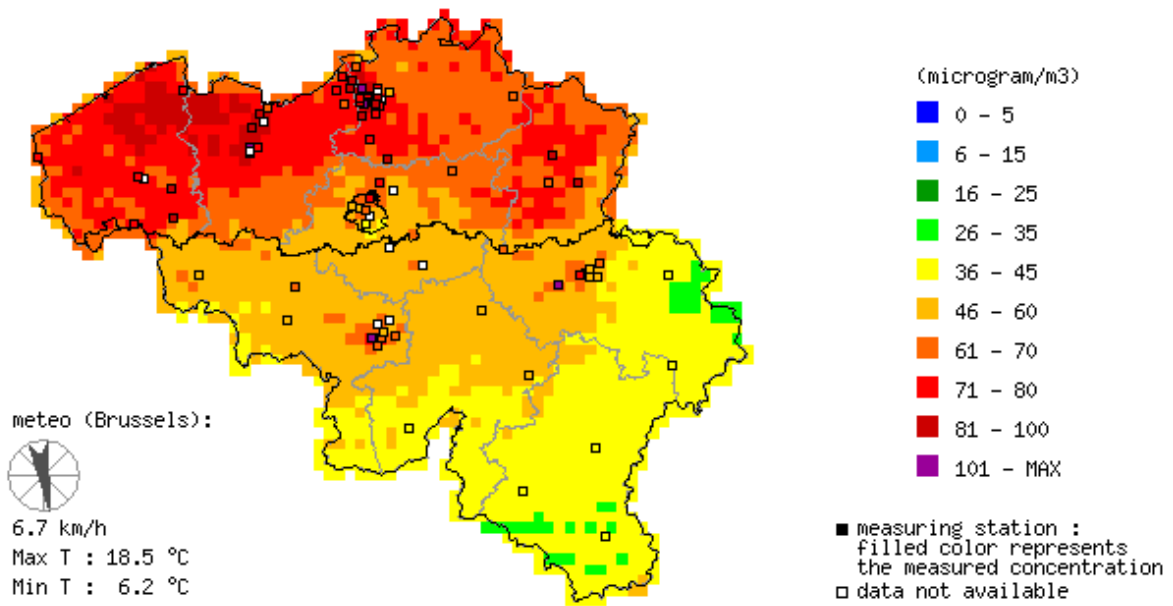
4.1 Winter- en lentesmog

In België is er sinds 2006 het smogalarm dat geactiveerd wordt wanneer de voorspelde daggemiddelde PM_{10} -concentraties gedurende twee opeenvolgende dagen de drempel van $70\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ overschrijden. Sinds 2016 is dit aangevuld met een informatiedrempel van $50\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$. Een informatiebericht wordt verspreid wanneer het gemeten glijdend 24-uurgemiddelde van PM_{10} , als gemiddelde in een gewest, hoger is dan $50\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ en wordt verwacht dat dit nog minstens 24 uur zo zal blijven. In 2019 werden ook voor $\text{PM}_{2.5}$ een informatie- en alarmdrempel geïntroduceerd, deze bedragen respectievelijk 35 en $50\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$.

In 2022 werd de *informatiefase* driemaal geactiveerd.

In de eerste episode, van 25 tot en met 27 januari, werd de informatiedrempel voor zowel PM_{10} als $\text{PM}_{2.5}$ bereikt in Vlaanderen. De belangrijkste verklaring voor deze verhoogde concentraties zijn de ongunstige meteorologische omstandigheden: een temperatuursinversie en weinig wind zorgden voor een erg stabiele atmosfeer waardoor de pollutie niet verdund werd. De tweede smogepisode vond plaats van 21 tot en met 24 maart, waarna de concentraties verder toenamen en van 25 tot en met 26 maart de eerste *alarmfase* sinds 2014 werd afgekondigd. De informatiedrempel werd in elk van de drie regio's bereikt. Uiteindelijk werd enkel in Vlaanderen een daggemiddelde boven $70\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ gemeten: op 24 maart was het gemiddelde over de regio $79\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$. Deze episode werd veroorzaakt door de combinatie van hoge emissies door verkeer, industrie, gebouwenverwarming (vooral houtverbranding) en landbouw en erg stabiele meteorologische omstandigheden. De derde episode vond plaats van 15 tot en met 18 december in elk van de drie gewesten.

Daily average Particulate Matter (PM₁₀) concentrations on: Thursday 24/03/2022



Figuur 2: Daggemiddelde PM₁₀-concentratie op 24 maart 2022.

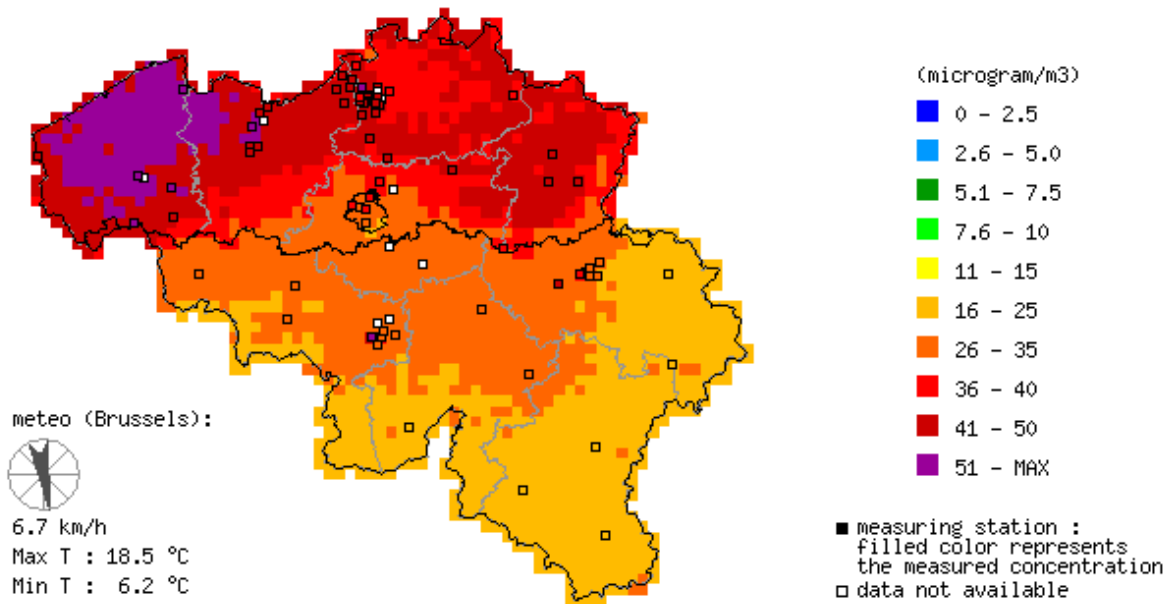
Zie figuren 2 en 3 voor de ruimtelijke spreiding van de daggemiddelde concentraties op 24 maart 2022. Op figuur 4 wordt de evolutie van het glijdend 24-uurgemiddelde, gemiddeld over alle meetstations in een gewest, tijdens de tweede episode weergegeven.

4.2 Zomersmog

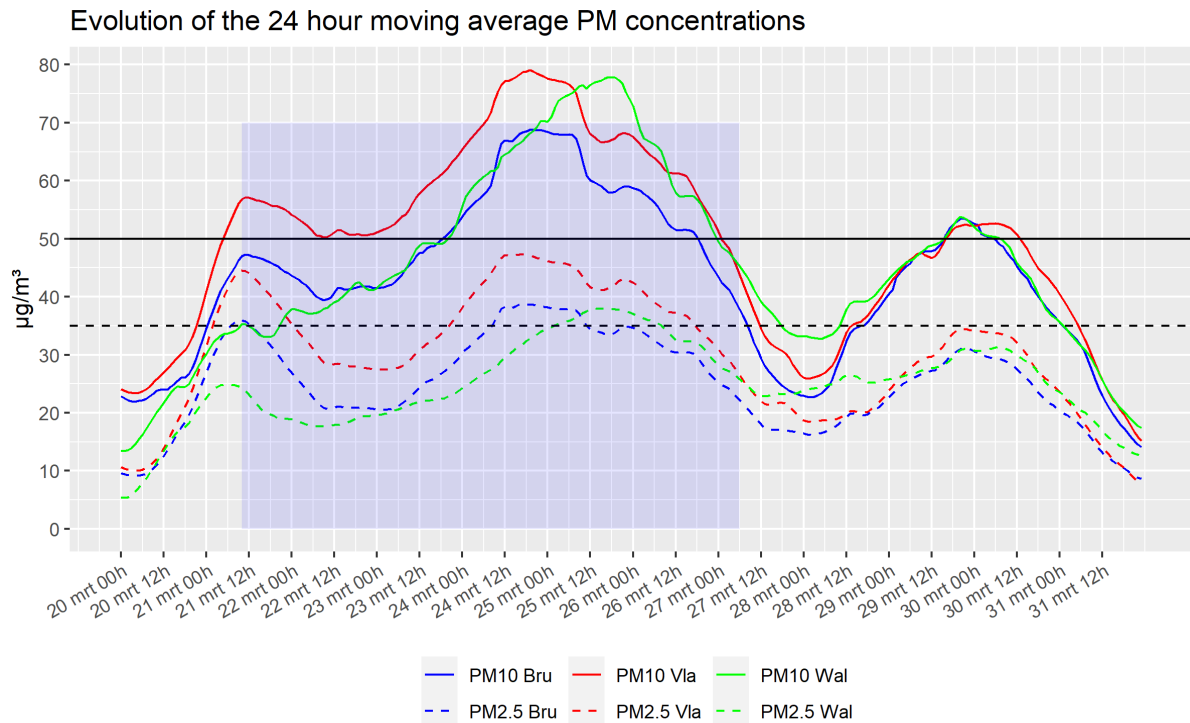
De zomer van het jaar 2022 werd gekenmerkt door een uiterst droge maand juli en een extreem warme en droge maand augustus. Dit had een grote invloed op het optreden van zomersmog: de Europese informatiedrempel van 180 µg/m³ O₃ werd in verschillende meetstations en op meerdere momenten overschreden. Alles samen waren er 7 ozondagen. De maximum uurgemiddelde ozonconcentratie, gemeten op 19 juli, bedraagt 202 µg/m³, 11 augustus was de dag waarop het hoogste aantal overschrijdingen werd waargenomen met 9 % van de bevolking dat potentieel werd blootgesteld aan uurconcentraties van meer dan 180 µg/m³, zie figuren 5 en 6. De Europese alarmdrempel van 240 µg/m³ werd in 2022 niet bereikt.

In 2021 werd, hoogst uitzonderlijk, geen enkele ozondag waargenomen, in 2020 daarentegen werden er nog 13 ozondagen genoteerd. Tijdens de zeer warme zomers van 2003 en 2006 werden respectievelijk 16 en 22 dagen met overschrijding van de informatiedrempel geregistreerd. In 2003 werd de huidige alarmdrempel van 240 µg/m³ op ten minste één meetpunt gedurende 7 dagen overschreden. De smogepisode in augustus 2020 van 8 opeenvolgende ozondagen is de tweede langste sinds 1990. Enkel de reeks van augustus 2003 van 12 opeenvolgende ozondagen is langer.

Daily average Particulate Matter (PM_{2.5}) concentrations on: Thursday 24/03/2022

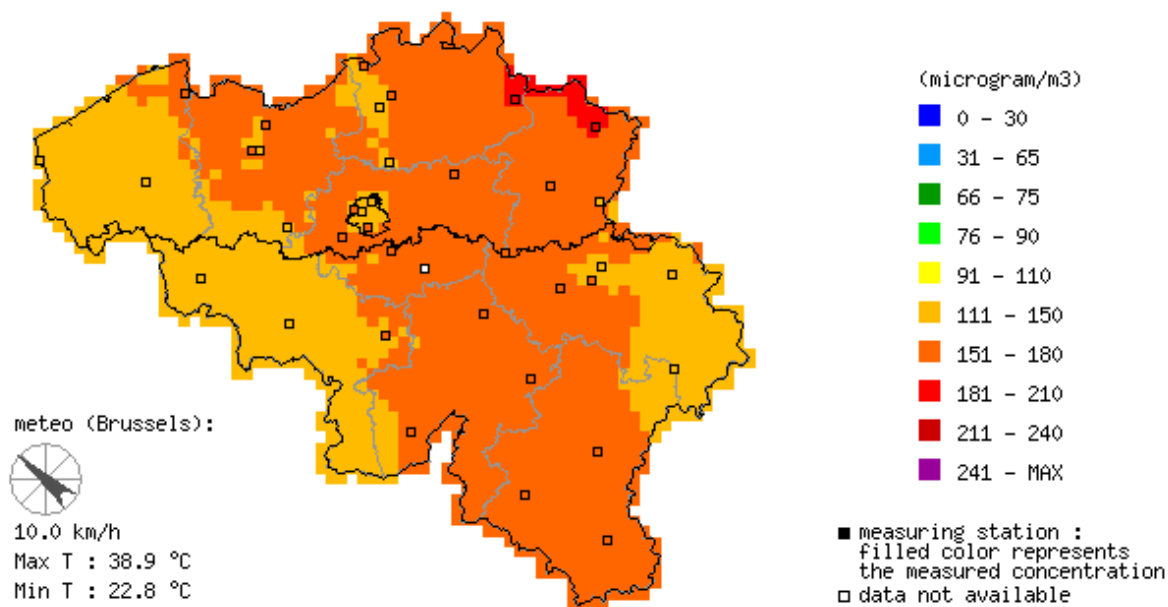


Figuur 3: Daggemiddelde PM_{2.5}-concentratie op 24 maart 2022.



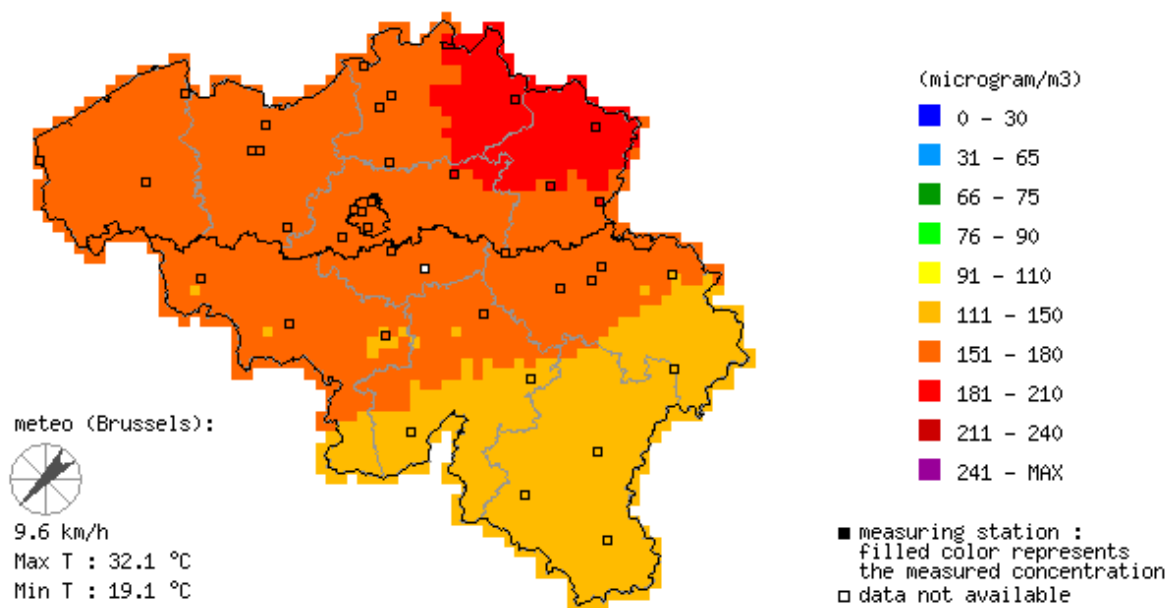
Figuur 4: Evolutie van de glijdende 24-uurgemiddelde PM₁₀- en PM_{2.5}-concentratie gemiddeld over alle meetstations per gewest van 20 maart 2022 tot 31 maart 2022. Deze figuur geeft geen geïnterpoleerde waarden.

Daily highest 1-hourly Ozone concentrations on: Tuesday 19/07/2022



Figuur 5: Hoogste ozonconcentraties op dinsdag 19 juli 2022.

Daily highest 1-hourly Ozone concentrations on: Thursday 11/08/2022



Figuur 6: Hoogste ozonconcentraties op donderdag 11 augustus 2022.

5 Fijn stof

Fijn stof is een verzamelnaam voor alle vaste en vloeibare deeltjes die in de atmosfeer rondzweven. Om de diverse groep exacter te kunnen bespreken onderscheiden we enkele categorieën: PM_{10} , $PM_{2.5}$ en BC.

PM staat voor *particulate matter* of *partikelmaterie*, de subscripten zijn een aanduiding van de grootte. De fractie PM_{10} bestaat uit alle deeltjes die dezelfde eigenschappen hebben als een ideale partikel met een diameter van 10 micrometer (μm) of kleiner. Overeenkomstig wordt met $PM_{2.5}$ de groep van partikels bedoeld die hetzelfde gedrag in de omgevingslucht vertonen als een ideale partikel met een diameter van 2,5 micrometer of kleiner. Uit deze definitie volgt dat $PM_{2.5}$ steeds een subgroep van PM_{10} is, elk fijnstofdeeltje uit de categorie $PM_{2.5}$ wordt ook tot de categorie PM_{10} gerekend.

Een derde categorie, BC of black carbon, is op zijn beurt weer onderdeel van $PM_{2.5}$. Black carbon wordt typisch gevormd bij onvolledige verbranding en is het voornaamste bestanddeel van roet.

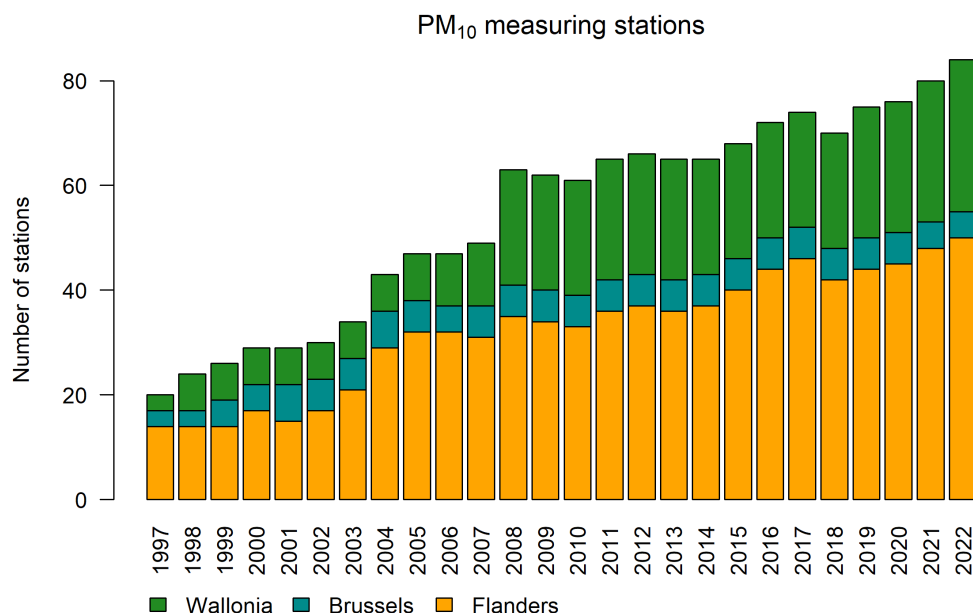
Fijn stof in de atmosfeer kan een natuurlijke oorzaak hebben, zoals zeezoutpartikels en opwaaiend bodemstof, of een menselijke oorzaak, zoals transport, industrie, landbouw en gebouwverwarming. Het fijn stof kan rechtstreeks door al deze bronnen uitgestoten worden, of kan in de atmosfeer zelf gevormd worden: door chemische en fysische reacties worden gasvormige componenten omgezet tot deeltjes. Fijn stof dat rechtstreeks wordt uitgestoten noemen we *primair* fijn stof. Fijn stof dat pas in de atmosfeer is gevormd, wordt aangeduid als *secundair* fijn stof. Primair fijn stof en de *precursoren* die zorgen voor secundair fijn stof, kunnen over grote afstanden getransporteerd, en dus naar of van het buitenland geëxporteerd of geïmporteerd, worden.

De belangrijkste gezondheidseffecten door luchtvervuiling zijn te wijten aan de *chronische* of langetermijnblootstelling aan fijn stof. Volgens de WGO is er geen drempelwaarde waaronder geen nadelige effecten voorkomen.

5.1 PM₁₀

5.1.1 PM₁₀-meetstations

In 2022 werden concentraties van PM₁₀ gemeten in 84 stations, dat is het hoogste aantal sinds 1997. De toename aan meetstations, zoals te zien in figuur 7, zorgt voor een afname van de onzekerheid op de geïnterpoleerde waarden die besproken worden in dit hoofdstuk.



Figuur 7: Evolutie van het aantal PM₁₀-meetstations in België.

5.1.2 PM₁₀-jaargemiddelde concentratie

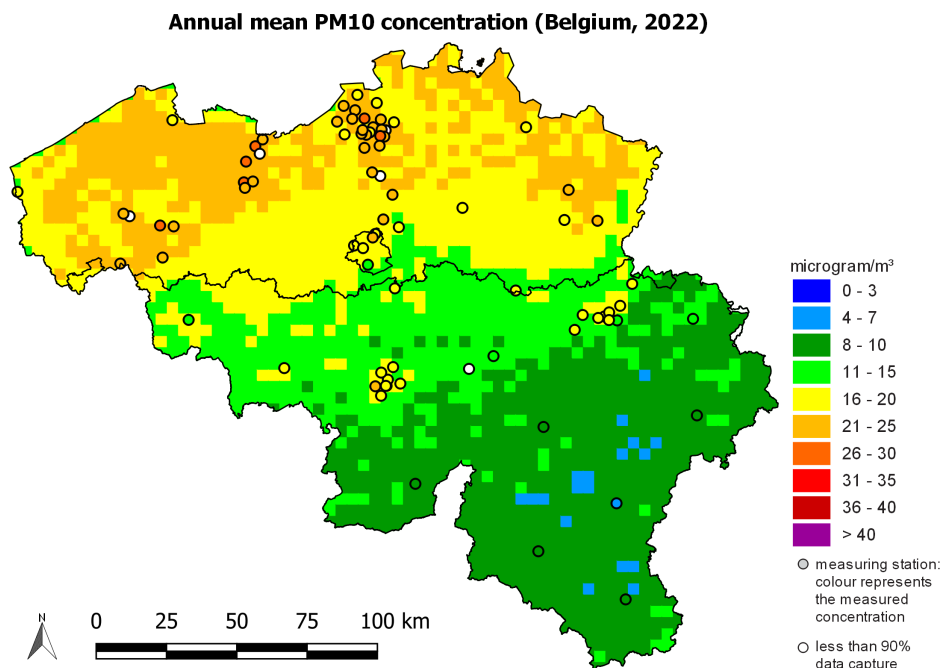
Figuur 8 geeft een kaart van België met de jaargemiddelde concentratie van PM₁₀ per roostercel. De hoogste concentraties, 20 à 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ situeren zich in het noorden van Vlaanderen. In het zuiden van het land zijn de concentraties het laagst met uitzondering van de zones rond Bergen, Charleroi en Luik. De onzekerheid op deze kaart is te vinden in Bijlage D.

De 2008 waarden uit figuur 8 kunnen ook in een boxplot⁴ weergegeven worden. In figuur 9 wordt dit gedaan voor 2022 en alle voorgaande jaren sinds 1997. Op deze manier is de trend van de maximumwaarde, het gemiddelde en de mediaan, en het minimum observeerbaar. De Europese grenswaarde bedraagt 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ als jaargemiddelde concentratie. Het is duidelijk dat ook in 2022 deze grens voor geen enkel van de 4x4 km² vlakken overschreden werd. De advieswaarde van de WGO bedraagt 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, in 2022 werd deze waarde in 47 % van de RIO-roosterzellen overschreden.

