

NOTITIE

Den Haag, 15 oktober 2025

Betreft : Vlootmix Schiphol GJ2019 - GJ2024: Schoner en Zuiniger?
Ons kenmerk : ilt250516not/aB/rV/kd
Versie : 2.0
Opdrachtgever : Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT)
Auteur(s) : drs. A.M. (Abe) Jukema, dr.ir. R.C. (Ronald) van 't Veld
Controle door : ir. R.U.J. (Roelof) Stikker

Adres:

Castellum
Gebouw A | 2e etage
Loire 196
2491 AM | Den Haag

+31 (0)85 00 711 00
info@airinfra.eu
www.airinfra.eu

Samenvatting

In het licht van betere bescherming van omwonenden en werknemers tegen negatieve impact van de luchthavenoperatie wil de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) een beter inzicht in het brandstofverbruik en emissies voor luchthaven Schiphol. Dit onderzoek beantwoordt de vragen of de ingezette vloot op Schiphol ('vlootmix') in gebruiksjaar (GJ)2024 ten opzichte van GJ2019: i) zuiniger is geworden, ii) schoner is geworden, iii) hoe de trends in het zuiniger worden zich verhouden tot het schoner worden, en iv) hoe deze verklaard kunnen worden. Daarvoor zijn het totale brandstofverbruik en de totale emissie van de stoffen koolmonoxide (CO), stikstofoxiden (NO_x), vluchtige organische stoffen (VOS), zwaveldioxide (SO₂) en fijnstof (PM₁₀) voor GJ2019 en GJ2024 berekend op basis van de Landing and Take-off (LTO) cyclus. Aspecten als grondgebonden emissies, APU-emissies, rem- en bandenslijtage, brandstofopslag en emissies boven de 3.000ft zijn buiten de scope van het onderzoek gelaten. De berekeningen zijn uitgevoerd op basis de Regeling milieu-informatie Schiphol (RMI)¹, met een aantal aanpassingen. Deze aanpassingen zijn beschreven in de aanpak van deze notitie. Daarnaast wordt voor de context in de notitie een aantal discussiepunten rondom de RMI besproken. Ook is gekeken naar het brandstofverbruik en de hoeveelheid emissie per stof per LTO-cyclus.

Uit de berekeningen kan geconcludeerd worden dat de absolute hoeveelheid brandstofverbruik en emissie van de gehele vlootmix in zijn totaliteit is afgenomen in GJ2024 ten opzichte van GJ2019. De voornaamste redenen hiervoor zijn het verminderde aantal LTO-cycli en vlootvernieuwing. Door vlootvernieuwing wordt met nieuwe toesteltypen en daarmee ook nieuwe motortypen gevlogen, die in de meeste gevallen zorgen voor een zuinigere en schonere vlootmix. De vlootmix is per LTO-cyclus niet in alle gevallen zuiniger of schoner geworden. De totale vlootmix laat een afname aan brandstofverbruik en emissie per LTO zien voor de bovengenoemde stoffen, behalve voor NO_x. De reden hiervoor is dat een aantal nieuwe toesteltypen en motortypen relatief juist meer NO_x uitstoten dan de vergelijkbare toesteltypen en motortypen die worden vervangen.

¹ Zie [wetten.nl - Regeling - Regeling milieu-informatie luchthaven Schiphol - BWBR0014722](https://www.wetten.nl - Regeling - Regeling milieu-informatie luchthaven Schiphol - BWBR0014722). In het RMI staat uitvoerig beschreven hoe de emissies voor Schiphol berekend dienen te worden.