In 2022 bedroeg de jaargemiddelde PM₁₀-concentratie over alle RIO-roosterzellen in België 14,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. In het Brussels gewest bedroeg die jaargemiddelde concentratie 16,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, in het Vlaamse 19,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en in het Waalse 10,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Het bevolkingsgewogen jaargemiddelde voor België is met 17,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hoger dan het rekenkundig gemiddelde, op plaatsen waar veel mensen wonen zijn de jaargemiddelde concentraties hoger.

In 2022 werd niemand van de Belgische bevolking blootgesteld aan jaargemiddelde concentraties boven de Europese grenswaarde van 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (figuur 10). Ten opzichte van het jaar 2020, met meer maatregelen om SARS-CoV-2-besmettingen te beperken, is er een toename van de blootstelling aan hogere concentraties. Ten opzichte van 2021 is de blootstelling quasi identiek. Over meerdere jaren kan wel een dalende trend waargenomen worden. In 2022 werd 74 % van de bevolking blootgesteld aan PM₁₀-concentraties

⁴Voor de interpretatie van boxplots, zie bijlage C



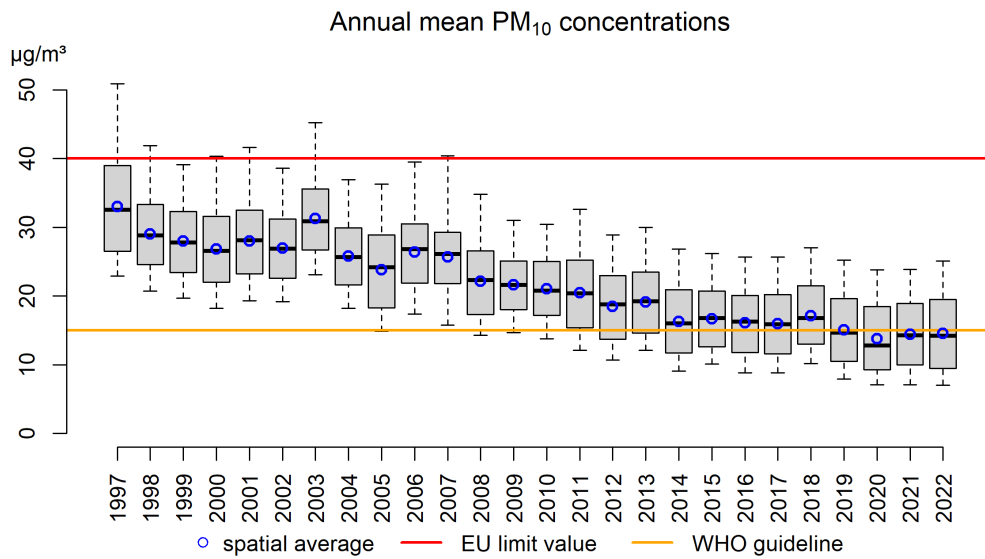
Figuur 8: Ruimtelijke spreiding van de jaargemiddelde PM₁₀-concentratie in België in 2022, berekend op basis van de RIO-interpolatietechniek

die hoger zijn dan de WGO-advieswaarde (15 µg/m³), terwijl dat in 2017 nog 84 %, in 2011 nog 97 % en in 2007 nog 100 % was.

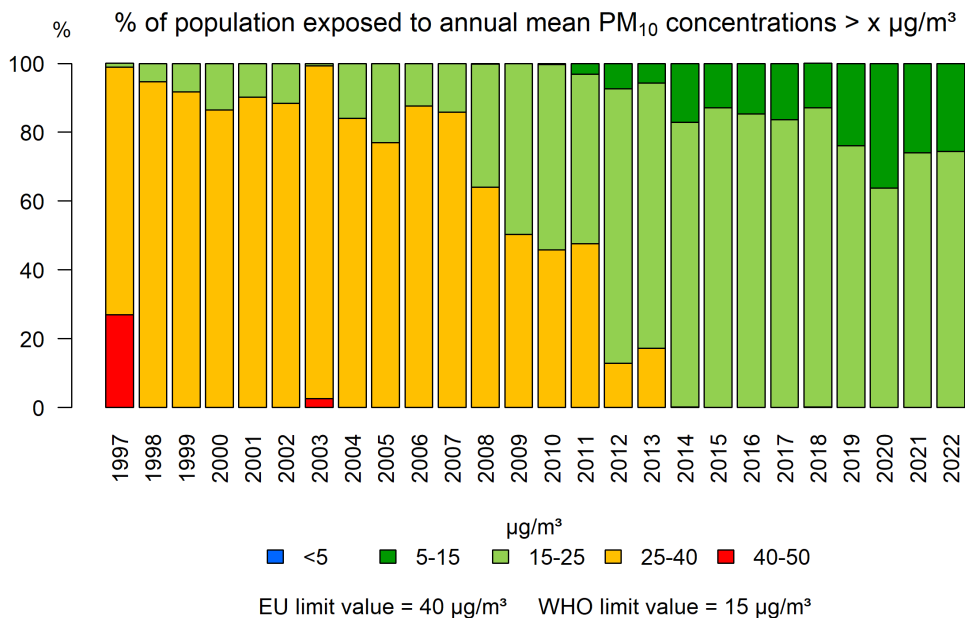
5.1.3 PM₁₀-daggemiddelde concentratie

De EU-grenswaarde voor de bescherming van de bevolking tegen de kortdurende blootstelling aan PM₁₀ is een daggemiddelde PM₁₀-concentratie van 50 µg/m³. Volgens de EU-richtlijn zijn maximum 35 overschrijdingen toegestaan. Figuur 11 toont het aantal dagen, voor elk van de 4x4 km² vlakken, waarop de daggemiddelde concentratie deze grens overschreed. De EU-drempel voor het aantal overschrijdingen werd nergens gepasseerd. Het maximum werd berekend op 16 overschrijdingen in 2022, dat is hoger dan in de afgelopen jaren 2020 en 2021. Fluctuaties tussen verschillende jaren kunnen te wijten zijn aan onder andere meteorologische omstandigheden. Op lange termijn is er een dalende trend waarneembaar in het aantal overschrijdingsdagen in België sinds 1997 wat aangeeft dat de vastgestelde daling van de uitstoot van primair fijn stof en fijnstofprecursoren een gunstig effect heeft op het aantal overschrijdingsdagen. Het WGO-luchtkwaliteitsadvies schrijft dan weer een maximum van 3 overschrijdingen van een daggemiddelde PM₁₀-concentratie van 45 µg/m³ voor, figuur 12 toont de evolutie van de overschrijdingen van de WGO-grens.

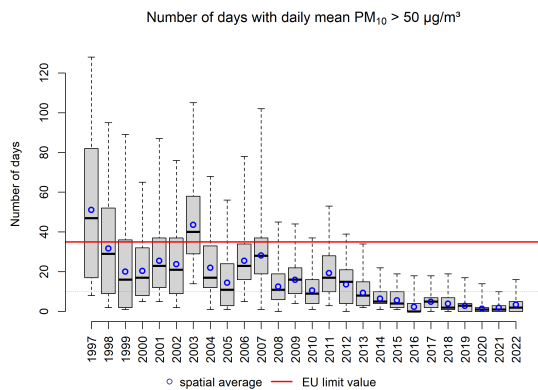
Figuur 13 geeft een kaart van België met het aantal overschrijdingen. Het aantal dagen met een gemiddelde concentratie boven 50 µg/m³ is het hoogst in de steden Gent en Antwerpen en in de provincie West-Vlaanderen. De WGO-drempel van 3 overschrijdingsdagen werd in 989 (of 47 %) van de roosterzellen overschreden. Gekoppeld aan de bevolkingsdichtheid in de roosterzellen kan ook de blootstelling berekend worden, zie figuur 14 voor overschrijdingen van de EU-grenswaarde en figuur 15 voor overschrijdingen van de WGO-advieswaarde. In 2022 werd 74 % van de bevolking meer dan 3 dagen blootgesteld aan een daggemiddelde concentratie hoger dan 45 µg/m³, dat is boven het maximum aantal overschrijdingen dat de WGO adviseert. Dat aandeel neemt op lange termijn sterk af, in 2017 bedroeg het nog 93 %. Echter, ten opzichte van de recente jaren 2020 en 2021 is de blootstelling gestegen.



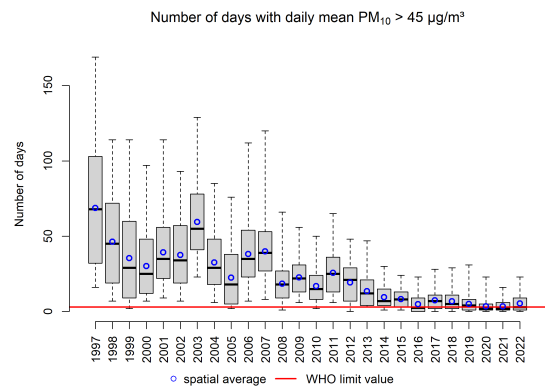
Figuur 9: Boxplot van de jaargemiddelde PM₁₀-concentraties (µg/m³) over de periode 1997–2022 in België, berekend op basis van de RIO-interpolatietechniek. Het ruimtelijke gemiddelde wordt door de blauwe cirkels weergegeven.



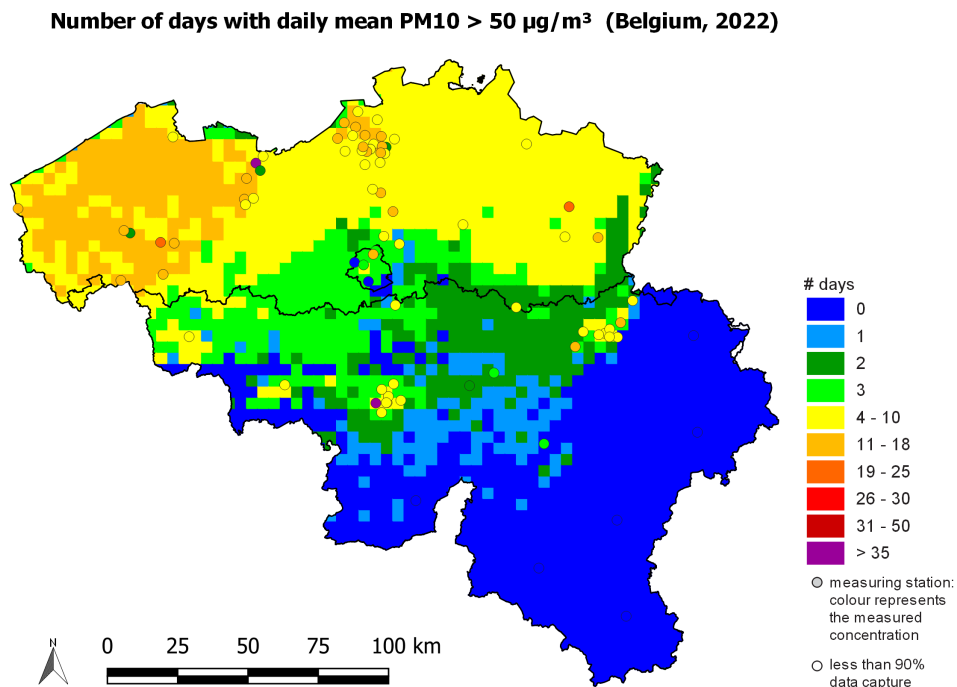
Figuur 10: Evolutie van de blootstelling van de bevolking aan jaargemiddelde PM₁₀-concentraties op basis van de RIO-interpolatietechniek.



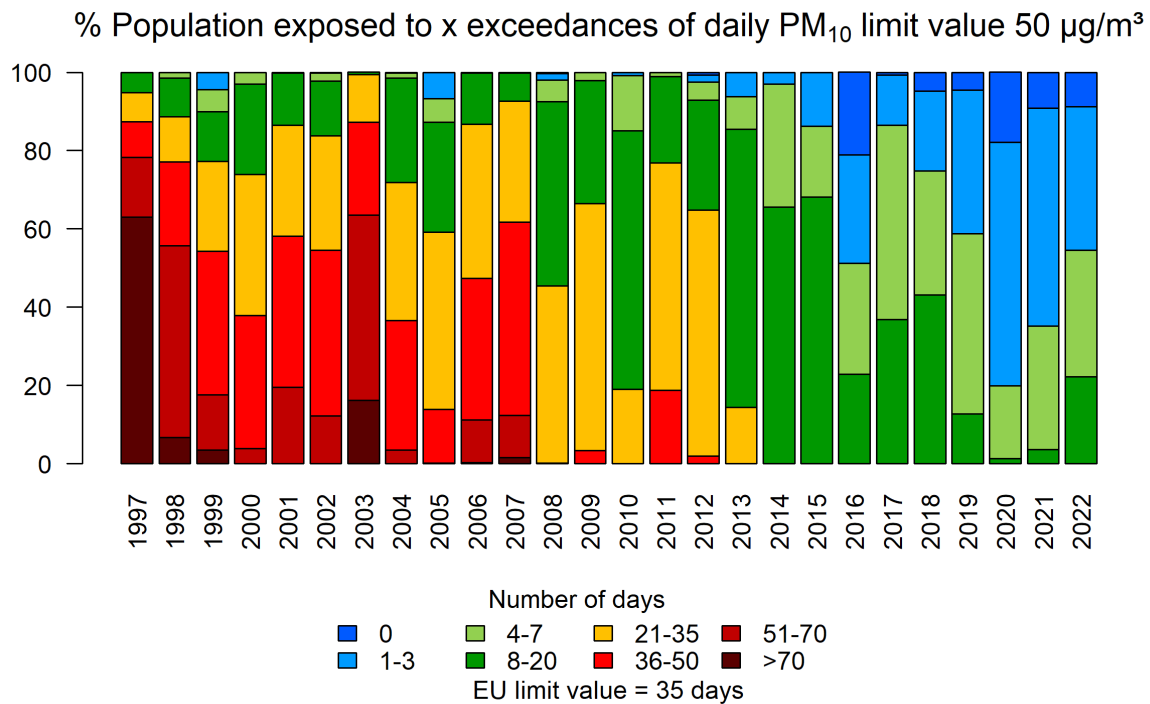
Figuur 11: Boxplot van het aantal dagen per jaar waarop de daggemiddelde PM₁₀-concentratie hoger was dan 50 µg/m³ over de periode 1997–2022, berekend op basis van de RIO-interpolatietechniek. Het ruimtelijk gemiddelde wordt weergegeven door de blauwe cirkels.



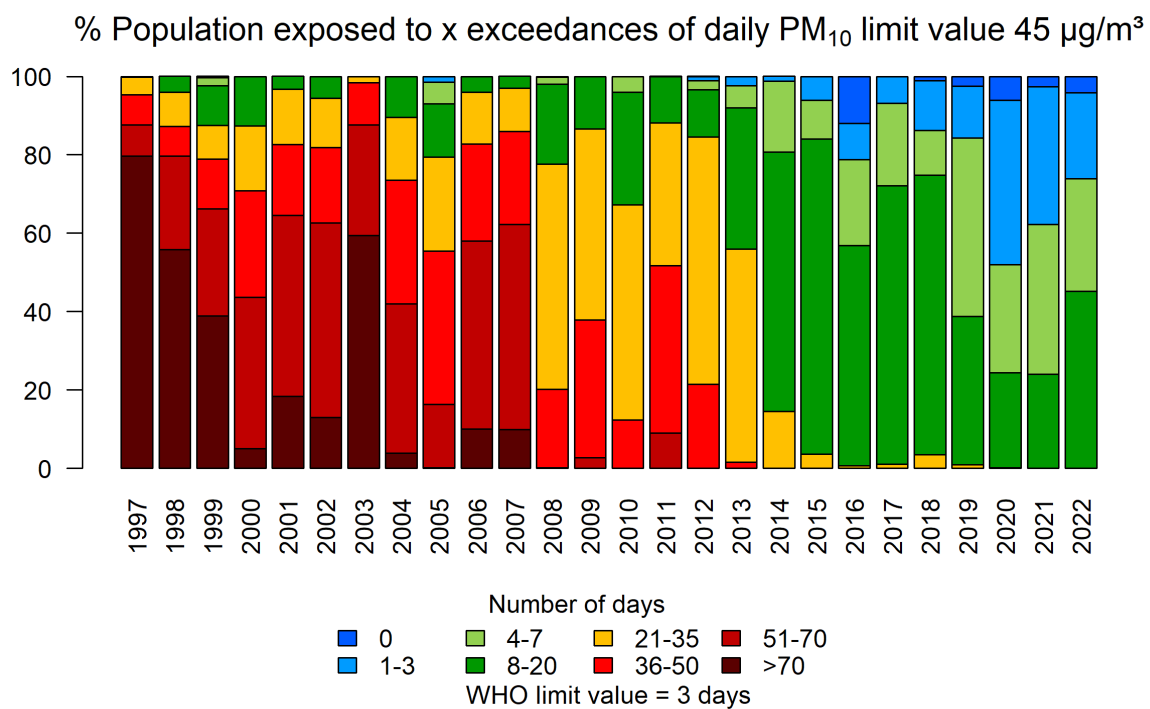
Figuur 12: Boxplot van het aantal dagen per jaar waarop de daggemiddelde PM₁₀-concentratie hoger was dan 45 µg/m³ over de periode 1997–2022, berekend op basis van de RIO-interpolatietechniek. Het ruimtelijk gemiddelde wordt weergegeven door de blauwe cirkels.



Figuur 13: Ruimtelijke spreiding van het aantal dagen met een daggemiddelde boven 50 µg/m³ in België in 2022, berekend op basis van de RIO-interpolatietechniek.



Figuur 14: Evolutie van de bevolkingsblootstelling aan dagen waarbij de daggemiddelde PM₁₀-concentratie hoger was dan 50 µg/m³. Alle data werden berekend op basis van de RIO-interpolatietechniek.

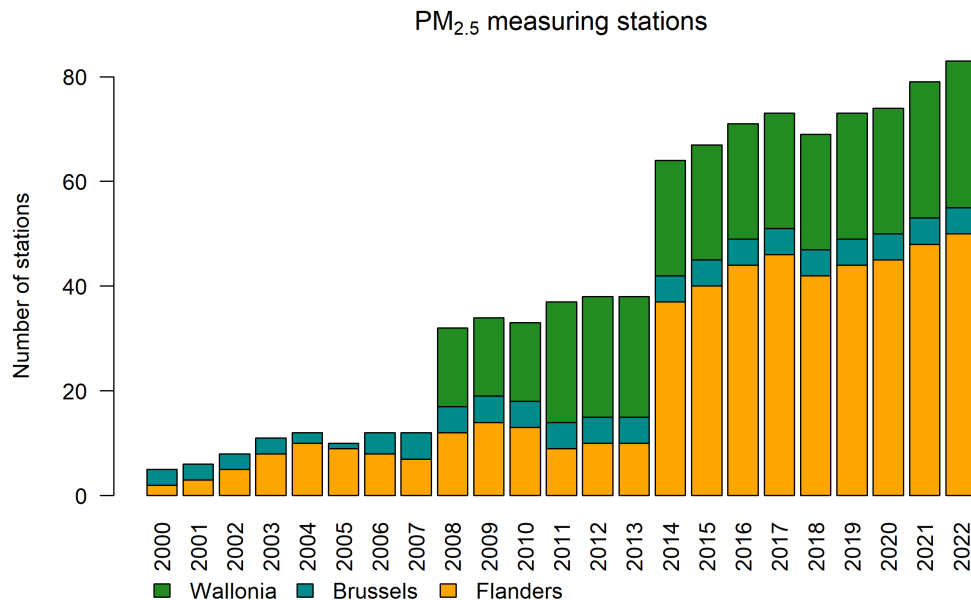


Figuur 15: Evolutie van de bevolkingsblootstelling aan dagen waarbij de daggemiddelde PM₁₀-concentratie hoger was dan 45 µg/m³. Alle data werden berekend op basis van de RIO-interpolatietechniek.

5.2 PM_{2.5}

5.2.1 PM_{2.5}-meetstations

In 2022 werden concentraties van PM_{2.5} gemeten in 83 stations, dat is het hoogste aantal sinds 2000. De toename aan meetstations, zoals te zien in figuur 16 zorgt voor een afname van de onzekerheid op de geïnterpoleerde waarden die besproken worden in dit hoofdstuk.



Figuur 16: Evolutie van het aantal PM_{2.5}-meetstations in België.

5.2.2 PM_{2.5}-jaargemiddelde concentratie

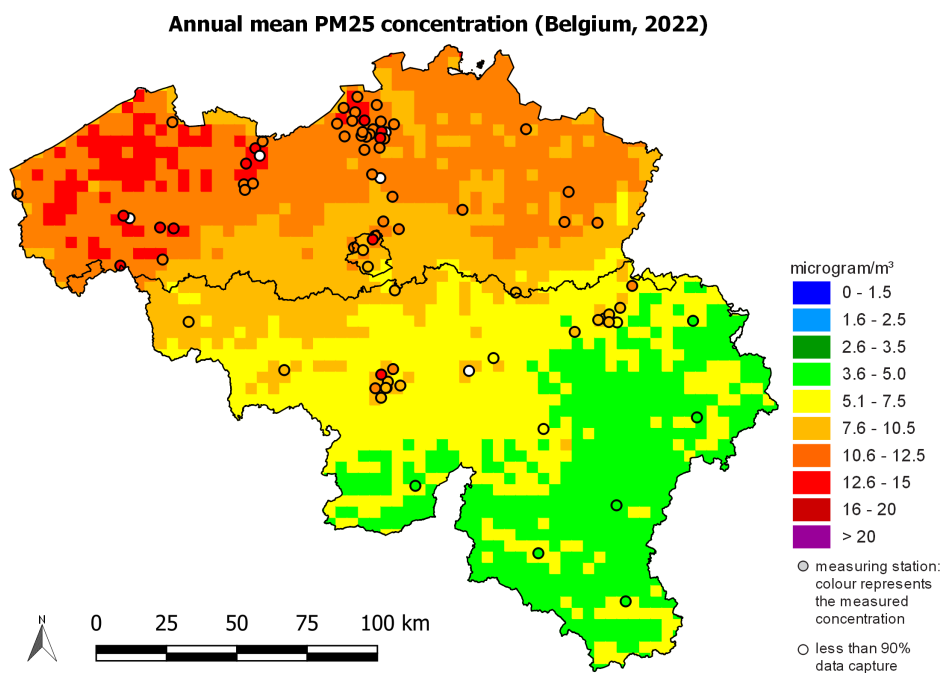
Figuur 17 geeft een kaart van België met de jaargemiddelde concentratie van PM_{2.5} per roostercel. De hoogste concentraties situeren zich voornamelijk in West-Vlaanderen en het noorden van Gent en Antwerpen.

De 2098 waarden uit figuur 17 kunnen ook in een boxplot⁵ weergegeven worden. In figuur 18 wordt dit gedaan voor 2022 en alle voorgaande jaren sinds 2005. Op deze manier is de trend van de maximumwaarde, het gemiddelde en de mediaan, en het minimum observeerbaar. De Europese grenswaarde bedraagt 25 µg/m³ als jaargemiddelde concentratie. Het is duidelijk dat ook in 2022 deze grens voor geen enkel van de 4x4 km² vlakken overschreden werd. De advieswaarde van de WGO bedraagt 5 µg/m³, in 2022 werd deze waarde in 77 % van de RIO-roosterzellen overschreden.