1 Inleiding

De Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) heeft in het programma Veilig, Duurzaam en Gezond Schiphol de volgende tactische doelstelling opgenomen: "De ILT beweegt de sector en de overheden tot het beter beschermen van omwonenden en werknemers tegen de negatieve impact van de luchthavenoperatie op gezondheid en leefomgevingskwaliteit (schadelijke emissies, luchtkwaliteit en geluid)". Ten behoeve van de Staat van de Luchtvaart 2023 en de Staat van de Luchtvaart 2025 heeft de ILT onderzoek uitgevoerd naar de (gemiddelde) gecertificeerde geluidsproductie van de op Schiphol ingezette vloot in de afgelopen 6 jaar. Dit onderzoek heeft onder meer geresulteerd in de conclusie dat het vlootgeluid op Schiphol de afgelopen 6 jaar afneemt. Volgens de geluidcertificaten is de ingezette vloot de afgelopen jaren gemiddeld 0,1 tot 0,2 decibel per jaar stiller geworden.^{2,3}

De ILT wil in lijn met de tactische doelstelling ook de trend in emissies van luchtverontreinigende stoffen in kaart brengen. Met deze informatie kan mogelijk vastgesteld worden of en hoeveel schoner en zuiniger de ingezette vloot op Schiphol is geworden sinds GJ2019. Dit gebeurt aan de hand van de volgende onderzoeksvragen:

- › *Zuiniger* - Wat is de trend in brandstofverbruik op Schiphol tijdens de Landing en Take-Off (LTO)-cyclus in GJ2024 ten opzichte van GJ2019?
- › *Schoner* - Wat is de trend in emissies voor CO, NO_x, VOS, SO₂ en PM₁₀ op Schiphol tijdens de LTO-cyclus in GJ2024 ten opzichte van GJ2019?
- › *Schoner vs. Zuiniger* - Hoe verhouden de trends van brandstofverbruik en emissies zich tot elkaar?
- › Hoe zijn de bovengenoemde trends te verklaren?

Aangezien de totale hoeveelheid LTO-cycli is afgenomen in GJ2024 ten opzichte van GJ2019, onderzoeken wij deze vragen, naast de absolute hoeveelheid emissie, ook voor iedere stof relatief per LTO-cyclus, per gecorrigeerde vliegtuigbeweging en per kilogram gebruikte brandstof.

² Inspectie Leefomgeving en Transport (2024). Staat van de luchtvaart 2023. Beschikbaar via https://www.ilent.nl/binaries/ilt/documenten/transport/luchtvaart/luchthavens/rapporten/staat-van-de-luchtvaart-2023/Staat+van+de+Luchtvaart_2023.pdf

³ Inspectie Leefomgeving en Transport (2025). Staat van de Luchtvaart 2025. Beschikbaar via https://www.ilent.nl/binaries/ilt/documenten/transport/luchtvaart/ilt-luchtvaartautoriteit/publicaties/staat-van-de-luchtvaart-2025/Staat+van+de+luchtvaart_2025.pdf

2 Aanpak, scope en uitgangspunten

2.1 Scope

Het onderzoek is afgebakend binnen de LTO-cyclus rondom Schiphol, zoals ook opgenomen in de formulering van de onderzoeksvragen. De LTO-cyclus bevat de vluchttuitvoering rondom de luchthaven tot een hoogte van 3.000 voet (914,4 meter) bestaande uit: 1 naderingsfase (vanaf 3.000 voet), 2 taxifasen (inclusief de 'idle fase'), 1 startfase en 1 klimfase (tot 3.000 voet). Daarnaast vallen de volgende zaken tevens buiten de scope van dit onderzoek:

- › de emissies ten gevolge van grondactiviteiten op het platform zoals grondmaterieel (dieseluitstoot);
- › de emissie ten gevolge van de Auxiliary Power Unit (APU) op het platform;
- › rem- en bandenslijtage (veroorzaakt met name PM₁₀-emissies);
- › emissies ten gevolge van brandstofopslag en tanken (veroorzaakt met name VOS-emissies);
- › emissies boven de 3.000 ft, dus tijdens de cruise fase van de vlucht.