In 2022 bedroeg de jaargemiddelde PM_{2.5}-concentratie over alle RIO-roosterzellen in België 8,0 µg/m³. In het Brussels gewest bedroeg die jaargemiddelde concentratie 9,7 µg/m³, in het Vlaamse 10,8 µg/m³, en in het Waalse 5,7 µg/m³. Het bevolkingsgewogen jaargemiddelde voor België is met 9,6 µg/m³ hoger dan het rekenkundig gemiddelde, op plaatsen waar veel mensen wonen zijn de jaargemiddelde concentraties hoger.

In 2022 werd de Belgische bevolking niet blootgesteld aan jaargemiddelde PM_{2.5}-concentraties hoger dan de Europese grenswaarde van 25 µg/m³. Echter, de bevolkingsblootstelling aan concentraties boven de WGO-advieswaarde van 5 µg/m³ bedroeg in 2022 94 % (figuur 19).

⁵Voor de interpretatie van boxplots, zie bijlage C



Figuur 17: Ruimtelijke spreiding van de jaargemiddelde PM_{2,5}-concentratie in België in 2022, berekend op basis van de RIO-interpolatietechniek.

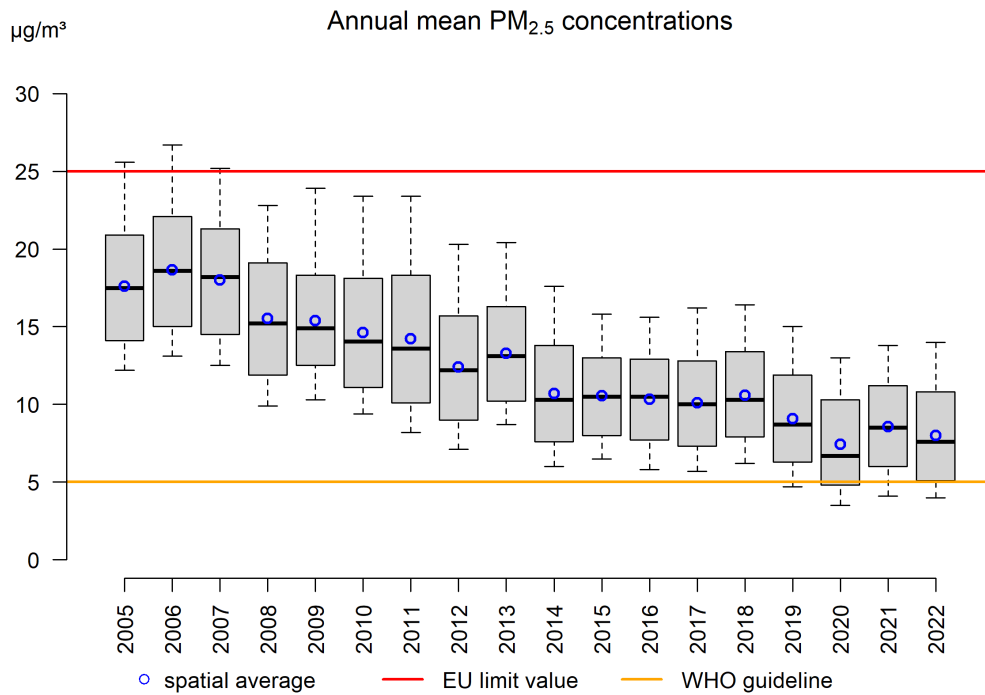
5.2.3 Gemiddelde blootstellingsindex

Om de blootstelling van de bevolking aan PM_{2,5} te verminderen, is in de Europese richtlijn 2008/50/EG de ‘gemiddelde blootstellingsindex’ (GBI) als aanvullende indicator opgenomen. Die GBI is een nationale streefwaarde en wordt berekend als het gemiddelde over drie jaar van de gemeten PM_{2,5}-concentraties in stedelijke achtergrondstations. De Europese richtlijn bepaalt een reductiedoelstelling voor de GBI voor 2020 gebaseerd op de waarde berekend voor de referentieperiode (2009, 2010 en 2011 voor België). Tegen 2020 moest de GBI dalen tot 15,2 µg/m³, voor 2021 en later werd geen streefwaarde bepaald.

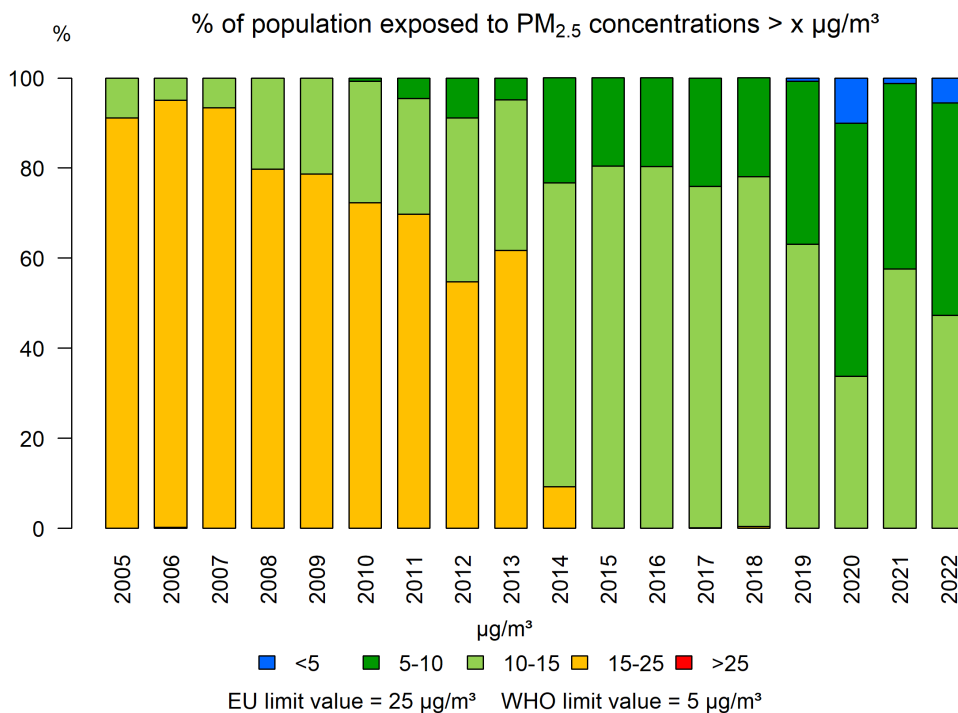
De berekende GBI voor de jaren 2020, 2021 en 2022 bedraagt 10,1 µg/m³ (zie tabel 5) en ligt dus (ruim) onder de doelstelling voor 2020.

Tabel 5: Overzicht van de PM_{2,5}-concentraties voor 2020, 2021 en 2022 per stedelijk achtergrondstation dat meegenomen werd in de berekening van de gemiddelde blootstellingsindex, GBI

Stationsnaam	2020	2021	2022
SINT JANS MOLENBEEK	9,57	10,62	10,26
UKKEL	8,46	9,73	9,44
LIEGE	5,45	8,48	7,25
CHARLEROI	7,87	9,15	7,97
BRUGGE	10,39		11,17
GENT	11,37	13,58	13,69
ANTWERPEN	10,83	12,00	11,50
SCHOTEN	10,55	11,71	11,05
Gemiddelde	9,31	10,75	10,29
Gemiddelde 2020-2022		10,12	
GBI		10,1	



Figuur 18: Boxplot van de jaargemiddelde PM_{2.5}-concentraties (µg/m³) over de periode 2005–2022 in België, berekend op basis van de RIO-interpolatietechniek. Het ruimtelijke gemiddelde wordt door de blauwe cirkels weergegeven.

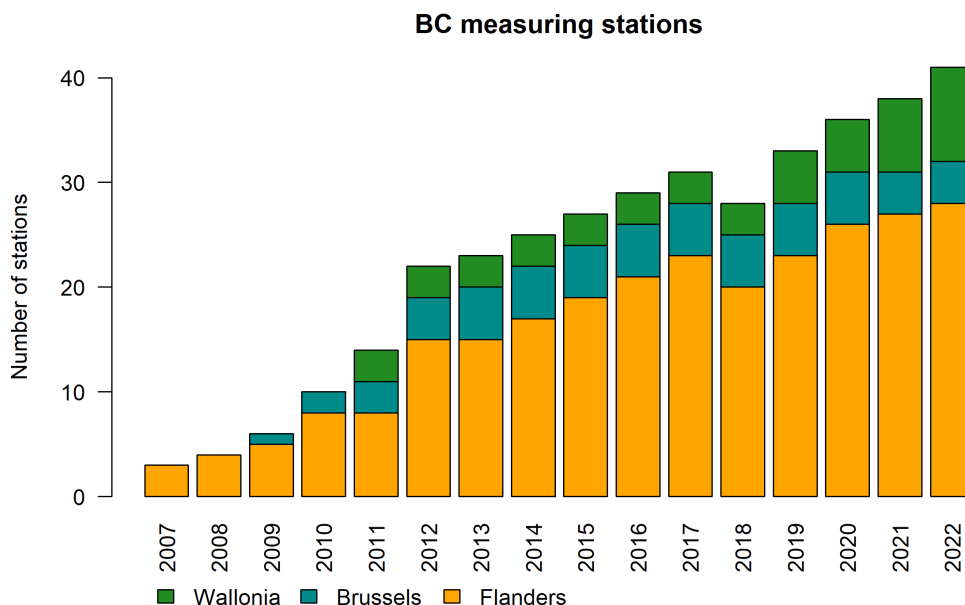


Figuur 19: Evolutie van de blootstelling van de bevolking aan jaargemiddelde PM_{2.5}-concentraties op basis van de RIO-interpolatietechniek.

5.3 Black Carbon (BC)

5.3.1 BC-meetstations

Sinds 2007 wordt er Black Carbon of zwarte koolstof gemeten in het meetnet van Vlaanderen. Brussel begon met BC-metingen in 2009 en Wallonië volgde in 2011 (zie figuur 20). Het aantal stations nam intussen toe tot 41 in 2022, waarvan 28 in Vlaanderen, 4 in Brussel en 9 in Wallonië.



Figuur 20: Evolutie van het aantal BC-meetstations in België.

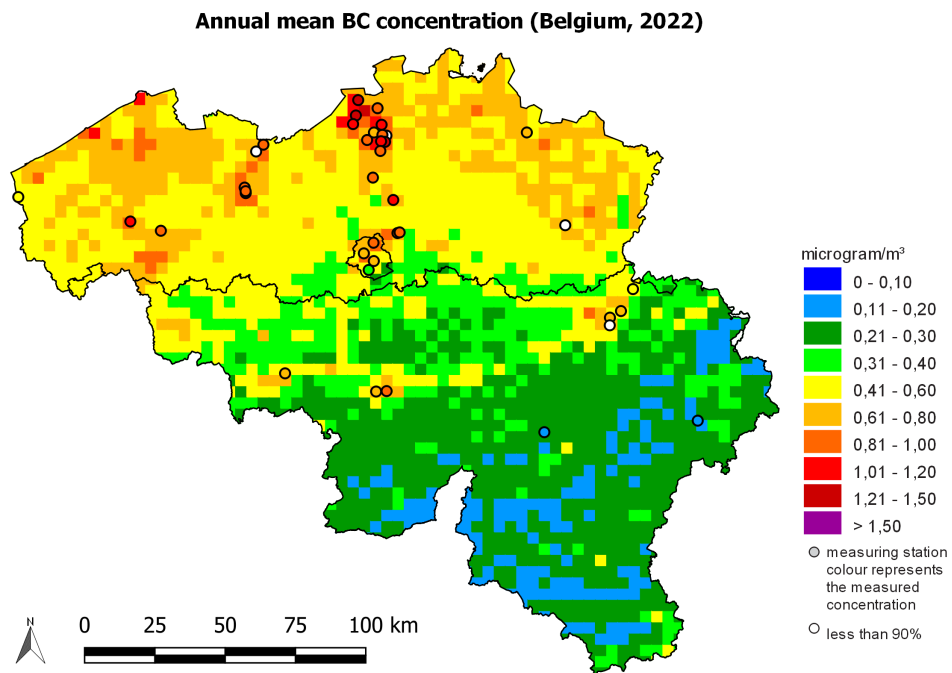
5.3.2 BC-jaargemiddelde concentratie

Black carbon is een pollutant gerelateerd aan onvolledige verbranding van fossiele brandstoffen, bio-brandstoffen en biomassa. De hoogste concentraties komen dan ook voor in verkeersdrukte regio's en op locaties waar biomassa verbrand wordt. Momenteel bestaan geen grens- of streefwaarden voor BC. Figuur 21 toont de ruimtelijke spreiding van de jaargemiddelde BC-concentraties voor 2022 in België. Hierbij moet rekening gehouden worden met enerzijds het lage aantal stations waar BC gemeten wordt (vooral in Wallonië) en de heterogene verspreiding en anderzijds met het lokale karakter van BC-ervuiling. De kaart voorgesteld in figuur 21 is dus louter indicatief.

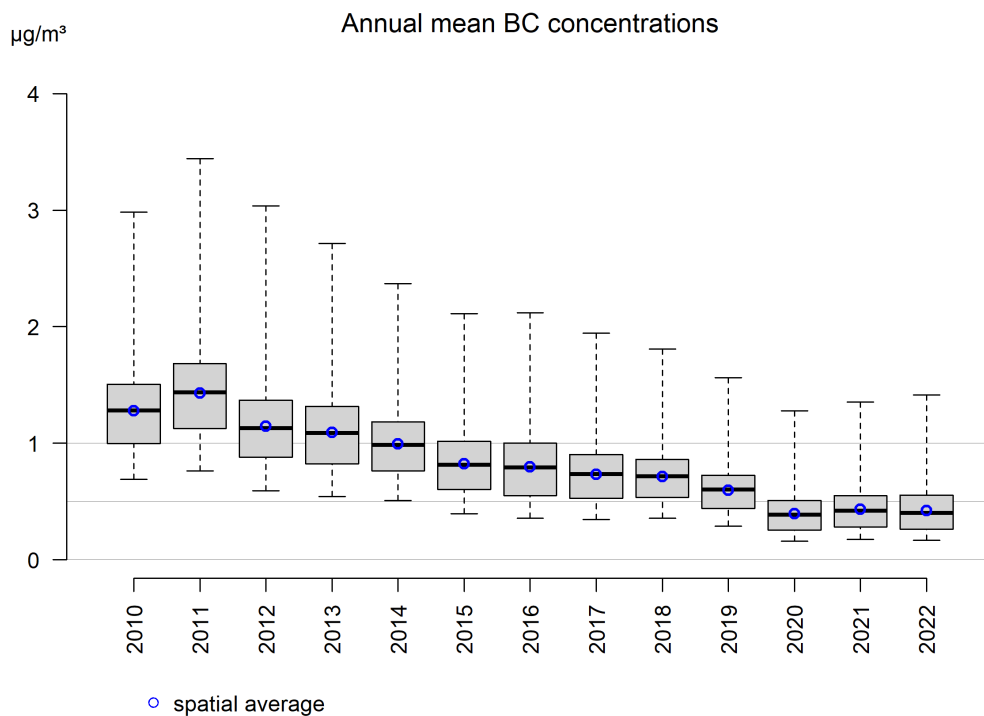
De 2008 waarden uit figuur 21 kunnen ook in een boxplot⁶ weergegeven worden. In figuur 22 wordt dit gedaan voor 2022 en alle voorgaande jaren sinds 2010. Op deze manier is de trend van de maximumwaarde, het gemiddelde en de mediaan, en het minimum observeerbaar.

In 2022 bedroeg de jaargemiddelde BC-concentratie over alle RIO-roostercellen in België $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In zowel het Brussels als Vlaamse gewest bedroeg de jaargemiddelde concentratie $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, in het Waalse $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Het bevolkingsgewogen jaargemiddelde ($0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) is hoger dan het rekenkundig gemiddelde, op plaatsen waar veel mensen wonen zijn de jaargemiddelde concentraties hoger.

⁶Voor de interpretatie van boxplots, zie bijlage C



Figuur 21: Ruimtelijke spreiding van de jaargemiddelde BC-concentratie in België in 2022, berekend op basis van de RIO-interpolatietechniek



Figuur 22: Boxplot van de jaargemiddelde BC-concentraties ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) over de periode 2010–2022 in België, berekend op basis van de RIO-interpolatietechniek. Het ruimtelijke gemiddelde wordt door de blauwe cirkels weergegeven.

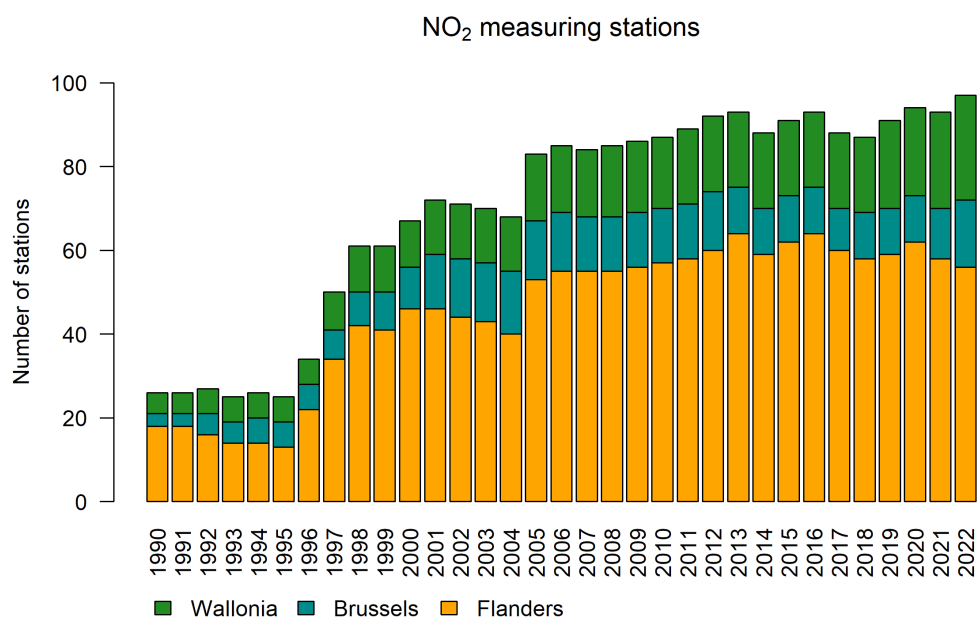
6 Stikstofoxides

Stikstofoxides (NO_x) is de verzamelnaam voor een mengsel dat voornamelijk bestaat uit stikstofmonoxide (NO) en stikstofdioxide (NO_2). Stikstofoxides worden grotendeels door menselijke activiteiten uitgestoten tijdens verbrandingsprocessen bij hoge temperaturen waarbij luchtstikstof geoxideerd wordt. De belangrijkste bronnen van NO_x zijn (weg)verkeer, energieproductie, industrie (inclusief raffinaderijen) en gebouwenverwarming. NO_x wordt voornamelijk uitgestoten in de vorm van NO en in mindere mate NO_2 . De levensduur van NO in de lucht is echter zeer kort (enkele minuten). Door fotochemische reacties met onder andere ozon en vluchtige organische stoffen (VOS) wordt NO omgezet in het in de atmosfeer langer levende NO_2 (enkele uren tot dagen). NO_x wordt niet alleen door antropogene emissies in de atmosfeer gebracht, maar ook door biochemische processen in de bodem, bij bliksems en bosbranden.

Stikstofoxides zorgen voor verzuring en vermisting van het milieu en spelen een belangrijke rol bij de vorming van ozon en fijn stof. Blootstelling aan zeer hoge NO_2 -concentraties kan door de toxiciteit van het gas onmiddellijk nadelige gezondheidseffecten veroorzaken. Het effect van langdurige blootstelling aan de huidige NO_2 -concentraties is moeilijk af te zonderen in epidemiologische studies. Er zijn echter wel duidelijk negatieve gezondheidseffecten verbonden aan verkeersemissies en NO_2 is sterk gecorreleerd met het mengsel van de verkeersgerelateerde luchtverontreiniging. Om die reden en omdat NO_2 ook indirect schadelijk is voor mens en milieu hebben de Europese Commissie en de Wereldgezondheidsorganisatie er grenswaarden voor opgesteld.

6.1 NO_2 -meetstations

In figuur 23 wordt de evolutie van het aantal meetstations voor NO_2 weergegeven. In 1990 waren er 26 meetstations, in 2022 97: 16 in het Brussels gewest, 25 in Wallonië en 56 in Vlaanderen. Dankzij de toename van het aantal meetpunten is de onzekerheid op de RIO-interpolatie afgenomen.



Figuur 23: Evolutie van het aantal NO_2 -meetstations in België.

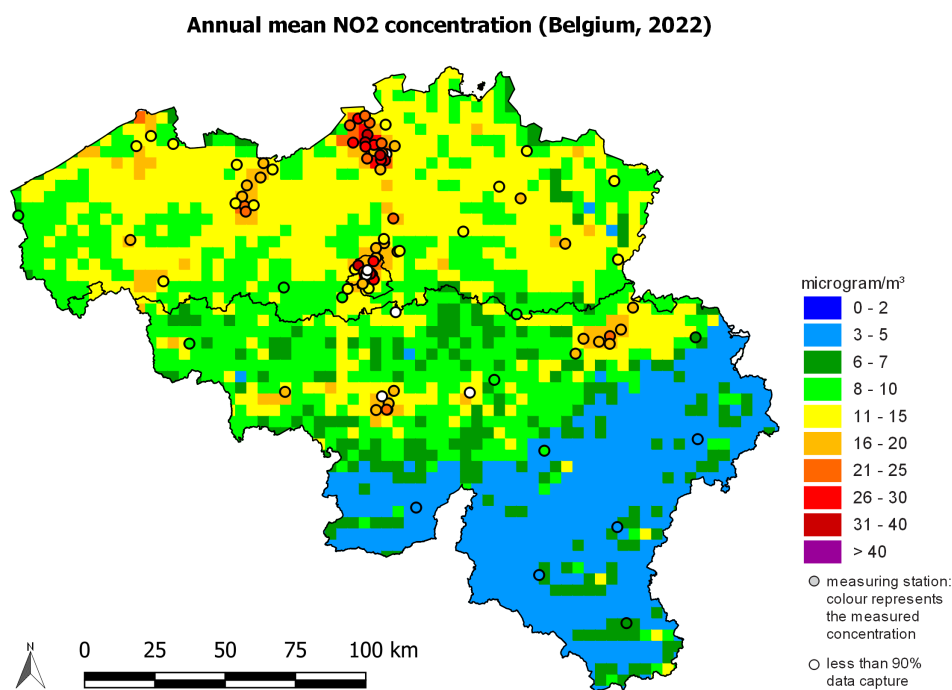
6.2 NO_2 -jaargemiddelde concentratie

De Europese jaargrenswaarde voor de bescherming van de bevolking bedraagt $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die grenswaarde geldt vanaf 2010 voor het hele Belgische grondgebied. Uit figuur 24 blijkt duidelijk dat de hoogste jaargemiddelden gemeten worden in de stedelijke gebieden. Dat is niet verwonderlijk gezien het sterke

verkeersgerelateerde karakter van NO₂.

Door de beperkte ruimtelijke resolutie (4x4 km²) van het RIO-interpolatiemodel, zijn lokale overschrijdingen van de NO₂-grenswaarde niet altijd zichtbaar op de interpolatiekaarten. Het hoogste NO₂-jaargemiddelde van alle Belgische roostercellen bedraagt 29,6 µg/m³. Gemiddeld over Vlaanderen is het jaargemiddelde 11,2 µg/m³, gemiddeld over Brussel 16,9 µg/m³ en gemiddeld over Wallonië 6,9 µg/m³. Het ruimtelijk gemiddelde in België, rekening houdend met het aantal inwoners per roostercel (het bevolkingsgewogen gemiddelde), bedraagt 13,4 µg/m³. Dat ligt aanzienlijk hoger dan het niet-bevolkingsgewogen gemiddelde over België (8,9 µg/m³), wat weerspiegelt dat de roostercellen met de hoogste bevolkingsdichtheid (stedelijke gebieden), ook de roostercellen zijn met hogere NO₂-jaargemiddelde concentraties. Dat wordt ook duidelijk in figuur 26 waarin de relatie tussen de jaargemiddelde NO₂-concentratie en de bevolkingsdichtheid weergegeven wordt. Bij een vergelijking van het jaar 2022 met het gemiddelde van de periode 2017–2021 stellen we wel steeds een daling vast, ongeacht de bevolkingdichtheid in de roostercel. In de roostercellen met een bevolkingdichtheid van 1000 inwoners per km² of hoger is de jaargemiddelde concentratie voor 2022 gemiddeld 15,4 µg/m³. Voor het gemiddelde van de jaren 2017–2021 was de gemiddelde jaargemiddelde concentratie over alle roostercellen met een bevolkingdichtheid vanaf 1000 inwoners per km² nog 18,5 µg/m³.

De onzekerheid op de berekende jaargemiddelde NO₂-concentraties is te vinden in Bijlage D.

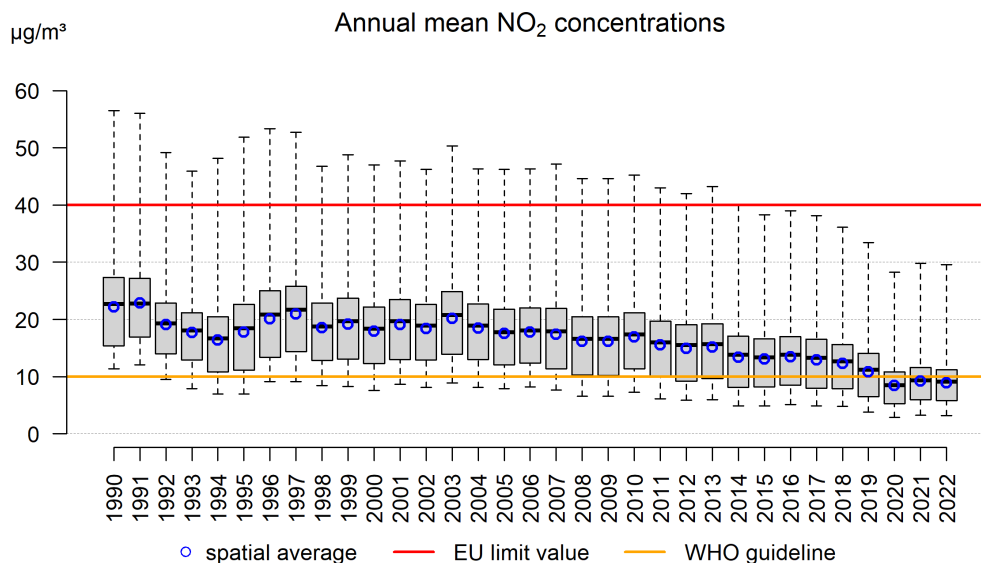


Figuur 24: Ruimtelijke spreiding van de jaargemiddelde NO₂-concentratie in België in 2022, berekend op basis van de RIO-interpolatietechniek

De 2098 waarden uit figuur 24 kunnen ook in een boxplot⁷ weergegeven worden. In figuur 25 wordt dit gedaan voor 2022 en alle voorgaande jaren sinds 1990. Op deze manier is de trend van de maximumwaarde, het gemiddelde en de mediaan, en het minimum observeerbaar. De Europese grenswaarde bedraagt 40 µg/m³ als jaargemiddelde concentratie. Het is duidelijk dat ook in 2022 deze grens in geen enkel 4x4 km² vlak overschreden werd. De WGO-advieswaarde bedraagt 10 µg/m³ als jaargemiddelde concentratie, deze grens werd in 39 % van de 4x4 km² vlakken overschreden.

De COVID-19-pandemie en de maatregelen om besmettingen te voorkomen hadden in 2020 en 2021 een invloed op de economische en sociale activiteiten in België. Uit een afzonderlijke studie van het effect van de maatregelen op de concentraties van verschillende pollutanten tijdens de *lockdown* van week 12 tot en met week 19 van 2020, bleek dat de noodbepalingen voornamelijk een reducerende impact hadden op

⁷Voor de interpretatie van boxplots, zie bijlage C



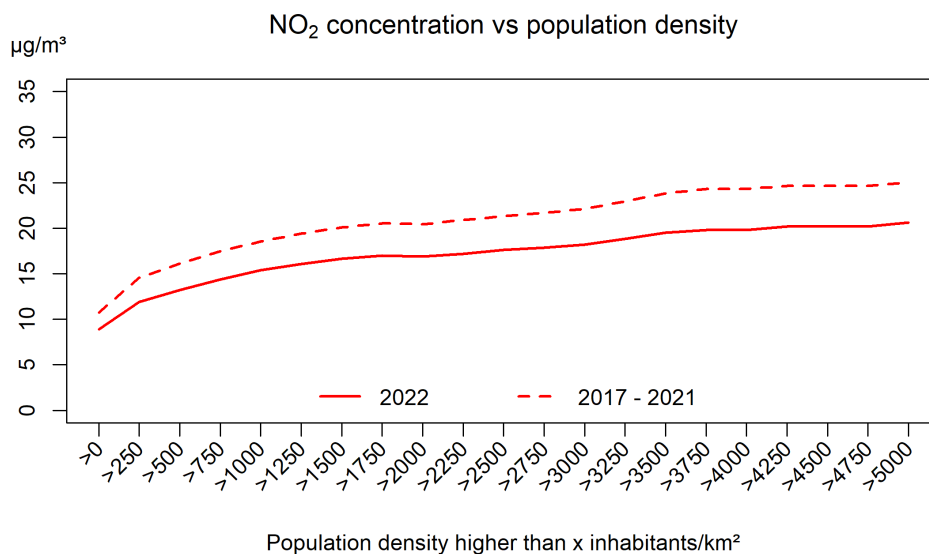
Figuur 25: Boxplot van de jaargemiddelde NO₂-concentraties (µg/m³) over de periode 1990–2022 in België, berekend op basis van de RIO-interpolatietechniek. Het ruimtelijke gemiddelde wordt door de blauwe cirkels weergegeven.

NO₂-concentraties, zeker in de buurt van gemotoriseerd verkeer [6]. De lage concentraties in figuur 25 in 2020 en 2021 zijn dus zeker ten dele toe te schrijven aan tijdelijke maatregelen. De NO₂-concentraties zijn in 2021 hoger dan deze van 2020, dat komt overeen met het zwaartepunt van het verbod op niet-essentiële verplaatsingen dat in 2020 lag. Nu observeren we dat de gemiddelde jaarlijkse concentraties ook lager zijn in 2022 dan in het laatste jaar voor de pandemie, 2019. De licht dalende trend sinds 2010 zet zich voort.

Sinds 2003 worden steeds minder mensen aan hoge jaargemiddelde NO₂-concentraties blootgesteld (figuur 27). Vanaf 1998 schommelde het percentage van de Belgische bevolking dat blootgesteld was aan jaargemiddelde concentraties boven de EU-grenswaarde rond 7 %. In 2013 was dat afgenomen tot 3 % en sindsdien is er volgens de berekeningen niemand meer blootgesteld aan jaargemiddelde concentraties boven de EU-grenswaarde. De resultaten dienen wel met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd te worden. De blootstelling van de bevolking wordt ingeschat op basis van een ruimtelijke interpolatie van de metingen en de bevolkingsaantallen per roostercel van 4x4 km². Zoals al eerder vermeld is dit een onderschatting. Vooral langs wegen met veel verkeer en in streetcanyons zullen de NO₂-concentraties hoger zijn dan de waarden berekend met de RIO-interpolatiemethode voor een roostercel van 4x4 km². Het is daarom dat, hoewel figuur 27 geen blootstelling aan verhoogde concentraties (> 40 µg/m³) vertoont, er lokaal toch personen kunnen blootgesteld zijn aan concentraties boven 40 µg/m³.

6.3 NO₂-uurgemiddelde concentratie

Voor de bescherming van de bevolking tegen NO₂-piekconcentraties op korte termijn legt de Europese wetgeving een uurgrenswaarde op van 200 µg/m³. Die uurgrens mag per jaar maximaal 18 keer (uur) overschreden worden. In België wordt die jaargrenswaarde op het niveau van de RIO-roostercellen ruimschoots gerespecteerd. Het is niet geheel uitgesloten dat zeer lokaal, in verkeersdrukke straten, de 200 µg/m³ enkele uren per jaar overschreden wordt, maar het is erg onwaarschijnlijk dat dit vaker dan de limiet van 18 uur het geval is. Door de lage resolutie van de RIO-interpolatiemethode zijn lokale overschrijdingen echter niet zichtbaar. De 19^e hoogste uurwaarde per roostercel in België in 2022 wordt voorgesteld in figuur 28 (dat komt overeen met het 99,8^{ste} percentiel van alle uurgemiddelde concentraties in een jaar). Het maximum van de 19^e hoogste uurwaarde in België in 2022, representatief op 4x4 km², bedraagt 83 µg/m³, wat ruim onder de Europese limiet van 200 µg/m³ ligt en werd geobserveerd in

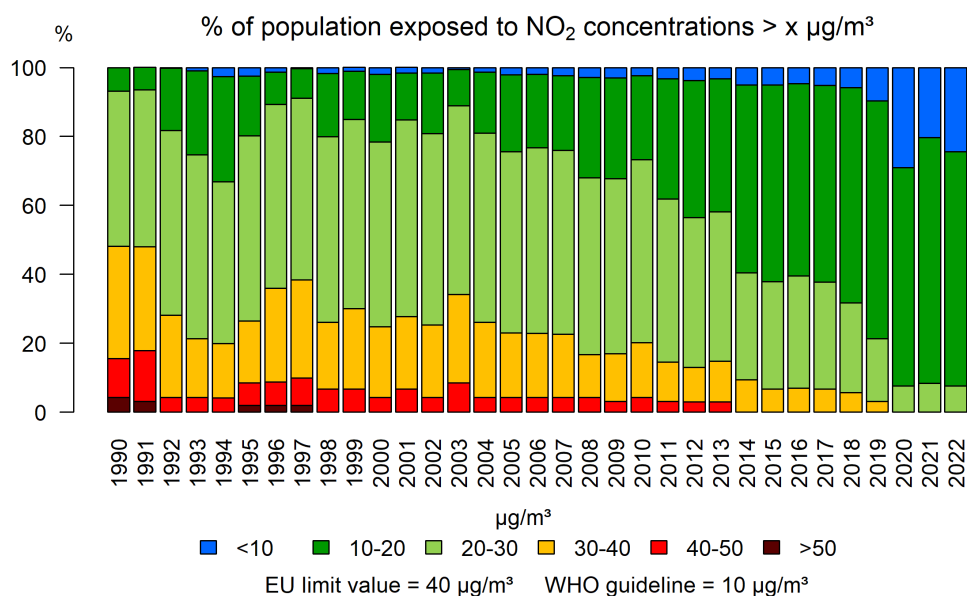


Figuur 26: Relatie tussen de geïnterpoleerde jaargemiddelde NO₂-concentraties en de bevolkingsdichtheid (inwoners/km²) boven een bepaalde waarde. Alle data werden berekend op basis van de RIO-interpolatietechniek.

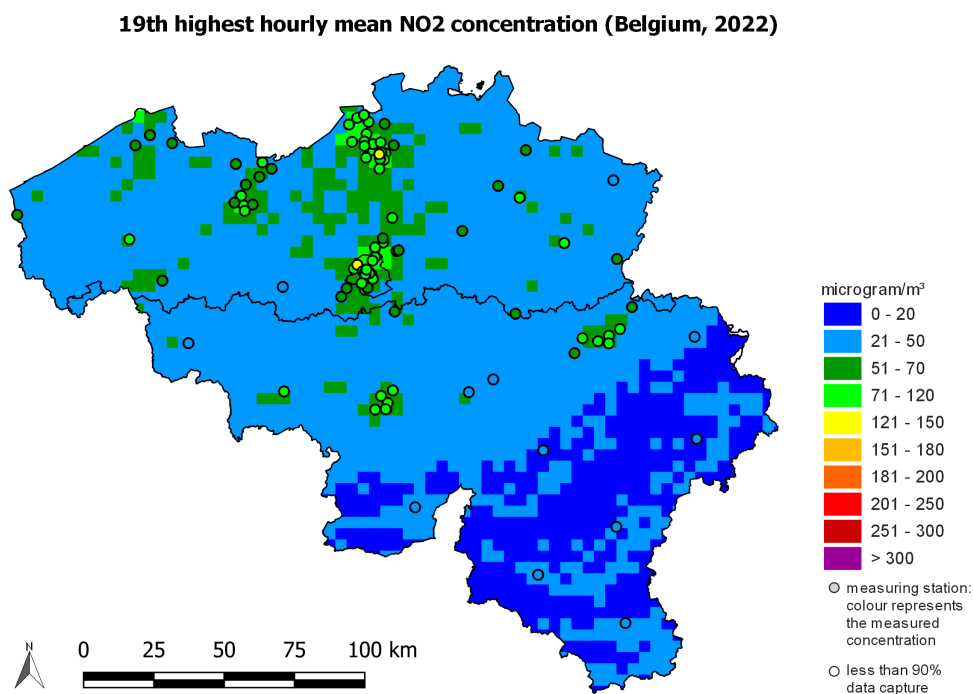
Vlaanderen. De WGO-advieswaarde bedraagt eveneens 200 µg/m³, maar mag geen enkele keer worden overschreden. Ook daaraan wordt dus overall in België, op het niveau van de RIO-roostercellen, voldaan.

De 2098 waarden uit figuur 28 kunnen ook in een boxplot⁸ weergegeven worden. In figuur 29 wordt dit gedaan voor 2022 en alle voorgaande jaren sinds 1990. Op deze manier is de trend van de maximumwaarde, het gemiddelde en de mediaan, en het minimum observeerbaar. Van 1990 tot 2009 bleef deze indicator voor piekconcentraties stabiel, het laatste decennium is een dalende trend waarneembaar.

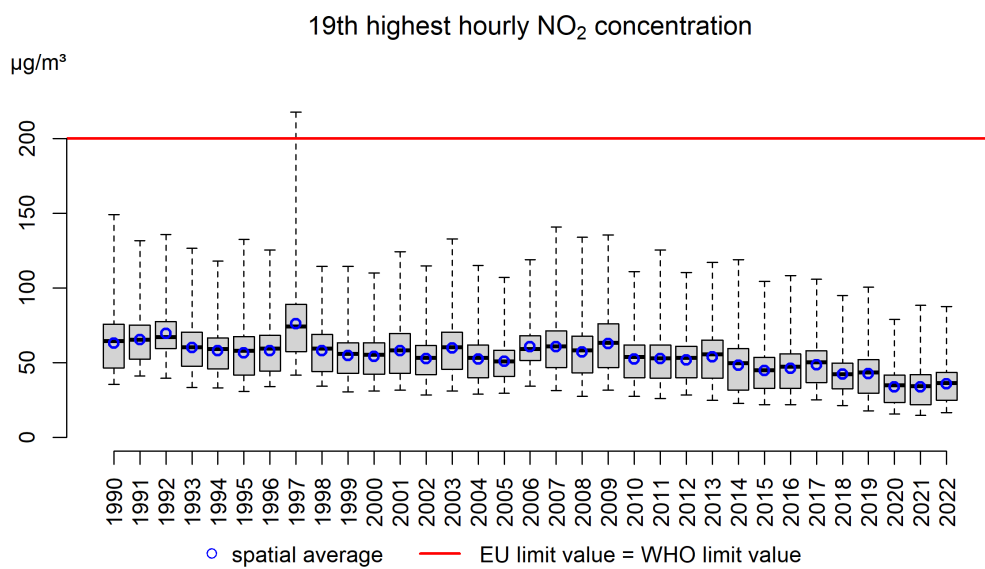
⁸Voor de interpretatie van boxplots, zie bijlage C



Figuur 27: Percentage van de Belgische bevolking blootgesteld aan jaargemiddelde NO₂-concentraties. Alle data werden berekend op basis van de RIO-interpolatietechniek.



Figuur 28: Ruimtelijke spreiding van de 19^{de} hoogste uurgemiddelde NO₂-concentratie in België, 2022. Alle data werden berekend op basis van de RIO-interpolatietechniek.



Figuur 29: Boxplot van de 19^{de} hoogste uurgemiddelde NO₂-concentratie over de periode 1990–2022. Het ruimtelijke gemiddelde wordt door de blauwe cirkels weergegeven. Alle data werden berekend op basis van de RIO-interpolatietechniek.

7 Ozon

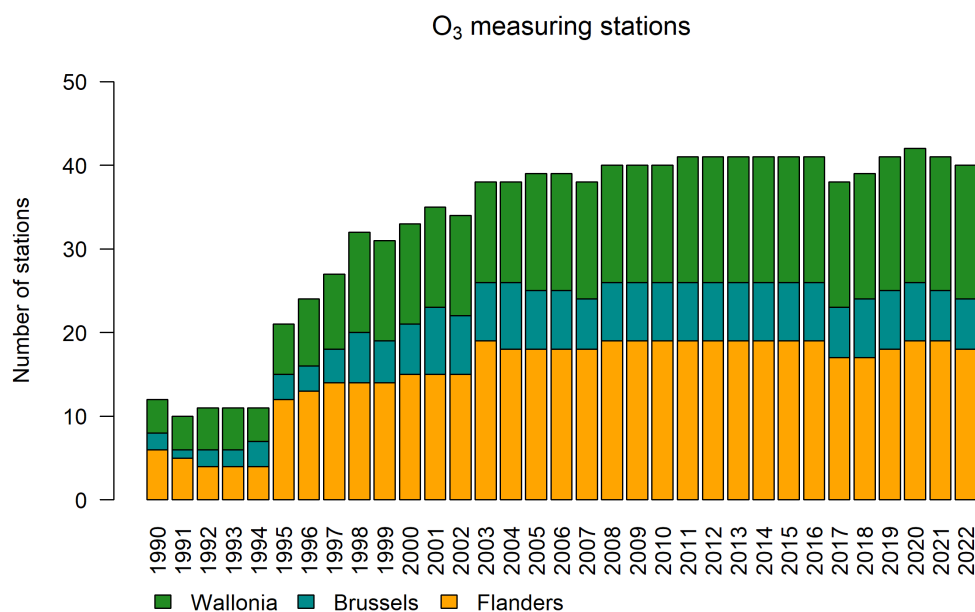
Ozon (O_3) is een zeer reactief gas dat gevormd wordt tijdens verschillende fotochemische reacties in de troposfeer, de onderste laag van de atmosfeer. Ozon wordt dus niet rechtstreeks uitgestoten en is daarom een secundaire pollutant. Door inwerking van uv-licht op de aanwezige luchtverontreiniging op warme zomerdagen wordt ozon op leefniveau gevormd. De ozonvoorlopers of *-precursoren* zijn NO_x , VOC en CO. In België wordt ongeveer de helft van de NO_x door het verkeer uitgestoten. Naast de ozon die op warme dagen gevormd wordt, is er altijd een globale achtergrondconcentratie aanwezig. De uitstoot van NO_x (= som van NO en NO_2) heeft een dubbel effect op ozon. Enerzijds zorgt NO ervoor dat O_3 afgebroken wordt waarbij NO_2 ontstaat, anderzijds zorgt NO_2 weer voor de vorming van O_3 . In de atmosfeer stelt er zich altijd een chemisch evenwicht in tussen die pollutanten. NO is kortlevend in de atmosfeer, waardoor er dus vooral ozon afgebroken wordt op plaatsen waar veel NO uitgestoten wordt. Tijdens die reactie wordt NO_2 gevormd, dat een langere levensduur in de atmosfeer heeft. Die ozonvormende stof kan dus over langere afstanden getransporteerd worden, om dan ozon te vormen op verderafgelegen plaatsen. Dat is de reden waarom de ozonconcentraties over het algemeen hoger zijn in landelijke gebieden dan in een stedelijke omgeving met veel NO_x -bronnen.

Door zijn sterk oxiderend vermogen kan ozon schadelijke effecten hebben op mensen, dieren, planten en materialen. Bij de mens kan blootstelling aan hoge ozonconcentraties zorgen voor acute gezondheidsklachten zoals irritaties aan de ogen, neus en keel, prikkelende hoest en overgevoeligheid van de longen. Bij vegetatie zorgt vooral de chronische blootstelling aan licht verhoogde ozonconcentraties voor opbrengstvermindering van gewassen en biomassa- en biodiversiteitsafname in bossen.

De impact van ozon beperkt zich niet tot de schadelijke effecten voor de volksgezondheid, vegetatie of materialen. Na koolstofdioxide en methaan is ozon het belangrijkste antropogene broeikasgas. Indirect draagt ozon nog sterker bij tot het broeikas effect doordat de schade aan de vegetatie leidt tot minder opname van CO_2 .

7.1 Ozonmeetstations

In 2022 werden ozonconcentraties gemeten in 40 stations. De toename aan meetstations, zoals te zien in figuur 30 zorgt voor een afname van de onzekerheid op de geïnterpoleerde waarden die besproken worden in dit hoofdstuk.



Figuur 30: Evolutie van het aantal ozonmeetstations in België.

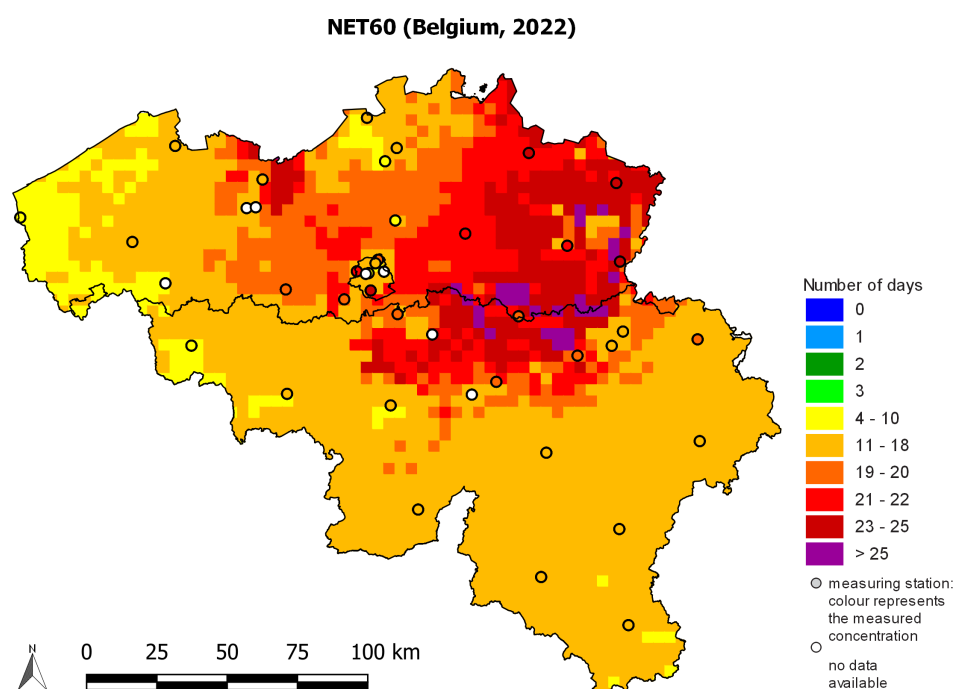
7.2 Ozon en impact op de gezondheid

7.2.1 NET60

De Europese streefwaarde voor de bescherming van de bevolking is gebaseerd op de dagelijkse hoogste 8-uurgemiddelde ozonconcentratie.