2.2 Berekeningsmethode brandstofverbruik en emissies

De wettelijk vastgelegde wijze van berekenen van de emissies op Schiphol voor een LTO-cyclus is vastgelegd in de Regeling milieu-informatie luchthaven Schiphol (RMI)⁴. De RMI bevat in Annex 8E1 een stapsgewijze, eenduidige beschrijving voor het berekenen van de emissies van CO, NO_x, VOS, SO₂ en PM₁₀ en onderliggend daaraan het brandstofverbruik. De berekeningen in het RMI zijn gebaseerd op de vlootmix (aantal bewegingen, vluchtsoort, toesteltype, motortype, aantal motoren), het percentage LTO-cycli met 1-motor-uit taxiën en gegevens uit de database met emissie-gegevens: het brandstofverbruik per motortype per vliegfase, de emissiegegevens per motortype per vliegfase en de duur van de vliegfase (Time in Mode, TIM-tijd). Binnen dit onderzoek is de vigerende RMI Annex 8E1⁴ gebruikt voor het berekenen van brandstofverbruik en emissies *met de volgende aanpassingen*:

- › Op basis van de ontwerpwijziging RMI Schiphol is de bepaling van de TIM-tijd aangepast, zodat ook het effect van de maatregel taxiën op (n-1) motoren voor 2-motorige vliegtuigtypen kan worden toegepast⁵. De TIM-tijden uit RMI Annex 8E2 zijn verder aangehouden. Deze TIM-tijden worden vervolgens aangepast op basis van het 1-motor-uit percentage conform de ontwerpwijziging RMI.
- › De database met emissie-gegevens is niet ontleend aan RMI Annex 8E2, maar aan de meest recente Informatiepunt Leefomgeving (IPL)-emissiedatabase luchtvaart en -havens⁶. De onderliggende bron voor beide databases is zeer vergelijkbaar, alleen zijn in RMI Annex 8E2 nog niet de nieuwste inzichten meegenomen met oog op SO₂-emissies (1,2 gram per kg brandstof) en VOS-emissies (1,16 x emissiefactor van HC).

Vanwege het toepassen van deze aanpassingen wordt expliciet vermeld dat de uitkomsten dus niet overeenkomen met eventuele handhavingsrapportages, waarvoor sectorpartijen emissie-informatie overleggen aan de ILT. Deze worden uitsluitend en volledig conform de RMI worden uitgevoerd. Toezicht en handhaving op de relatieve grenswaarden in het luchthavenverkeersbesluit (LVB) gebeurt ook conform de RMI, omdat de normen op basis van diezelfde RMI zijn vastgelegd. Discussiepunten rondom de toepassing van de RMI en rondom aannames achter het RMI zijn opgenomen in hoofdstuk 5.

⁴ Regeling milieu-informatie luchthaven Schiphol. Geldend vanaf 01-07-2023. Beschikbaar via <https://wetten.overheid.nl/BWBR0014722/2023-07-01>

⁵ Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2021). Ontwerpwijziging Regeling milieu-informatie luchthaven Schiphol, d.d. 16 februari 2021. Beschikbaar via <https://www.luchtvaartindetoekomst.nl/documenten/2021/02/16/ontwerpwijziging-regeling-milieu-informatie-luchthaven-schiphol>

⁶ Informatiepunt Leefomgeving (2025). Emissiedatabase luchtvaart en -havens, versie maart 2025, beschikbaar via <https://iplo.nl/thema/lucht/vaststellen-luchtkwaliteit/hulpmiddelen/emissiedatabase-luchtvaart/>

2.3 Invoergegevens

De basisgegevens van alle vluchten van GJ2019 en GJ2024 (datum/tijd, ICAO-luchtvaartuigtype, vliegtuigregistratienummer) zijn aangeleverd vanuit de ILT om te komen tot de vlootsamenstelling voor beide jaren. De ILT heeft deze basisgegevens betrokken uit de Casper Noise database en gegevens van AAS (luchthaven Schiphol). Deze basisgegevens zijn gecontroleerd en waar nodig opgeschoond op basis van gegevens uit luchtvaartuigregisters en interne consistentie van de gegevens. Op basis van het geregistreerde luchtvaartuigtype en vliegtuigregistratienummer is informatie betreffende het te hanteren motortype, de hoeveelheid motoren, het Maximum Take-Off Weight (MTOW) en de zogenoemde TIM-code toegewezen. Deze informatie is ontleend aan de volgende bronnen (op volgorde van relevantie):

1. Nederlands luchtvaartuigregister;
2. Buitenlandse luchtvaartuigregisters (publiek beschikbaar)⁷;
3. Motortypegegevens aangeleverd vanuit de luchthaven Schiphol;
4. Motortypegegevens gepubliceerd door de fabrikant.

Bij het verwerken van de motortypegegevens tot een motortype dat beschikbaar is in de gehanteerde IPLO-emissiedatabase is het, bij de database geleverde, substitutieprotocol toegepast. Door Schiphol is een inschatting van de percentages voor 1-motor-uit taxiën geleverd, zie tabel 1. Op basis van de percentages 1-motor-uit is de TIM-tijd voor 1-motor-uit berekend volgens het voorschrift⁴.

Tabel 1 Overzicht 1-motor-uit taxiën percentages voor GJ2019 en GJ2024. (bron: Schiphol)

Aantal motoren	Percentage in GJ2019	Percentage in GJ024
2	55%	56,7%
3	0%	0%
4	51%	51%

2.4 Vliegtuigcategorieën

Om gedetailleerder inzicht te krijgen in de zichtbare trends zijn alle vliegtuigtypen binnen dit onderzoek geclassificeerd in 4 categorieën. Deze categorieën zijn gebaseerd op het operationele gebruik van de toesteltypen⁸. Vrachtvliegtuigen zijn ingedeeld op basis van het aantal stoelen in de passagiersvariant. De categorieën zijn als volgt:

- **WB:** Wide-body vliegtuigen met minimaal 280 passagiersstoelen⁹ (MTOW: 164 – 575 ton);
- **NB-L:** Narrow-body vliegtuigen¹⁰ met 150 passagiersstoelen of meer (MTOW: 61 – 122 ton);
- **NB-K:** Narrow-body vliegtuigen met 70 tot 150 passagiersstoelen (MTOW: 22 – 70 ton);
- **GA:** General aviation vliegtuigen (overig) (MTOW: 1 – 52 ton).

⁷ De volgende buitenlandse luchtvaartuigregisters zijn gebruikt: Australian Civil Aviation Safety Authority, Irish Aviation Authority, Spanish 'Agencia Estatal de Seguridad Aérea', Swiss Federal Office of Civil Aviation, United Kingdom Civil Aviation Authority en United States Federal Aviation Administration.

⁸ Er is gekozen om deze categorisatie te baseren op het aantal passagiersstoelen met de reden dat doorgaans toesteltypen met een grotere capaciteit verder vliegen en toesteltypen met een minder grote capaciteit minder ver vliegen. Het aantal passagiersstoelen is daarnaast ook gerelateerd aan het MTOW van toesteltypen, waarbij zwaardere toesteltypen over het algemeen ook meer passagiers vervoeren. Toesteltypen binnen een categorie worden dan ook veelal voor dezelfde operationele doeleinde ingezet.

⁹ Wide-body vliegtuigen zijn ook wel bekend als twee-gangpaden vliegtuigen. Dit type vliegtuig is breed genoeg om 2 passagiersgangpaden met 7 of meer stoelen per rij te accommoderen.

¹⁰ Narrow-body vliegtuigen zijn vliegtuigen met een enkel passagiersgangpad.

Binnen deze categorisatie kan dan ook inzicht gegeven worden in **vlootvernieuwing**:

- › Vlootvernieuwing: toesteltypen worden vervangen door nieuwere toesteltypen met dezelfde operationele inzet, maar met verschillend brandstofverbruik en verschil in emissie.