Gemiddeld over 3 jaar, mag die dagelijkse hoogste 8-uurgemiddelde waarde niet meer dan 25 keer per jaar hoger zijn dan $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Europese streefwaarde is een middellangetermijndoelstelling (MLTD) en geldt vanaf 2010 (gemiddelde 2010–2012). De langetermijndoelstelling (LTD) is geen enkele dag meer met hoogste 8-uurgemiddelden boven $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Het aantal dagen per jaar waarop het hoogste 8-uurgemiddelde $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ overschrijdt, wordt de NET60-indicator genoemd⁹.

Figuren 31 en 32 tonen de ruimtelijke spreiding van het aantal overschrijdingsdagen respectievelijk in 2022 en gemiddeld over 2020, 2021 en 2022. In de steden is het aantal overschrijdingen beperkt, in de eerder rurale regio tussen Brussel en Luik en de Kempen worden het meest overschrijdingsdagen waargenomen. In 2022 is de hoogste NET60-waarde die werd waargenomen in België 28 dagen. Het maximum, gemiddeld over de jaren 2020 tot 2022 bedraagt 23 dagen. Een 3-jaargemiddelde van 25 dagen, waaraan volgens de Europese streefwaarde moet worden getoetst, wordt dus op geen enkele plaats overschreden. De langetermijndoelstelling, namelijk geen enkele overschrijdingsdag meer, werd in 2022 nergens bereikt. De minste overschrijdingsdagen komen voor in de stedelijke omgevingen en aan de kust. Het ruimtelijk gemiddelde van de NET60 (gemiddeld over 2020–2022) in België bedraagt 13,7 dagen.

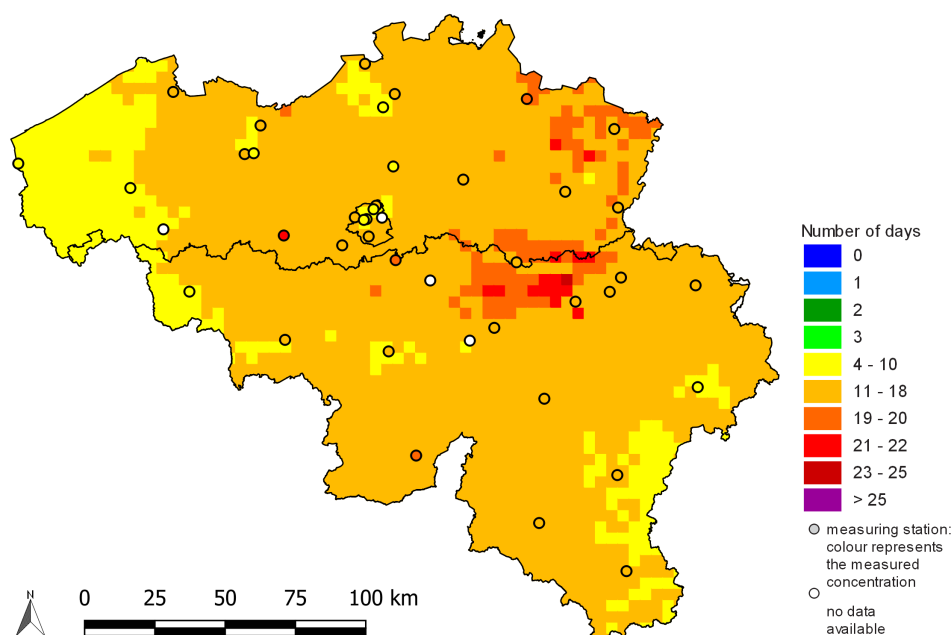


Figuur 31: Ruimtelijke spreiding van het aantal dagen met hoogste 8-uurgemiddelde ozonconcentratie $> 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in 2022. *No data available* betekent dat de data niet voldoen aan de criteria uit richtlijn 2008/50/EG annex VII. Alle data werden berekend op basis van de RIO-interpolatietechniek.

De evolutie van het aantal dagen met de hoogste 8-uurgemiddelde ozonconcentratie boven $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vertoont een sterke variatie van jaar tot jaar, afhankelijk van de weersomstandigheden tijdens de zomer (zie figuur 33). Er is geen duidelijke trend zichtbaar in het ruimtelijke gemiddelde. Het meest ongunstige ozonjaar sinds 1990 was 2003, met een maximum van 60 overschrijdingsdagen in België. Ook 2018 behoorde tot de top 5 van ongunstige ozonjaren sinds 1990. Vooral de uiterst warme en droge maand augustus in 2022 droeg in belangrijke bij aan de NET60. Het 3-jaargemiddelde blijft onder de Europese

⁹NET60: Number of Exceedances above a Threshold of 60 ppb ($=120 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

NET60 (Belgium, 2020-2022)



Figuur 32: Ruimtelijke spreiding van het aantal dagen met hoogste 8-uurgemiddelde ozonconcentratie $>120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, gemiddeld over 2020, 2021 en 2022. *No data available* betekent dat de data niet voldoen aan de criteria uit richtlijn 2008/50/EG annex VII. Alle data werden berekend op basis van de RIO-interpolatietechniek.

streefwaarde van 25 dagen.

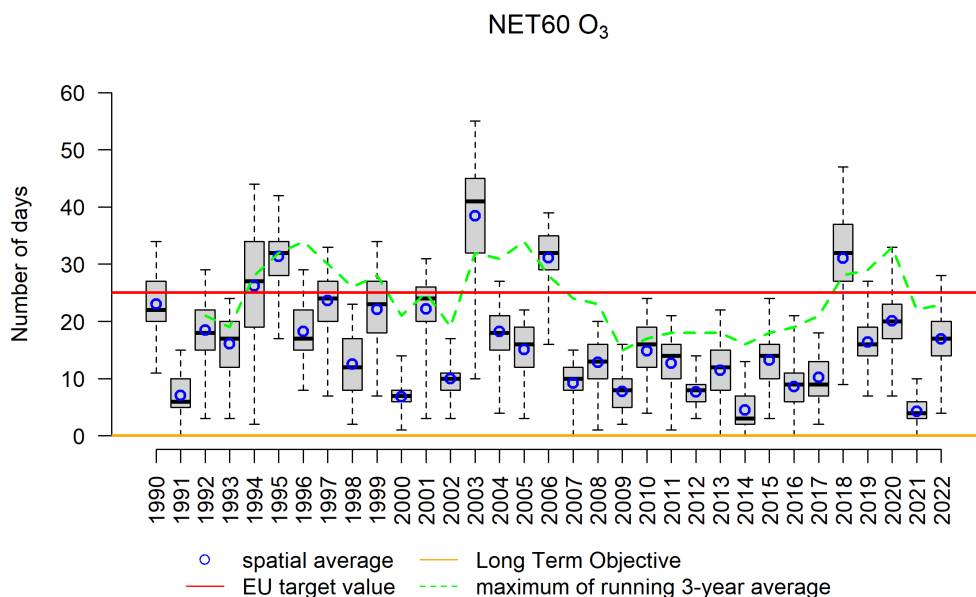
Uit de evolutie van het percentage van de bevolking dat blootgesteld wordt aan dagelijkse hoogste 8-uurgemiddelde ozonconcentraties boven $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ is het duidelijk dat 2021 een zeer gunstig ozonjaar was. Uit figuur 34 volgt dat de blootstelling sterk varieert. In 2022 werd de grens van 25 dagen blootstelling aan hoogste 8-uurgemiddelde ozonconcentraties groter dan $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ overschreden voor 0,7 % van de bevolking. De jaren 1995, 2003, 2006 en 2018 waren zeer ongunstig voor de blootstelling van de bevolking aan te hoge ozonconcentraties. In die jaren werd het grootste deel van de bevolking (meer dan 60 %) op meer dan 25 dagen blootgesteld aan hoogste 8-uurgemiddelde concentraties $> 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De WGO legt de drempel waaronder geen significante gezondheidseffecten optreden op $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als hoogste 8-uurgemiddelde ozonconcentratie van een enkele dag. Deze WGO-advieswaarde werd overal in België overschreden.

7.2.2 AOT60

Een andere indicator om de gevolgen van ozon voor de bevolking in te schatten is de AOT60¹⁰. De AOT60 telt het verschil op tussen $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en de concentraties boven deze drempel van de dagelijkse hoogste 8-uurgemiddelde concentraties. In tegenstelling tot de NET60-indicator, houdt de AOT60 rekening met de grootte en de duur van de overschrijding en men kan de AOT60 dus zien als een soort van *overdosis* aan ozon. In de voorbereiding van de eerste Ozonrichtlijn [2] en van de Nationale Emissieplafondsrichtlijn [1], werd 5800 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).uren vooropgesteld als middellangetermijndoelstelling (MLTD) voor 2010, wat ongeveer overeenkomt met een NET60 gelijk aan 25 dagen. De langetermijndoelstelling is 0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).uren. De overlastindicator AOT60 werd niet behouden in de huidige Europese luchtkwaliteitsrichtlijn, maar is een betere indicator om de overlast voor de bevolking te kwantificeren omdat ook rekening gehouden wordt met de intensiteit van de overschrijding.

Figuur 35 toont de ruimtelijke spreiding over België van de AOT60 in 2022. Het is duidelijk dat de

¹⁰ AOT60: Accumulated Ozone Exposure above a Threshold of 60 ppb ($=120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) by the maximum daily 8-hour mean.



Figuur 33: Boxplots van aantal dagen met hoogste 8-uurgemiddelde ozonconcentraties $> 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in België in de periode 1990–2022. Het ruimtelijke gemiddelde wordt weergegeven door de blauwe cirkels. De groene stippellijn geeft het maximum van het 3-jaargemiddelde aantal overschrijdingsdagen in België weer. Alle data werden berekend op basis van de RIO-interpolatietechniek.

ozonoverlast zich vooral situeert in het centrum en noordoosten van het land. De hoogste waarde, 3720 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).u, werd in de provincie Limburg bereikt, in 2021 was de hoogste waarde nog 976 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).u. De langetermijndoelstelling van 0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).u werd in 2022 nergens gehaald.

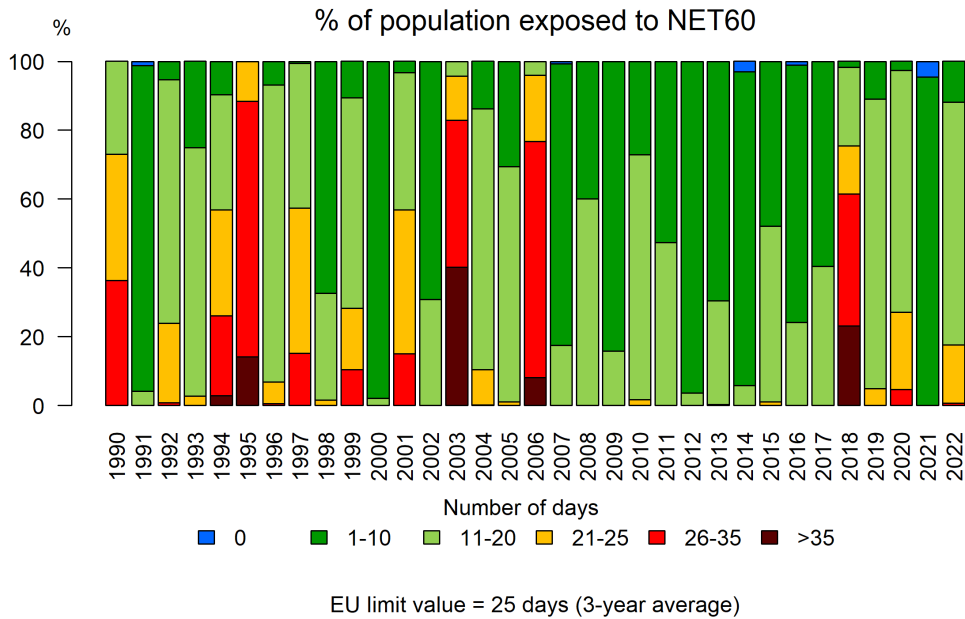
7.3 Ozon en vegetatie

Voor vegetatie is de blootstelling aan ozon op langere termijn belangrijker dan acute blootstelling. Het kwantificeren van de mogelijke schade aan planten door ozonverontreiniging is moeilijk. Ozon brengt immers voornamelijk schade toe wanneer het wordt opgenomen door de plant en voor die opname is louter de ozonconcentratie in de lucht niet de enige factor. Veel andere parameters spelen daarbij een rol: de vochtigheidsgraad, de bodemtoestand, de groeifase van de plant enzovoort. De Europese Unie heeft ter bescherming van de vegetatie een overlastindicator gedefinieerd. De AOT40 voor vegetatie telt alle overschotten boven $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ op van alle uurwaarden tussen 8 u en 20 u in de maanden mei, juni, juli (= groeiseizoen). Die indicator is bedoeld ter bescherming van de gewassen en (semi-)natuurlijke vegetatie. Aanvullend is er ook de overlastindicator ter bescherming van de bossen. De AOT40 voor bossen wordt op dezelfde manier berekend, maar loopt over de periode april–september. Die indicatoren kwantificeren enkel de blootstelling aan ozon en dus niet de daadwerkelijke ozonopname (en dus schade) van de vegetatie.

7.3.1 AOT40 voor vegetatie

In 2022 lag de AOT40 voor vegetatie overall onder de Europese streefwaarde van 18 000 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).u. Het vegetatiegewogen¹¹ gemiddelde over België bedroeg 11 633 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).u. De maximumwaarde 17 861 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).u werd berekend voor het noorden van Luik. De vegetatie in West-Vlaanderen ondervond het minst overlast. 99,7 % van de oppervlakte met vegetatie (excl. bossen) in België werd in 2022 blootgesteld aan waarden boven de langetermijndoelstelling van 6000 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).u. Figuur 36 en figuur 37 tonen de ruimtelijke spreiding van de overlast voor de vegetatie, respectievelijk in 2022 en het 5-jaargemiddelde

¹¹De AOT40-vegetatie waarde per rooster cel wordt gewogen met de fractie van de vegetatie aanwezig in die rooster cel. Op die manier wordt meer gewicht gegeven in het gemiddelde aan rooster cellen met meer vegetatie.



Figuur 34: Evolutie van de blootstelling van de bevolking aan dagen met een hoogste 8-ururgemiddelde $> 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ op basis van de RIO-interpolatietechniek.

in de periode 2018–2022. Op de kaarten zijn enkel de gebieden met vegetatie (excl. bossen) aangeduid. De ruimtelijke spreiding is soortgelijk aan die van de overlast voor de bevolking. De hoogste overlast op basis van het 5-jaargemiddelde, wordt aangetroffen in het oosten van Vlaanderen en tussen Luik en Brussel. De Europese streefwaarde van $18\,000 (\mu\text{g}/\text{m}^3)\cdot\text{u}$ gemiddeld over 5 jaar wordt voor de volledige oppervlakte met vegetatie (excl. bossen) gehaald.

Figuur 38 toont de evolutie van de ozonoverlast voor de vegetatie in België sinds 1990. De jaren 1994, 2003, 2006 en 2018 springen meteen in het oog als ongunstige ozonjaren voor de vegetatie. Gedurende deze jaren wordt de Europese streefwaarde van $18\,000 (\mu\text{g}/\text{m}^3)\cdot\text{u}$ overschreden. Ook de 5-jaargemiddelde AOT40 overschrijdt in minstens één roostercel deze streefwaarde van $18\,000 (\mu\text{g}/\text{m}^3)\cdot\text{u}$ in de jaren 2006, 2018 en 2019. De langetermijndoelstelling van $6000 (\mu\text{g}/\text{m}^3)\cdot\text{u}$ wordt elk jaar in grote delen van België overschreden.

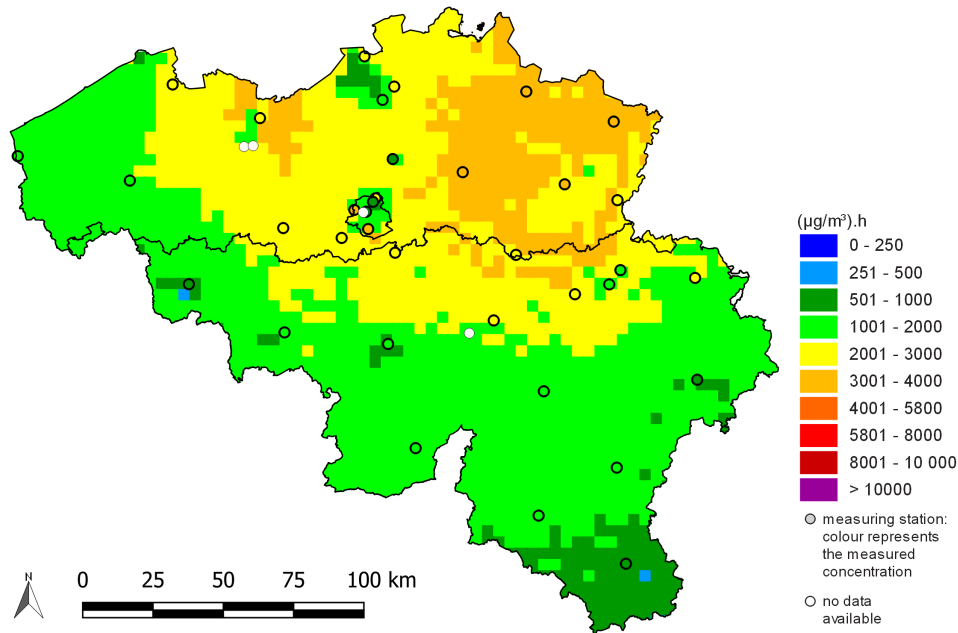
7.3.2 AOT40 voor bossen

De overlast voor de bossen wordt op dezelfde manier berekend als de overlast voor de vegetatie, met het verschil dat er een langere periode in rekening gebracht wordt, namelijk van april tot september. Voor de overlast van de bossen zijn er in de Europese luchtkwaliteitsrichtlijn 2008/50/EG geen doelstellingen opgenomen. In de voorafgaande ozonrichtlijn werd wel een referentiewaarde van $20\,000 (\mu\text{g}/\text{m}^3)\cdot\text{u}$ vooropgesteld. Die referentiewaarde is strenger dan de streefwaarde van $18\,000 (\mu\text{g}/\text{m}^3)\cdot\text{u}$ ter bescherming van de vegetatie. In de laatste Mapping Manual van het UNECE werd ook een kritische waarde van $10\,000 (\mu\text{g}/\text{m}^3)\cdot\text{u}$ gehanteerd. Dat is een niveau waarboven directe ongunstige effecten kunnen worden vastgesteld. De grootste overlast voor bossen in 2022 was te vinden in het oostelijke en zuidelijke deel van het land (figuur 39). Quasi alle Belgische bossen (99,96 %) ondervonden een overlast boven het kritische UNECE-niveau van $10\,000 (\mu\text{g}/\text{m}^3)\cdot\text{u}$, 72 % ondervond een overlast die de referentiewaarde van $20\,000 (\mu\text{g}/\text{m}^3)\cdot\text{u}$ overschreed.

7.4 Ozonjaargemiddelde concentratie

De jaargemiddelde ozonconcentratie is een maat voor de achtergrondconcentratie in België. Figuur 40 toont de ruimtelijke spreiding van de jaargemiddelde ozonconcentraties in 2022. De onzekerheid op deze

AOT60 (Belgium, 2022)



Figuur 35: Ruimtelijke spreiding van de ozonoverlast (AOT60) in 2022. *No data available* betekent dat de data niet voldoen aan de criteria uit richtlijn 2008/50/EG annex VII. Alle data werden berekend op basis van de RIO-interpolatietechniek.

kaart is te vinden in Bijlage D. Het is duidelijk dat de ozonwaarden over het algemeen hoger liggen in rurale gebieden. Dat komt omdat er in de stedelijke gebieden meer ozon wordt afgebroken door NO als gevolg van de hogere NO_x-uitstoot. Verder windafwaarts van de NO_x-emissies wordt minder ozon afgebroken. De relatie tussen de jaargemiddelde ozonconcentraties en de bevolkingsdichtheid is dus omgekeerd aan die voor PM of NO₂. In de roosterzellen met de hoogste bevolkingsdichtheid zijn de jaargemiddelde ozonconcentraties het laagst. Figuur 41 toont die relatie tussen concentratie en bevolkingsdichtheid voor 2022 en het gemiddelde van de periode 2017–2021. Voor beide relaties is de trend gelijkaardig. De jaargemiddelde concentraties voor Brussel, Vlaanderen en Wallonië in 2022 bedragen respectievelijk 49,5 µg/m³, 53,1 µg/m³ en 55,7 µg/m³. Het gemiddelde in België is 54,5 µg/m³ terwijl de bevolkingsgewogen jaargemiddelde ozonconcentratie 51,1 µg/m³ bedraagt. Ook hieruit blijkt de omgekeerde evenredigheid tussen bevolkingsdichtheid en ozonconcentratie.

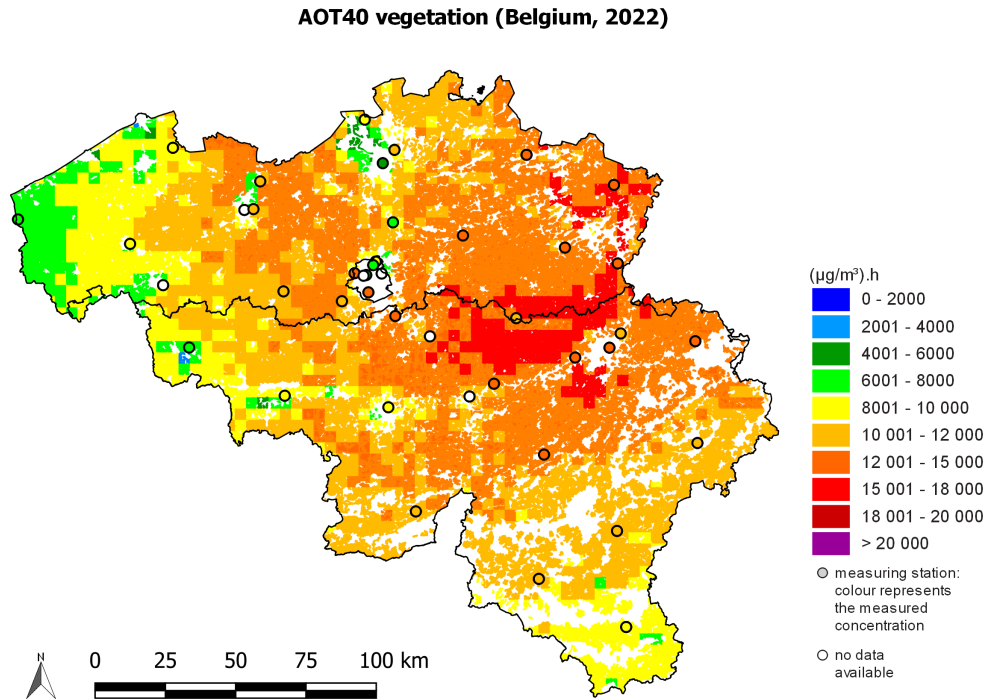
De 2098 waarden uit figuur 40 kunnen ook in een boxplot¹² weergegeven worden. In figuur 42 wordt dit gedaan voor 2022 en alle voorgaande jaren sinds 1990. Op deze manier is de trend van de maximumwaarde, het gemiddelde en de mediaan, en het minimum observeerbaar. Tussen 1990 en 2000 is er een stijgende trend waarneembaar van de jaargemiddelde ozonconcentraties. Tussen 2000 en 2012 blijft het verloop eerder constant met gemiddelde waarden van ongeveer 45 µg/m³. Sinds 2013 was opnieuw een stijging waarneembaar, deze trend wordt gebroken door het uitzonderlijk gunstige ozonjaar 2021.

7.5 Evolutie in ozonconcentratieklassen

Om de langetermijntrend van de ozonconcentraties na te gaan, is het belangrijk een onderscheid te maken in de verschillende concentratieklassen of percentielwaarden. Concentratieklassen rond 45–50 µg/m³, die ongeveer overeenkomen met het 50^{ste} percentiel, zijn in België representatief voor de ozonachtergrondconcentratie. Piekconcentraties van rond en boven 180 µg/m³ worden getoond door het 99,9^{ste} percentiel. De evolutie van beide percentielen kan heel verschillend zijn.