Een voorbeeld van vlootvernieuwing is de vervanging van de Airbus A320ceo (A320) / Boeing 737-800 (B738) door de Airbus A320neo (A20N) / Boeing 737 MAX 8 (B38M) of de vervanging van de Boeing 747-400 (B744) voor de Boeing 777-300ER (B77W). Door het brandstofverbruik en emissies per LTO binnen dezelfde categorie (dezelfde operationele inzet) te onderzoeken, kunnen veranderingen in brandstofverbruik en emissies beter worden geduid.

Ook kan op basis van deze categorisatie inzicht gegeven worden in **vlootverschuiving**:

- › Vlootverschuiving: er vinden meer of minder vluchten plaats met een bepaalde operationele inzet.

Een voorbeeld van vlootverschuiving kan zijn een verandering in het aandeel intercontinentale en het aandeel relatief korte vluchten ten opzichte van het totaal aantal LTO. Doorgaans worden grotere, wide-body, toestellen ingezet als het intercontinentale vluchten betreft en kleinere, narrow-body, toestellen ingezet wanneer het kortere vluchten, zoals vluchten binnen Europa, betreft. Bij een afname aan intercontinentale, of ander langere vluchten, is te verwachten dat het aandeel wide-body toestellen in het totaal LTO dan ook afneemt. Vlootverschuiving is dus te zien aan de verschuiving in de onderlinge verhouding tussen de aandelen die de verschillende vliegtuigcategorieën, i.e. WB, NB-L, NB-k en GA, in het totaal aantal LTO hebben.

Binnen het onderzoek is er gekeken naar de 15 meest voorkomende toesteltypen¹¹ om op toestelniveau zichtbare trends beter te kunnen duiden en om de vlootvernieuwing en de vlootverschuiving inzichtelijker te maken.

¹¹ De geselecteerde groep vliegtuigtypen bestaat uit 15 verschillende typen. Hoewel er in zowel GJ2019 als GJ2024, respectievelijk 337 en 352 verschillende vliegtuigtypen deel uitmaakten van de vlootmix, is deze groep van 15 vliegtuigtypen goed voor circa 70% van de totale hoeveelheid LTO-cycli.

3 Resultaten

3.1 Brandstofverbruik en emissies voor de gehele vloot Schiphol

Het aantal vluchten op Schiphol, zowel uitgedrukt in LTO-cycli als in gecorrigeerde vliegtuigbewegingen¹², is afgenomen in GJ2024 ten opzichte van GJ2019. In GJ2019 vonden er op Schiphol afgerond 254 duizend LTO-cycli en in GJ2024 vonden er 242 duizend LTO-cycli plaats, zie tabel 2. Zowel het aantal gevlogen LTO-cycli als het MTOW zijn medebepalend voor het brandstofverbruik en daardoor de emissies. Het MTOW is daarbij gebaseerd op theoretische gegevens over het MTOW per toesteltype en is dus geen maat voor het daadwerkelijk beladen gewicht per vlucht. De MTOW per toesteltype is daarmee inherent constant en toont dus geen verschil tussen GJ2019 en GJ2024.

Tabel 2 Totale hoeveelheid LTO-cycli en MTOW. Uitkomsten berekend op basis van gegevens aangeleverd vanuit de ILT en een aangepaste RMI Annex 8E1, zie paragraaf 2.2 en 2.3.

Gebbruiksjaar	LTO-cycli	MTOW (ton)	MTOW per LTO (ton/LTO)
2019	254.000	53.800.000	212
2024	242.000	50.800.000	210
2024 t.o.v. 2019	-5%	-6%	-1%

Het aantal LTO-cycli laat een afname van ongeveer 12 duizend (-5%) cycli zien in GJ2024 ten opzichte van GJ2019. De totale hoeveelheid gecorrigeerde vliegtuigbewegingen bedroeg in GJ2019 afgerond 53,8 miljoen ton en in GJ2024 50,8 miljoen ton, een afname van 3 miljoen (-6%) ton. Bij elkaar genomen neemt het gecorrigeerd vliegtuigbewegingen per LTO af met 2 ton (-1%) per LTO van 212 ton per LTO in GJ2019 naar 210 ton per LTO in GJ2024. Dit betekent dat er in het algemeen in GJ2024 dus minder vluchten zijn uitgevoerd, waarbij het gemiddelde MTOW per vlucht vrijwel gelijk was.