Om de langetermijntrend na te gaan, werd voor elke RIO-roostercel het 1^{ste}, 10^{de}, 50^{ste}, 90^{ste}, 95^{ste}, 99^{ste}

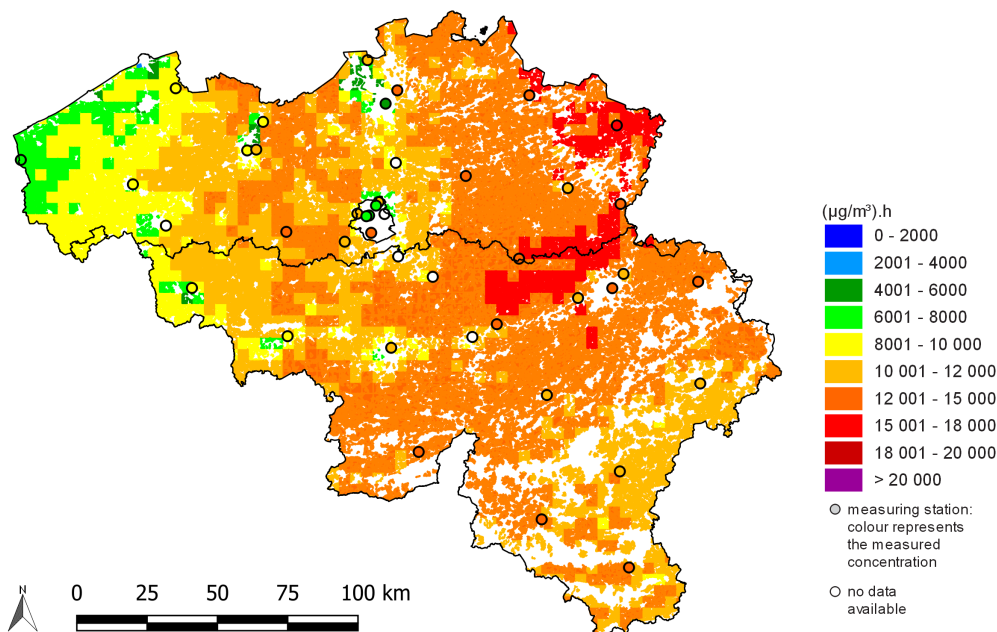
¹²Voor de interpretatie van boxplots, zie bijlage C



Figuur 36: Ruimtelijke spreiding van de overlast voor de vegetatie (AOT40 voor vegetatie) in 2022. *No data available* betekent dat de data niet voldoen aan de criteria uit richtlijn 2008/50/EG annex VII. Alle data werden berekend op basis van de RIO-interpolatietechniek.

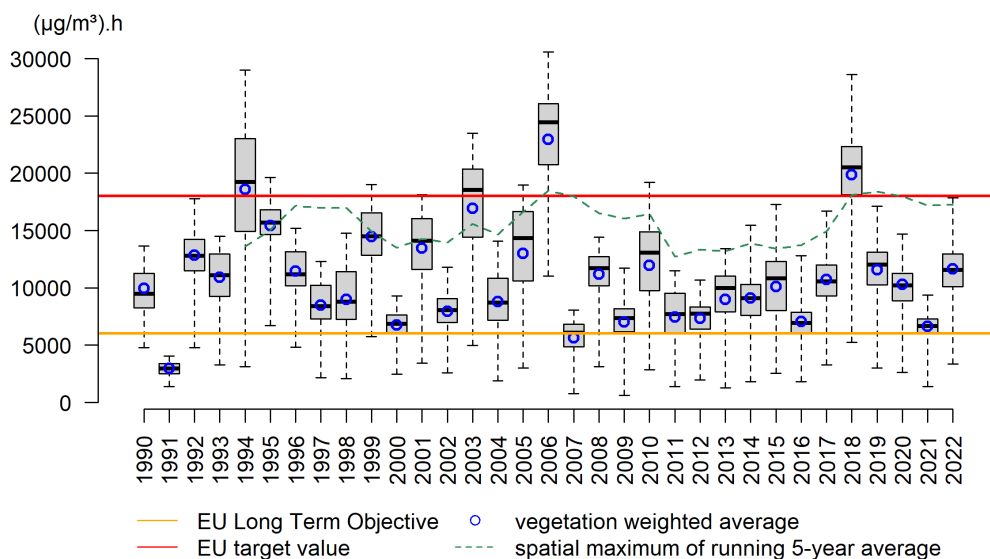
en 99.9^{ste} percentiel berekend van alle uurgemiddelde ozonconcentraties voor de periodes 1990–1999 en 2013–2022. Vervolgens werd het verschil in de percentielen tussen die twee periodes berekend. Figuur 43 toont die verandering in functie van de percentielen in de periode 2013–2022. Daaruit blijkt duidelijk dat de ozonconcentraties overeenkomend met het 10^{de} tot 90^{ste} percentiel, licht gestegen zijn in de periode 2013–2022 ten opzichte van de periode 1990–1999, met toenames tot meer dan 15 µg/m³. De ozonpiekconcentraties echter, weergegeven door het 99^{ste} en 99,9^{ste} percentiel, zijn op heel wat plaatsen gedaald, met afnames tot zelfs -35 µg/m³. De trend, een stijging van de lagere percentielen en een daling van de hogere, is vergelijkbaar met de geobserveerde trends in het netwerk van het Europese Monitorings- en Evaluatieprogramma [11].

AOT40 vegetation (Belgium, 2018-2022)



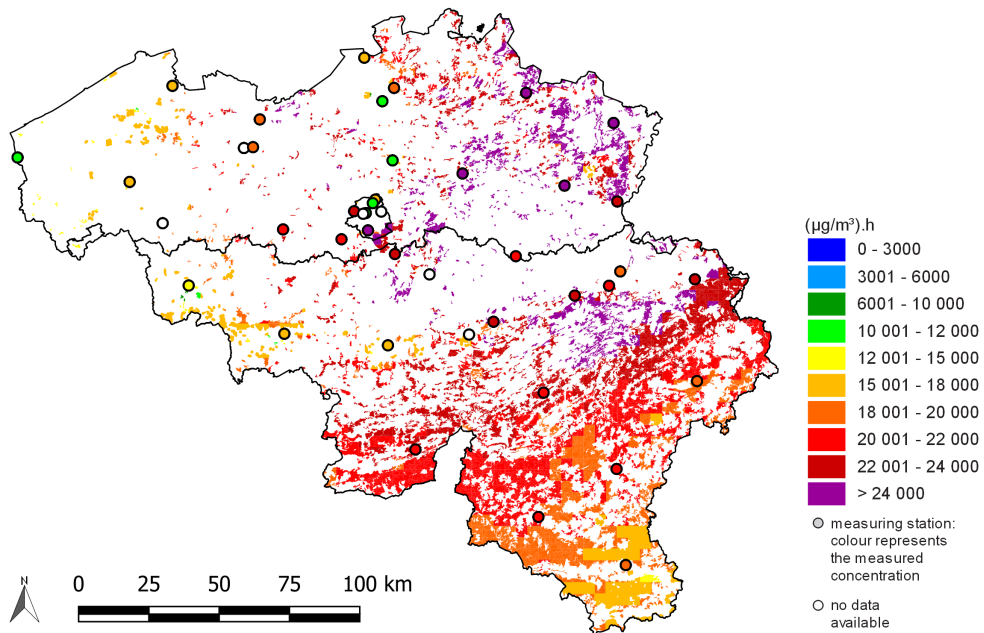
Figuur 37: Ruimtelijke spreiding van de overlast voor de vegetatie (AOT40 voor vegetatie), 5-jaargemiddelde 2018–2022. *No data available* betekent dat de data niet voldoen aan de criteria uit richtlijn 2008/50/EG annex VII. Alle data werden berekend op basis van de RIO-interpolatietechniek.

AOT40 O₃ vegetation



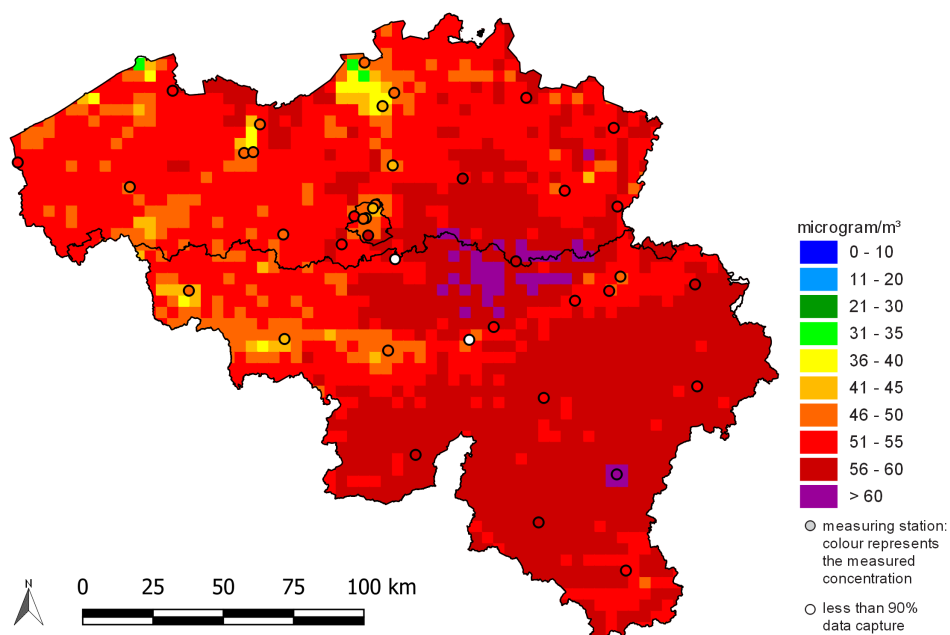
Figuur 38: Boxplots van de overlast voor de vegetatie (AOT40) in België (1990–2022). De vegetatiegewogen gemiddelden voor België worden weergegeven door de blauwe cirkels. De groene stippellijn geeft het ruimtelijk maximum van de 5-jaargemiddelde AOT40 weer. Alle data werden berekend op basis van de RIO-interpolatietechniek.

AOT40 forest (Belgium, 2022)

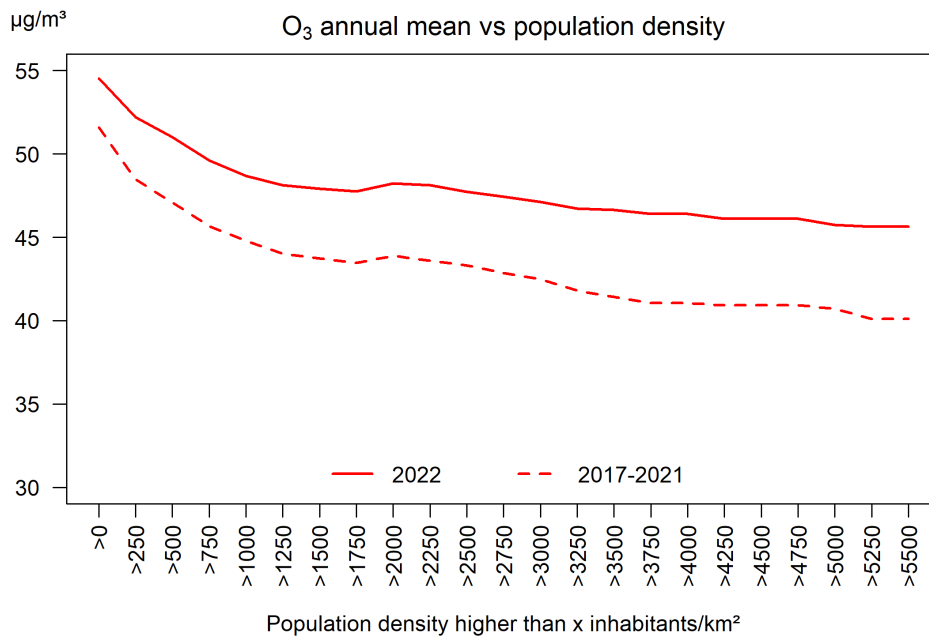


Figuur 39: Ruimtelijke spreiding van de ozonoverlast voor bossen (AOT40 voor bossen), 2022. *No data available* betekent dat de data niet voldoen aan de criteria uit richtlijn 2008/50/EG annex VII voor het aggregeren van de meetgegevens. Alle data werden berekend op basis van de RIO-interpolatietechniek.

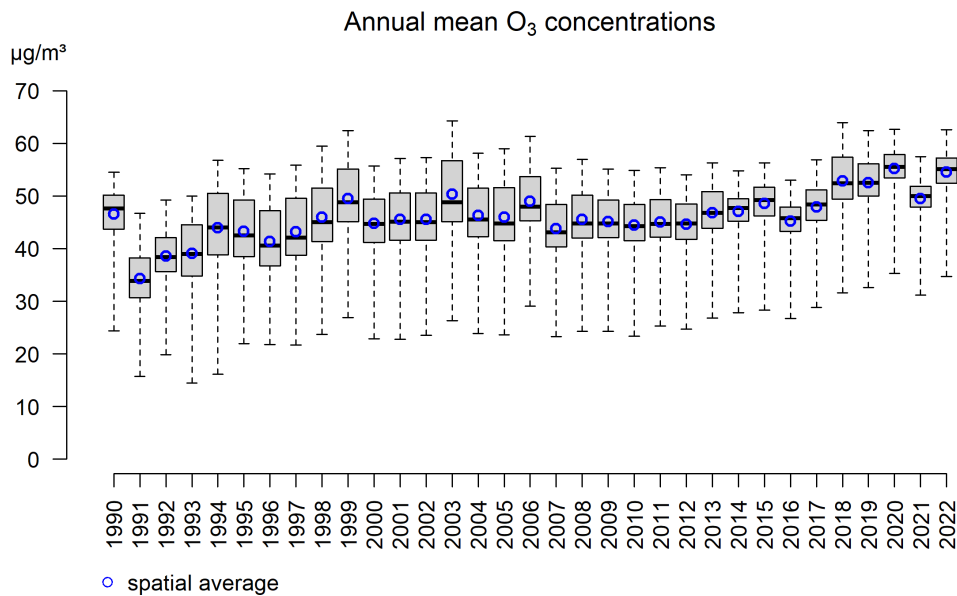
Annual mean O₃ concentration (Belgium, 2022)



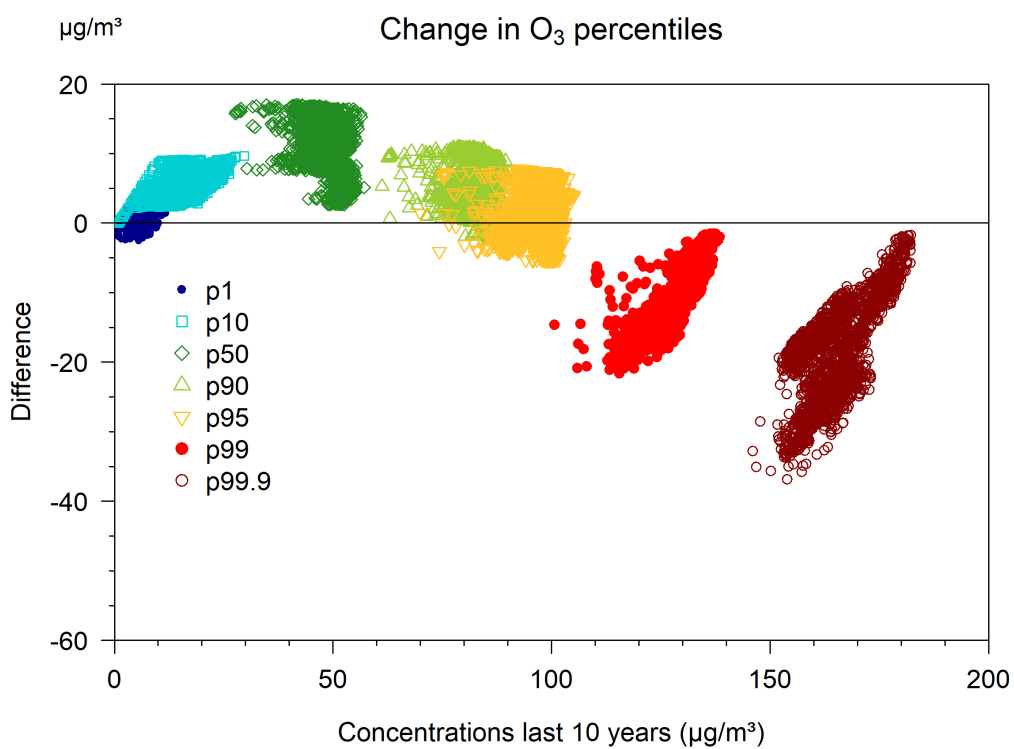
Figuur 40: Ruimtelijke spreiding van de O₃-jaargemiddelde concentraties in België, 2022. Alle data werden berekend op basis van de RIO-interpolatietechniek.



Figuur 41: Relatie tussen de geïnterpoleerde jaargemiddelde O₃-concentraties op basis van de RIO-interpolatietechniek en de bevolkingsdichtheid (inwoners/km²).



Figuur 42: Boxplot van jaargemiddelde O₃-concentraties over de periode 1990–2022. Het ruimtelijk gemiddelde wordt weergegeven door de blauwe cirkels. Alle data werden berekend op basis van de RIO-interpolatietechniek.



Figuur 43: Verandering in O₃-percentielen tussen de periode 1990–1999 en 2013–2022 in functie van de ozonconcentraties in de periode 2013–2022 voor alle RIO-roostercellen. De data (uurgemiddelde ozonconcentraties) werden gegenereerd op basis van de RIO-interpolatietechniek. De verschillende kleuren geven de verschillende percentielwaarden aan.

8 Zwaveldioxide

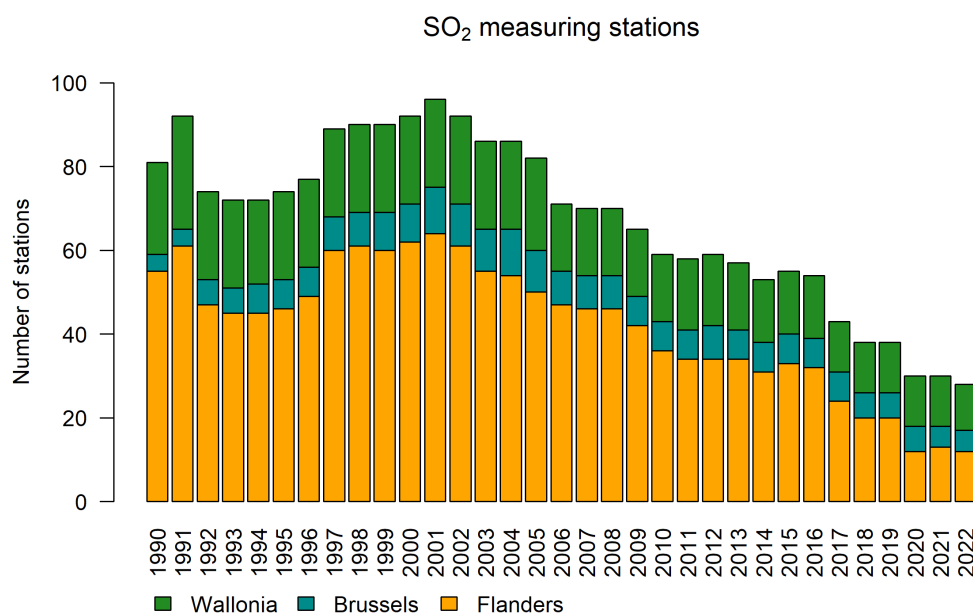
Zwaveldioxide (SO_2) is een kleurloos gas met een karakteristieke irriterende geur en smaak bij hoge concentraties (vanaf $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$). SO_2 wordt voornamelijk in de lucht uitgestoten bij de verbranding van zwavelhoudende fossiele brandstoffen zoals steenkool en aardolie. De belangrijkste bronnen van SO_2 zijn de industrie en raffinaderijen, gevolgd door de energiesector en gebouwenverwarming. Een natuurlijke bron van SO_2 zijn vulkaanuitbarstingen.

SO_2 is schadelijk voor de mens en ecosystemen, inademen van SO_2 kan al bij lage concentraties irritatie van de luchtwegen veroorzaken en kortdurende blootstelling aan hoge concentraties leidt tot een verminderde longfunctie en ademhalingsproblemen, vooral bij astmapatiënten en mensen met longaandoeningen. Daarnaast wordt zwaveldioxide eenvoudig omgezet in zwavelzuur (H_2SO_4) met verzuring van de bodem en het water en aantastingen van de ecosystemen als gevolg [8]. Ten slotte zorgt SO_2 in belangrijke mate voor de versnelde verwerking van historische gebouwen (en steen in het algemeen) en voor metaalcorrosie.

SO_2 is een component in de vorming van fijn stof en kan over grote afstanden worden getransporteerd en zo ook in meer afgelegen gebieden schade veroorzaken.

8.1 SO_2 -meetstations

Figuur 44 toont de evolutie van het aantal meetstations waar SO_2 gemeten wordt. Het aantal SO_2 -meetstations is gedaald van 81 in 1990 tot 28 in 2022. In de jaren dat er minder meetstations zijn, hebben de geïnterpoleerde waarden een grotere onzekerheid.



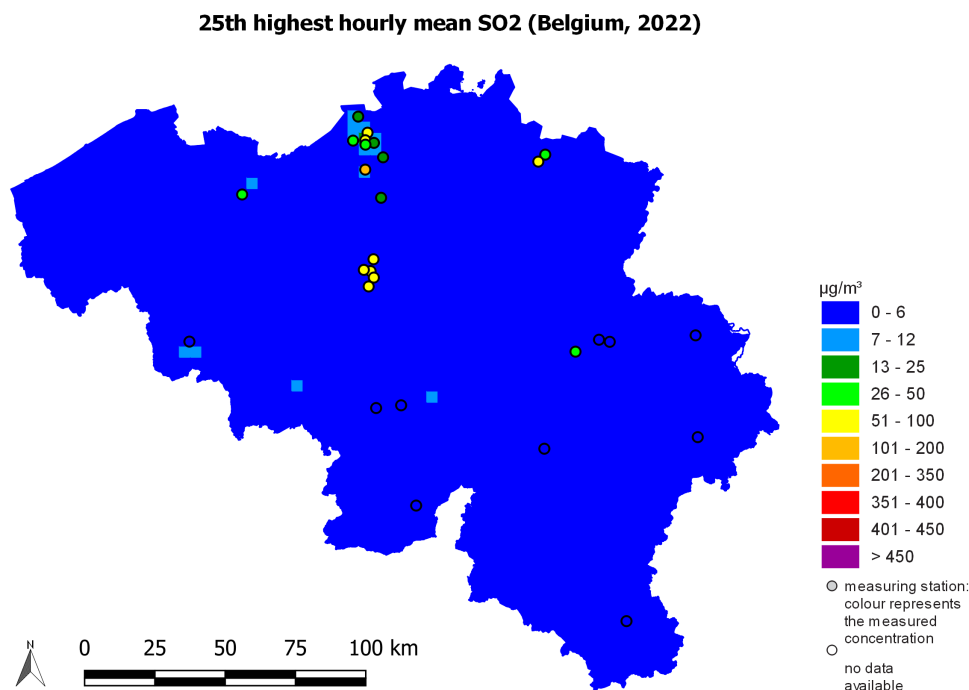
Figuur 44: Evolutie van het aantal SO_2 -meetstations in België.

8.2 SO_2 -uurgemiddelde concentratie

De Europese luchtkwaliteitsrichtlijn legt een grenswaarde van $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ op voor de uurgemiddelde SO_2 -concentratie. Die uurgrenswaarde mag niet vaker dan 24 keer per jaar worden overschreden. SO_2 -vervuiling vertoont een uiterst lokaal karakter met grote ruimtelijke variaties. Door de resolutie van de RIO-interpolatiemethode zijn lokale overschrijdingen niet noodzakelijk zichtbaar. In ieder geval wordt in België de uurgrenswaarde ruimschoots gerespecteerd op niveau van de roostercellen. Figuur 45 geeft voor elke roostercel de 25^{ste} hoogste uurwaarde van 2022, gezien deze nergens hoger is dan $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ is

er geen enkele cel waar de uurgrenswaarde vaker dan 24 keer werd overschreden in 2022. Het maximum van de 25^{ste} hoogste uurwaarde in België in 2022, representatief voor een gebied van 4x4 km², bedraagt 17,9 µg/m³, wat ruim onder de Europese grenswaarde van 350 µg/m³ ligt. De uurgemiddelde waarden gemeten in de stations zijn zeer lokale observaties.

De 2098 waarden uit figuur 45 kunnen ook in een boxplot¹³ weergegeven worden. In figuur 46 wordt dit gedaan voor 2022 en alle voorgaande jaren sinds 1990. Op deze manier is de trend van de maximumwaarde, het gemiddelde en de mediaan, en het minimum observeerbaar. De evolutiegrafiek van de 25^{ste} hoogste uurgemiddelde concentratie geeft duidelijk een dalende trend weer. Sinds 1990 zijn de SO₂-piekconcentraties systematisch en fors gedaald. De laatste jaren zijn de SO₂-piekconcentraties nagenoeg constant.



Figuur 45: Ruimtelijke spreiding van de 25^{ste} hoogste uurgemiddelde SO₂-concentratie in 2022. Alle data werden berekend op basis van de RIO-interpolatietechniek.

8.3 SO₂-daggemiddelde concentratie

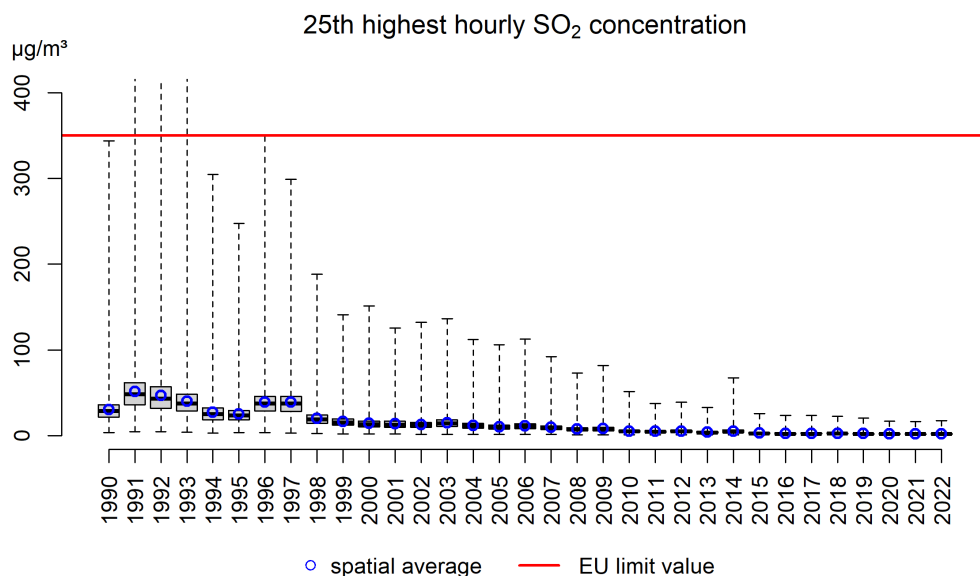
Voor de bescherming van de bevolking tegen de kortetermijneffecten van SO₂ wordt door de Europese richtlijn ook een grenswaarde voor de daggemiddelde SO₂-concentratie opgelegd. Die daggrenswaarde van 125 µg/m³ mag maximaal driemaal per jaar worden overschreden. De WGO-advieswaarde bedraagt 40 µg/m³. De EU-grenswaarde en WGO-advieswaarde worden overal ruimschoots gerespecteerd. Net zoals voor de SO₂-uurgemiddelden, vertoont ook de evolutie van de 4^{de} hoogste daggemiddelden¹⁴ een continu dalende trend (figuur 47). De laatste jaren zijn deze 4^{de} hoogste daggemiddelden nagenoeg constant.

8.4 SO₂-jaargemiddelde concentratie

Ter bescherming van de vegetatie en natuurlijke ecosystemen wordt in de Europese richtlijn ook een kritiek niveau opgelegd van 20 µg/m³ als jaargemiddelde concentratie en een gemiddelde over het win-

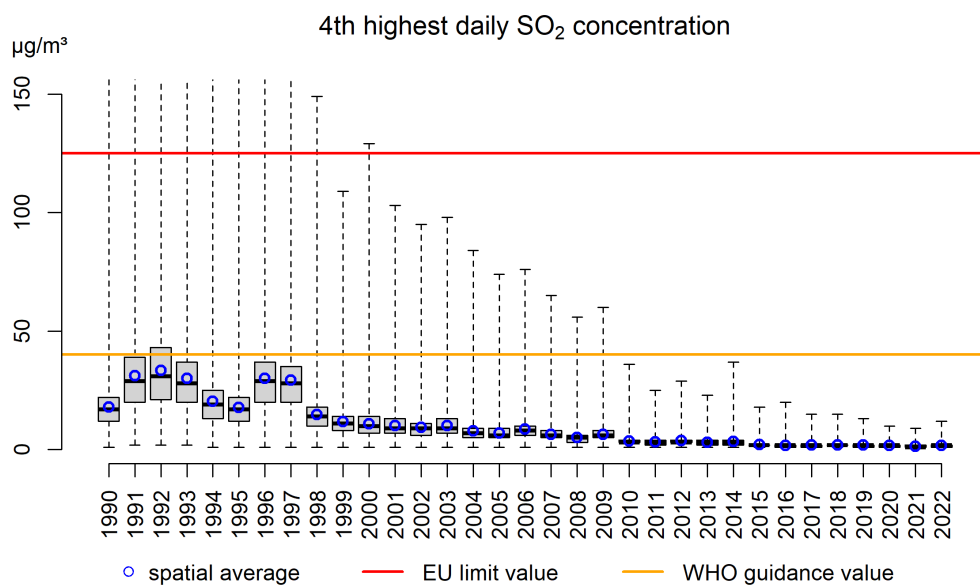
¹³Voor de interpretatie van boxplots, zie bijlage C

¹⁴Gezien de grens van 125 µg/m³ driemaal per jaar mag overschreden worden, kijken we hier naar de 4^{de} hoogste dagwaarde, indien die onder de grens van 125 µg/m³ blijft, wordt voldaan aan de richtlijn.



Figuur 46: Boxplot van de 25^{ste} hoogste uurgemiddelde SO₂-concentratie over de periode 1990–2022 in België op basis van de RIO-interpolatietechniek.

terseizoen. Die grenswaarde moet worden gehaald op meetstations die representatief zijn voor een gebied van minimaal 1000 km², en gelegen zijn op ten minste 20 km van een agglomeratie en op ten minste 5 km van een drukke weg, bebouwing, industrie,... Omdat België geen locaties heeft die aan die criteria voldoen, is die grenswaarde niet van toepassing.



Figuur 47: Boxplot van de 4^{de} hoogste daggemiddelde SO₂-concentratie over de periode 1990–2022 in België op basis van de RIO-interpolatietechniek.

9 Besluit

Dit jaarrapport geeft een overzicht van de luchtkwaliteit in België in het jaar 2022, met speciale aandacht voor de ruimtelijke verdeling van de concentraties van de vijf belangrijkste polluenten (PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, O₃ en SO₂) en een bespreking van de evolutie van de verschillende indicatoren doorheen de tijd.

Algemeen geldt dat de concentraties en het aantal overschrijdingen dalen sinds het begin van de metingen, met de jaargemiddelde ozonconcentratie als opvallende uitzondering. Ook op middellange termijn wordt een verbetering van de luchtkwaliteit waargenomen. Tabel 1 in de samenvatting toont dat bijna alle indicatoren lager zijn dan het 10-jaarsgemiddelde. Sinds 2020 is deze geleidelijke daling echter verstoord als gevolg van de COVID-19-pandemie en de maatregelen om besmettingen te voorkomen. Verschillende indicatoren voor PM₁₀, PM_{2.5}, BC en NO₂ vertonen een minimum in het jaar 2020 gevolgd door een toename in 2021 en 2022. In vergelijking met het laatste jaar vóór de pandemie, 2019, kan voor 2022 over een lichte verbetering gesproken worden.

De grote uitzonderingen op bovenstaande trends zijn de indicatoren voor ozon. Ozon is een secundaire pollutant, zijn concentraties hangen sterk af van de combinatie van andere polluenten en de inwerking van zonlicht. De overlastindicatoren voor ozon vertonen geen enkele trend.

2022 was een gemiddeld jaar voor ozonexcessen, op 7 dagen werd een overschrijding van de Europese informatiedrempel van 1 uur 180 µg/m³ geregistreerd. Alle middellangetermijndoelstellingen voor ozon werden gerespecteerd behalve de overlast voor bossen. Ook voor fijn stof, stikstofdioxide en zwaveldioxide werden alle Europese grenswaarden gerespecteerd. Wanneer we vergelijken met de strengere en gezondheidsgerelateerde WGO-advieswaarden blijkt dat er voor alle polluenten, behalve SO₂, overschrijdingen zijn. 74 % van de bevolking wordt blootgesteld aan jaargemiddelde PM₁₀-concentraties boven de WGO-advieswaarde, 76 % aan jaargemiddelde NO₂-concentraties boven de WGO-advieswaarde, 94 % aan jaargemiddelde PM_{2.5}-concentraties boven de WGO-advieswaarde en de totale bevolking aan 8-uurgemiddelde ozonconcentraties boven de WGO-advieswaarde.

Uit dit jaarrapport kan worden geconcludeerd dat de luchtkwaliteit in België de laatste decennia significant verbeterd is, maar dat het gros van de Belgische bevolking nog altijd blootgesteld wordt aan te veel luchtvervuiling. Dit zorgt voor een blijvende en aanzienlijke impact op de volksgezondheid. Ook de impact op ecosystemen blijft ongunstig. Het is zeker van belang te benadrukken dat de resultaten vermeld in dit rapport gebaseerd zijn op berekeningen met de RIO-interpolatietechniek, met een ruimtelijke resolutie van 4x4 km². De resultaten in dit rapport zijn dan ook representatief voor gebieden met een oppervlakte van 16 km². In de nabijheid van belangrijke emissiebronnen (verkeerswegen, residentiële zones met veel houtverbranding, industriezones...) kunnen de concentraties hoger zijn. Lokale gevalsstudies moeten worden uitgevoerd teneinde de meer specifieke effecten te onderscheiden. Dit rapport heeft tot doel de luchtkwaliteit op Belgisch niveau in kaart te brengen.

Referenties

- [1] Directive 2001/81/ec of the european parliament and of the council of 23 october 2001 on national emission ceilings for certain atmospheric pollutants. *OJ*, L 309:0022–0030, 2001.
- [2] Directive 2002/3/ec of the european parliament and of the council of 12 february 2002 relating to ozone in ambient air. *OJ*, L 067:0014–0030, 2002.
- [3] 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 152:1–44, 2008.
- [4] D. C. Carslaw and K. Ropkins. *openair — An R package for air quality data analysis*, 2012.
- [5] J. Hooyberghs, C. Mensink, G. Dumont, and F. Fierens. Spatial interpolation of ambient ozone concentrations from sparse monitoring points in belgium. *J. Environ. Monit.*, 8:1129–1135, 2006. doi: 10.1039/B612607N. URL <http://dx.doi.org/10.1039/B612607N>.
- [6] IRCEL. Het effect van de covid-19 maatregelen op de luchtkwaliteit in België een inschatting met een random forest model. pages 1–43, 2020.
- [7] S. Janssen, G. Dumont, F. Fierens, and C. Mensink. Spatial interpolation of air pollution measurements using corine land cover data. *Atmospheric Environment*, 42(20):4884–4903, 2008. ISSN 1352-2310. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.02.043>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231008001829>.
- [8] S. Overloop, M. Bossuyt, D. Claeys, J. D’hooghe, A. Elsen, E. R., and W. H. Milieurapport vlaanderen, achtergronddocument 2011 vermessing. pages 1–111, 2011. URL <https://www.milieurapport.be>.
- [9] QGIS Development Team. *QGIS Geographic Information System*. QGIS Association, 2021. URL <https://www.qgis.org>.
- [10] R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2021. URL <https://www.R-project.org/>.
- [11] K. Tørseth, W. Aas, K. Breivik, A. Fjaeraa, M. Fiebig, A. Hjellbrekke, C. Lund Myhre, S. Solberg, and K. Yttri. Introduction to the european monitoring and evaluation programme (emep) and observed atmospheric composition change during 1972–2009. *ATMOSPHERIC CHEMISTRY AND PHYSICS*, 12:5447–5481, 06 2012. doi: 10.5194/acp-12-5447-2012.
- [12] VMM. Chemkar pm₁₀: chemische karakterisatie van fijn stof in vlaanderen, 2006–2007. pages 1–168, 2009.
- [13] VMM. Chemkar pm₁₀ ‘hotspots’, chemische karakterisatie van fijn stof in vlaanderen, 2008–2009. pages 1–130, 2010.
- [14] WHO. *WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Executive summary*. World Health Organization, 2021.

10 Bijlage A: Meetstations

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de meetstations waarvan de metingen te zien zijn op de geografische kaarten in dit rapport. De vinken geven aan welke pollutanten in de meetstations gemeten worden.

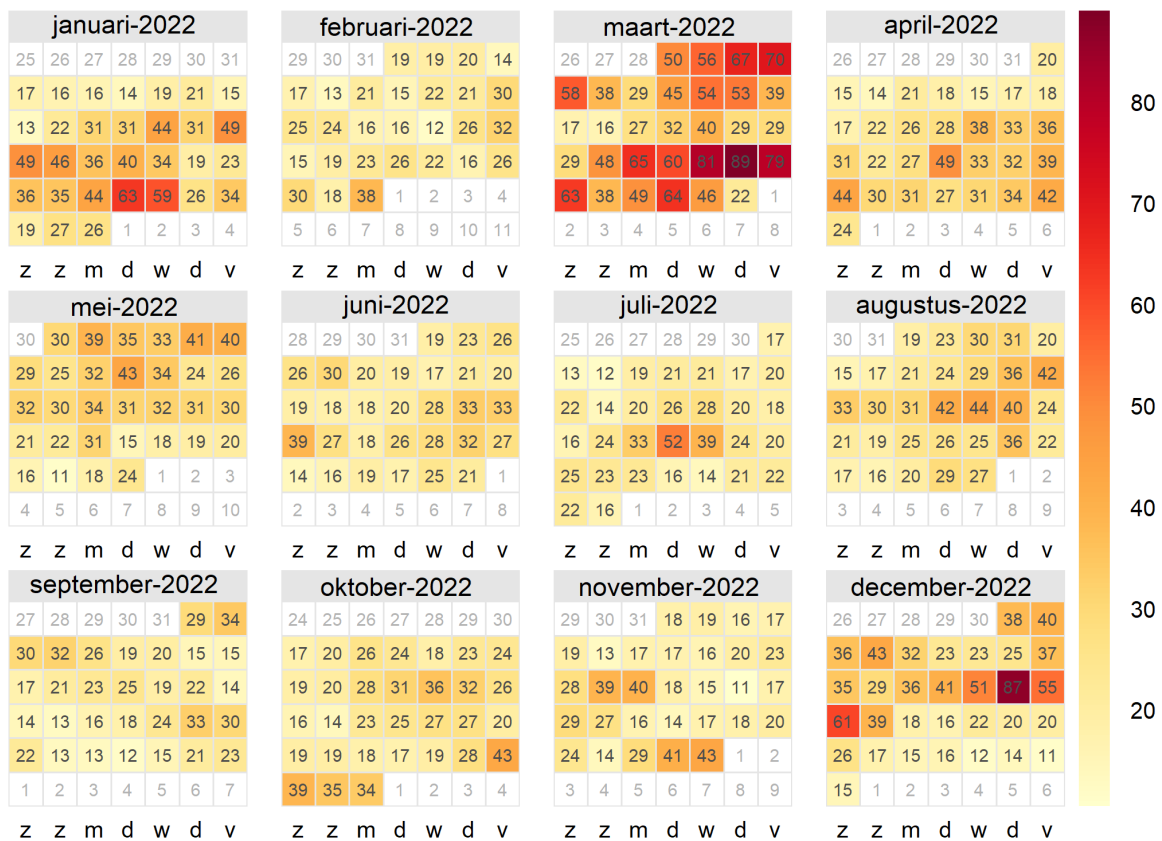
Stationscode	Locatie	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃	NO ₂	BC	SO ₂
40AL01	ANTWERPEN-LINKEROEVER	✓	✓		✓	✓	
40AL02	DOEL (ENGELSESTEENWEG)	✓	✓				
40AL03	BEVEREN	✓	✓				
40AL04	BEVEREN	✓	✓			✓	
40AL05	KALLO (SLUIS KALLO)	✓	✓			✓	
40AT44	ORDAMSTRAAT				✓		✓
40AT83	BERENDRECHT	✓	✓		✓	✓	✓
40EG05	EVERGEM (RIEME)	✓	✓			✓	
40GK11	GENK	✓	✓				
40HB23	HOBOKEN	✓	✓				✓
40LD02	LAAKDAL - GEEL				✓		
40LM07	LOMMEL						✓
40MN01	MENEN	✓	✓				
40OB01	OOSTROZEBEKE	✓	✓			✓	
40OB02	WIELSBEKE	✓	✓				
40R822	ANTWERPEN (HAVEN)	✓	✓		✓		✓
40R833	STABROEK						
40R891	ANTWERPEN (HAVEN)				✓		✓
40R892	KALLO (SLUIS KALLO)				✓		✓
40R897	ANTWERPEN (HAVEN)				✓		✓
40RM06	RUMST (STEENBERGHOEKSTRAAT)		✓				✓
40SA04	HOEVENEN	✓	✓			✓	
40SA08	STABROEK				✓		
40SZ01	STEENOKKERZEEL				✓	✓	
40SZ05	STEENOKKERZEEL	✓	✓		✓	✓	
40WZ02	MOL (WEZEL)						✓
41B001	BRUSSEL (KUNST-WET)				✓		✓
41B004	BRUSSEL (SINT-KATELIJNE)			✓	✓		
41B006	BRUSSEL (EU-PARLEMENT)				✓		
41B008	BRUSSEL (BELLIARD)				✓		
41B011	SINT-AGATHA-BERCHEM	✓	✓	✓	✓		
41BUL1	BRUSSEL (ZUIDLAAN)				✓		
41CHA1	GANSHOREN (KEIZER-KAREL)				✓		
41MEU1	NEDER-OVER-HEEMBEEK (MEUDON)	✓	✓	✓	✓		
41N043	HAREN	✓	✓	✓	✓	✓	✓
41R001	SINT-JANS-MOLENBEEK	✓	✓	✓	✓	✓	✓
41R002	ELSENE				✓	✓	✓
41R012	UKKEL	✓	✓	✓	✓	✓	✓
41REG1	BRUSSEL (REGENTLAAN)				✓		
41VBX1	BRUSSEL (GROOT EILAND)				✓		
41VBX2	BRUSSEL (HUIDEVETTERSTRAAT)				✓		
41VBX3	BRUSSEL (LAKENSESTRAAT)				✓		
42AL09	ANTWERPEN (VAN AVERBEKELAAN)	✓	✓				
42AL10	ANTWERPEN (BLANCEFLOERLAAN)	✓	✓				
42DU07	ANTWERPEN (DEURNE)	✓	✓		✓	✓	
42HH08	HOUTHALEN-HELCHTEREN	✓	✓				
42M802	ANTWERPEN LUCHTBAL	✓	✓		✓	✓	
42N016	DESSEL	✓	✓	✓	✓	✓	
42N027	BREE			✓	✓		
42N035	AARSCHOT	✓	✓	✓	✓		
42N040	SINT-PIETERS-LEEUEW			✓	✓		

Stationscode	Locatie	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃	NO ₂	BC	SO ₂
42N046	GELLIK			✓	✓		
42N047	HASSELT	✓	✓	✓	✓	✓	
42N054	LANDEN	✓	✓	✓	✓		
42R020	VILVOORDE	✓	✓		✓		
42R801	ANTWERPEN	✓	✓	✓	✓	✓	✓
42R802	ANTWERPEN	✓	✓		✓	✓	
42R803	ANTWERPEN	✓	✓		✓	✓	
42R804	BORGERHOUT (RING)	✓	✓		✓	✓	
42R805	ANTWERPEN	✓	✓		✓	✓	
42R806	ANTWERPEN (MAERLANT)				✓		
42R811	SCHOTEN	✓	✓	✓	✓		
42R817	ANTWERPEN	✓	✓		✓	✓	
42R818	ANTWERPEN	✓	✓		✓	✓	
42R820	KAPellen				✓		
42R823	BEVEREN-WAAS	✓	✓				
42R830	DOEL				✓		
42R831	BERENDRECHT			✓	✓		
42R834	BOOM	✓	✓			✓	
42R842	MECHELEN (HENDRIK SPEECQVEST)	✓	✓	✓	✓	✓	
42ZD01	ZWIJNDRECHT (BINNENPLEIN)	✓	✓				
42ZD08	ZWIJNDRECHT (NEERSTRAAT)	✓	✓				
43H201	SAINT NICOLAS	✓	✓				
43M204	ANGLEUR	✓	✓				
43N060	HAVINNES	✓	✓	✓	✓		✓
43N064	RIXENSART	✓	✓	✓	✓		
43N066	EUPEN			✓	✓		✓
43N067	MEMBACH	✓	✓				
43N070	MONS	✓	✓	✓	✓	✓	
43N073	VEZIN	✓	✓	✓	✓		
43N085	VIELSALM	✓	✓	✓	✓	✓	✓
43N093	SINSIN	✓	✓	✓	✓	✓	✓
43N100	DOORBES	✓	✓	✓	✓		✓
43N113	SAINT-ODE	✓	✓	✓	✓		
43N121	OFFAGNE	✓	✓	✓	✓		
43N132	HABAY-LA-NEUVE	✓	✓	✓	✓		✓
43R202	LIEGE (AV. M. DESTENAY)	✓	✓		✓	✓	
43R221	LUIK	✓	✓	✓	✓	✓	
43R222	LUIK	✓	✓	✓	✓	✓	✓
43R223	JEMEPE	✓	✓		✓		✓
43R240	ENGIS	✓	✓	✓	✓		✓
43R401	NAMUR	✓	✓	✓	✓		
44M705	ROESELARE	✓	✓	✓	✓	✓	
44N012	MOERKERKE	✓	✓	✓	✓		
44N029	HOUTEM	✓	✓	✓	✓	✓	
44N051	IDEGEM			✓	✓		
44N052	ZWEVEGEM	✓	✓		✓		
44R701	GENT	✓	✓	✓	✓	✓	
44R702	GENT	✓	✓		✓	✓	
44R703	GENT					✓	
44R710	DESTELBERGEN	✓	✓	✓	✓		
44R721	WONDELGEM				✓		✓
44R731	EVERGEM	✓	✓		✓		
44R740	SINT-KRUIS-WINKEL	✓	✓	✓	✓		
44R750	ZELZATE	✓	✓		✓	✓	
44RL01	ROESELARE (BRUGSESTEENWEG)	✓	✓				
45R501	CHARLEROI	✓	✓		✓		
45R502	LODELINSART	✓	✓	✓	✓		

Stationscode	Locatie	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃	NO ₂	BC	SO ₂
45R503	CHARLEROI (PARC)	✓	✓		✓	✓	
45R510	CHATELINEAU	✓	✓				✓
45R511	MARCINELLE	✓	✓				
45R512	MARCHIENNE AU PONT	✓	✓		✓	✓	✓
47E007	SINT-PIETERS-LEEUEW				✓		
47E008	GRIMBERGEN				✓		
47E009	ZEMST				✓		
47E013	VORST				✓		
47E703	OOST-EEKLO				✓		
47E704	WACHTEBEKE				✓		
47E714	DUDZELE				✓		
47E715	ZUIENKERKE				✓		
47E716	MARIAKERKE				✓		
47E814	HAM (GENEBOSSTRAAT)				✓		
48R215	HERMALLE	✓	✓		✓	✓	
48R235	BIERSET	✓			✓		
48R515	CHARLEROI (AEROPORT 1)	✓	✓		✓		
48R516	CHARLEROI (AEROPORT 2)	✓	✓		✓		

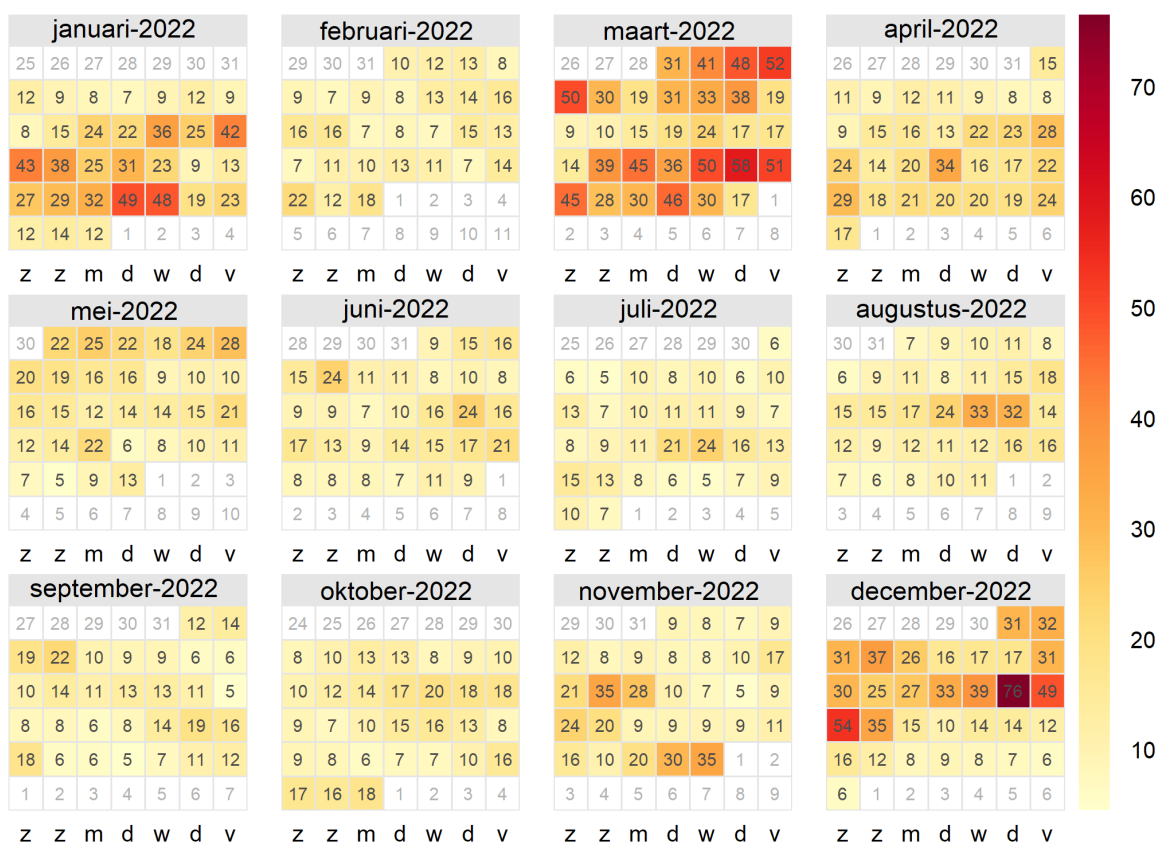
11 Bijlage B: Jaaroverzicht van luchtkwaliteitspolluenten

Spatial maximum of the daily mean PM₁₀ concentrations in 2022



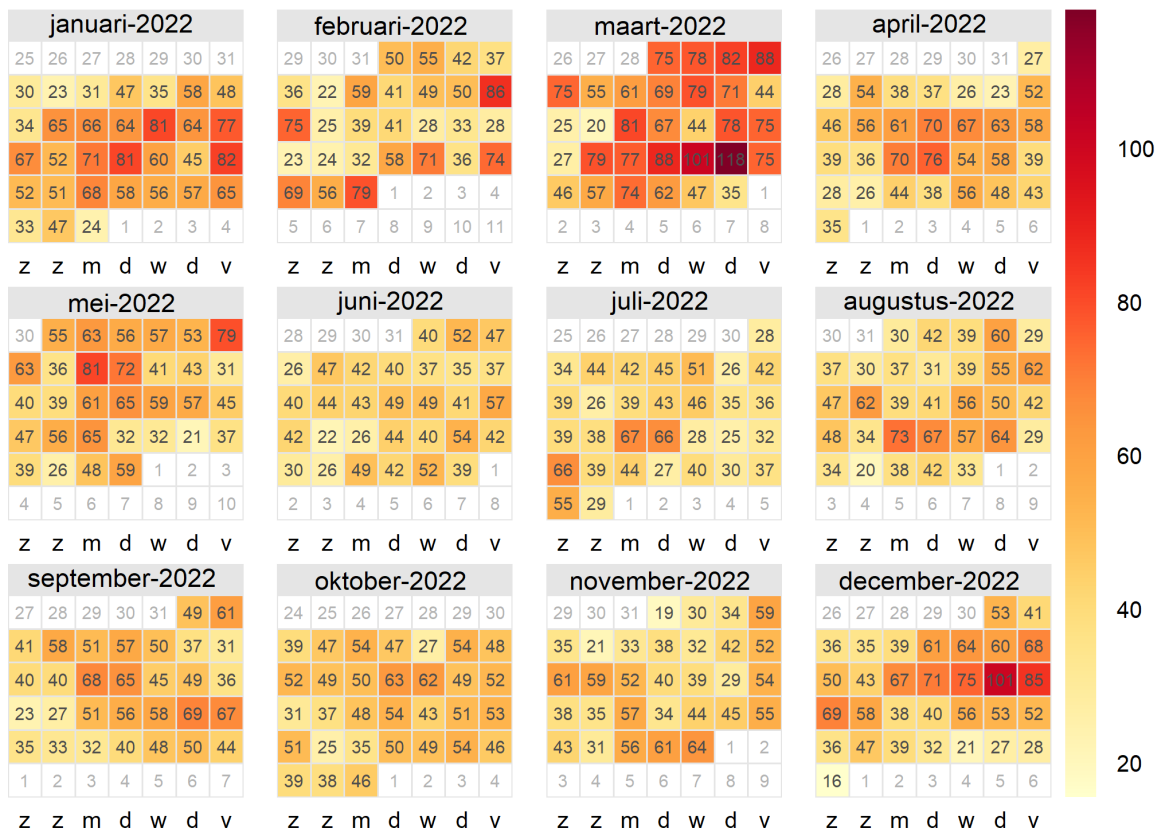
Figuur 48: Ruimtelijk maximum van daggemiddelde PM₁₀-concentraties in 2022.

Spatial maximum of the daily mean PM_{2.5} concentrations in 2022



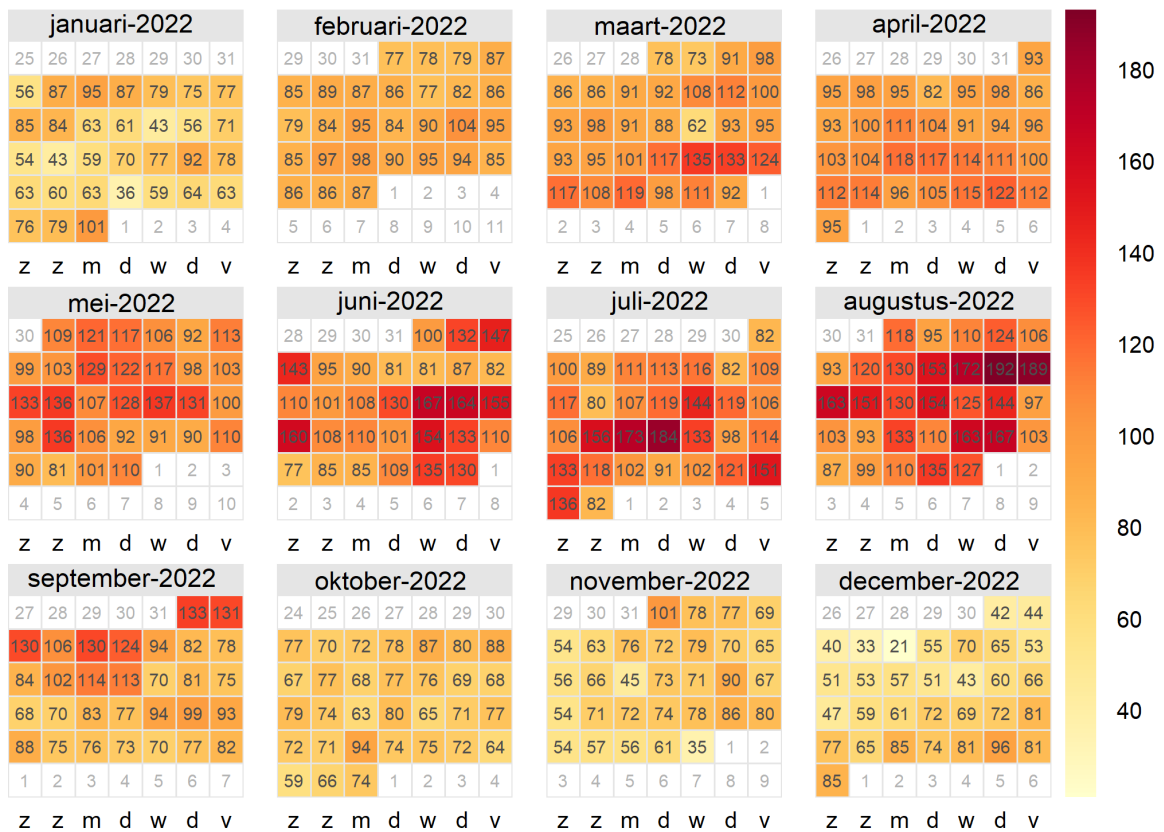
Figuur 49: Ruimtelijk maximum van daggemiddelde PM_{2.5}-concentraties in 2022.

Spatial maximum of the highest hourly NO₂ concentrations per day in 2022



Figuur 50: Ruimtelijk maximum van de maximum NO₂-uurconcentratie per dag in 2022.

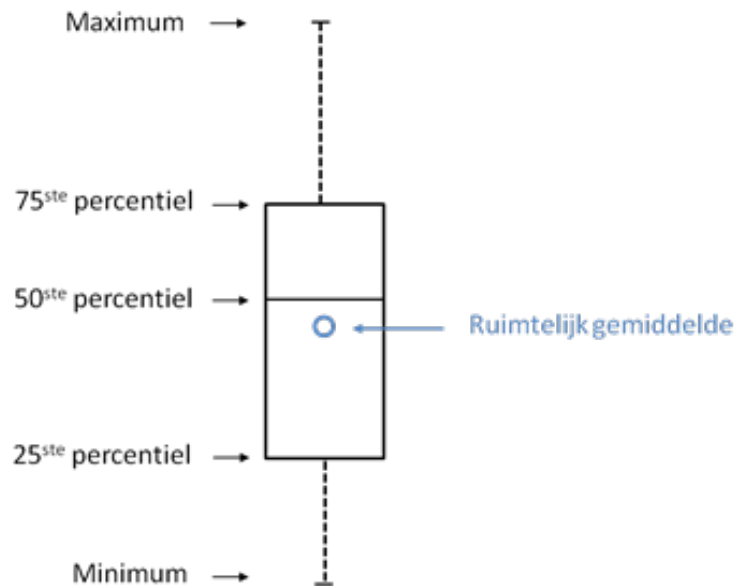
Spatial maximum of the highest hourly O₃ concentrations per day in 2022



Figuur 51: Ruimtelijk maximum van de maximum O₃-uurconcentraties per dag in 2022.

12 Bijlage C: Interpretatie van boxplots

Een boxplot is een grafische voorstelling waarmee snel een overzicht kan worden verkregen van de verdeling van een verzameling gegevens. Het geeft de kwartielen (ofwel het 25^{ste} en 75^{ste} percentiel), de mediaan (het 50^{ste} percentiel) en de grootste en de kleinste waarde van de verzameling weer. Het x^{ste} percentiel is die waarde waarbij x % van alle waarden lager is en $100-x$ % van de waarden hoger.



Figuur 52: Voorstelling van een boxplot.

13 Bijlage D: Onzekerheidskaarten

De RIO-geïnterpoleerde waarde is geen absoluut juiste waarde maar is onderhevig aan een bepaalde onzekerheid. Naast de onzekerheid van de uur- of daggemiddelde, geïnterpoleerde concentraties, zorgt ook de aggregatie ervan tot jaargemiddelden of dagoverschrijdingen voor onzekerheid. In de RIO-interpolatietechniek draagt een aantal aspecten bij tot de onzekerheid van de geïnterpoleerde concentraties.

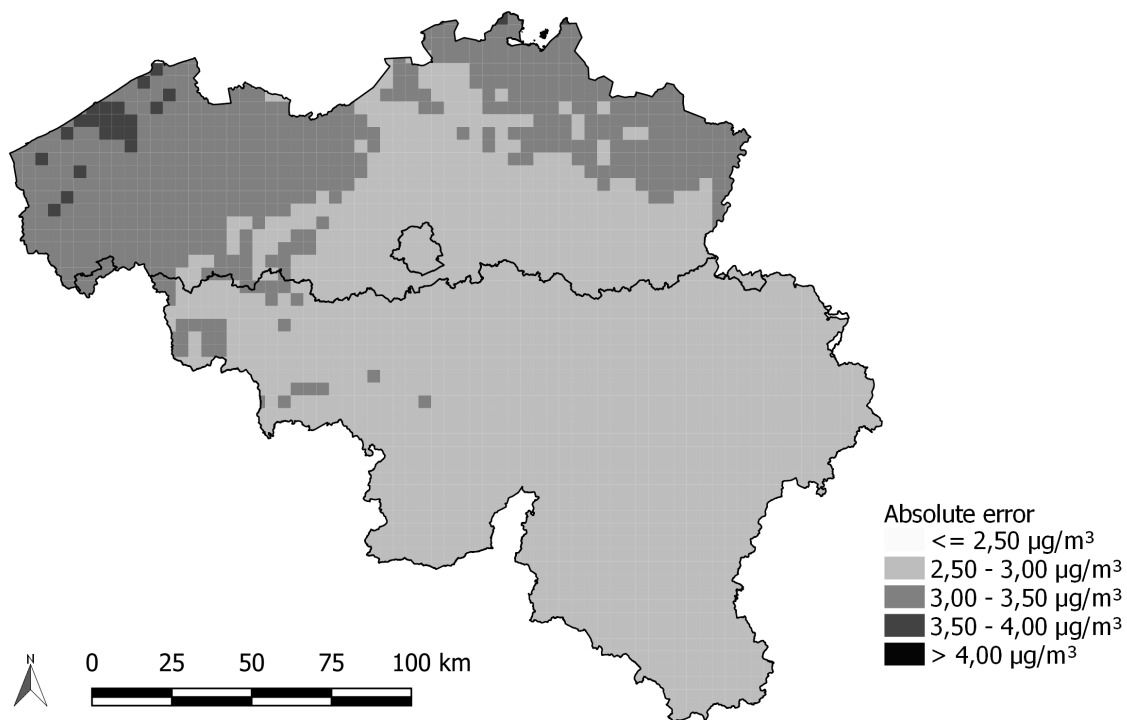
1. Fout op de meetwaarden: die wordt indirect in rekening gebracht omdat het variogram gebruikt in de Kriging (d.i. een onderdeel van de RIO-interpolatietechniek) een 'nugget'-effect vertoont (d.i. bij een afstand 0 tussen meetstations wordt niet dezelfde gemeten concentratie verondersteld).
2. Clustering van meetstations: meer stations dicht bij elkaar geven een kleinere interpolatieonzekerheid.
3. Afstand tot de meetstations: op een plaats die verder gelegen is van meetstations is er een grotere interpolatieonzekerheid.
4. Variatie van de metingen zelf: als de metingen voor dicht bij elkaar gelegen meetplaatsen een grote variatie vertonen, dan is de interpolatieonzekerheid ook groter.
5. Fout door re- en detrending (zowel voor trendgemiddelden als standaardafwijking).

Nadat eerst de onzekerheid van de uur- of daggemiddelde geïnterpoleerde concentraties bepaald is, moet er bij de aggregatie worden rekening gehouden met het volgende.

1. Autocorrelatie omdat er globaal gezien minder informatie ter beschikking is, omdat bv. de concentraties van vandaag afhankelijk zijn van die van gisteren.
2. Covariantie tussen de verschillende roostercellen die altijd een vast ruimtelijk patroon vertonen door de tijd.

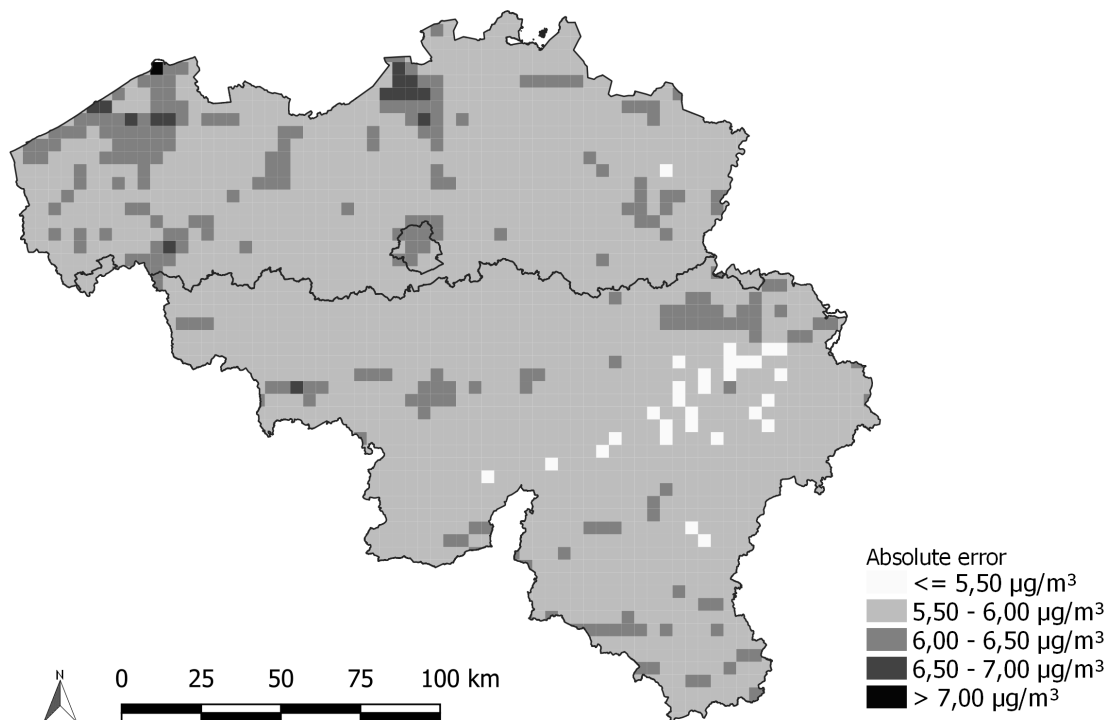
Op basis van bovenstaande bronnen van onzekerheid wordt er een onzekerheid (1 sigma) berekend voor de RIO-geïnterpoleerde concentraties (zie onderstaande kaarten), uitgaande van een normale verdeling van de metingen. Een fout van 1 sigma betekent dat voor een waarde x en een fout van $5.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, er 68 % kans is dat de werkelijke waarde tussen $(x - 5.0)$ en $(x + 5.0) \mu\text{g}/\text{m}^3$ ligt. Op basis van de geïnterpoleerde concentratie, de berekende onzekerheid en de grenswaarde kan dan een overschrijdingskans van de Europese grenswaarden worden berekend ('Probability of exceedance').

Error on PM10 annual mean (Belgium, 2022)



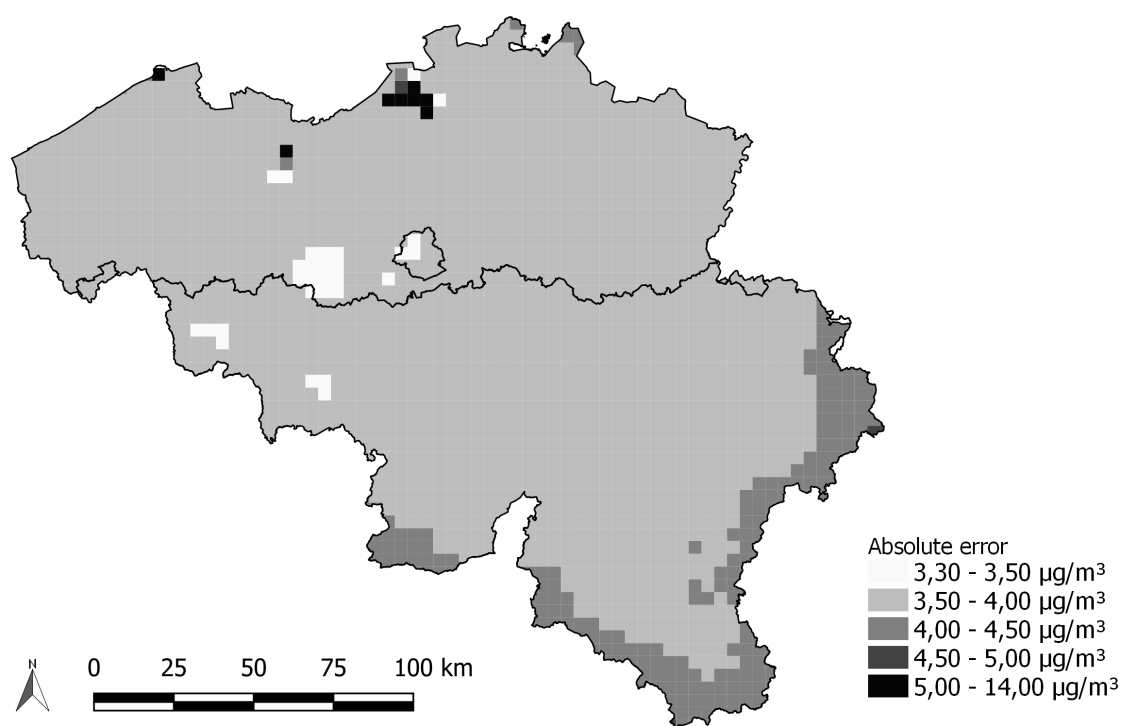
Figuur 53: Ruimtelijke spreiding van de absolute fout ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) op de jaargemiddelde PM_{10} -concentraties

Error on NO2 annual mean (Belgium, 2022)



Figuur 54: Ruimtelijke spreiding van de absolute fout ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) op de jaargemiddelde NO_2 -concentraties.

Error on O₃ annual mean (Belgium, 2022)



Figuur 55: Ruimtelijke spreiding van de absolute fout ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) op de jaargemiddelde O₃-concentraties.