Vergelijkbaar met het aantal vluchten is ook de totale hoeveelheid verbruikte brandstof en uitgestoten stoffen voor GJ2019 en GJ2024 afgenomen, zie tabel 3¹³. Het brandstofverbruik laat een afname zien van 16.000 ton (-8%) in GJ2024 ten opzichte van GJ2019. De afname in uitstoot van luchtverontreinigende stoffen varieert tussen de -4% (NO_x) en -27% (VOS) in GJ2024 ten opzichte van GJ2019.

Tabel 3 Totale hoeveelheid verbruikte brandstof en de totale hoeveelheid uitgestoten stoffen. Uitkomsten berekend op basis van gegevens aangeleverd vanuit de ILT en een aangepaste RMI Annex 8E1, zie paragraaf 2.2 en 2.3.

Gebbruiksjaar	Brandstof (ton)	CO (ton)	NO _x (ton)	VOS (ton)	SO ₂ (ton)	PM ₁₀ (ton)
2019	210.000	2.280	3.250	289	252	79
2024	194.000	1.960	3.130	211	232	66
2024 t.o.v. 2019	-8%	-14%	-4%	-27%	-8%	-16%

Op basis van tabel 2 en tabel 3 kunnen we dus concluderen dat er in GJ2024 minder brandstof is verbruikt en minder emissies zijn uitgestoten ten opzichte van GJ2019. De voornaamste reden hiervoor, die we op dit moment kunnen stellen, is de afname in het aantal uitgevoerde vluchten. Het afname in aantal vluchten

¹² Definitie 'gecorrigeerde vliegtuigbeweging' gelijk aan definitie gebruikt in het LVB en RMI Annex 8E1. Het aantal gecorrigeerde vliegtuigbewegingen is de som van 2 maal het MTOW behorende bij iedere LTO. In de figuren en tabellen wordt het aantal gecorrigeerde vliegtuigbeweging daarom veler aangeduid met 'MTOW'. Zie RMI luchthaven Schiphol, beschikbaar via <https://wetten.overheid.nl/BWBR0014722>.

¹³ Deze waarden zijn berekend, conform de genoemde rekenmethodiek, op basis van de door de ILT aangeleverde gegevens wat betreft vliegtuigbewegingen en vliegtuigtype per beweging in combinatie met de emissiefactoren.

(-5%) is echter geen volledig verklaring voor de afname in brandstofverbruik (-8%). Daarnaast vertaald de afname in brandstofverbruik (-8%) zich niet 1-op-1 naar de afname in uitstoot van luchtverontreinigende stoffen (-4% tot -27%). Om deze resultaten verder te onderzoeken is gekeken naar het brandstofverbruik en de emissies per LTO en per gecorrigeerde vliegtuigbeweging. Door het brandstofverbruik en de emissies te normaliseren per LTO of gecorrigeerde vliegtuigbeweging wordt duidelijker of de onderliggende vlootmix daadwerkelijk schoner en zuiniger geworden is.

Tabel 4 geeft inzicht in het brandstofverbruik per LTO-cyclus en per gecorrigeerde vliegtuigbeweging voor de vloot op Schiphol. Het brandstofverbruik per LTO-cyclus is met 3% afgenomen en het brandstofverbruik per gecorrigeerde vliegtuigbeweging is met 2% afgenomen in GJ2024 ten opzichte van GJ2019, zie tabel 4. De vlootmix is in deze periode dus gemiddeld genomen zuiniger geworden. De emissie van CO, VOS, SO₂ en PM₁₀ per LTO-cyclus is ook afgenomen met respectievelijk 10%, 23%, 3% en 12%, waarmee de vlootmix voor deze stoffen dus ook gemiddeld genomen schoner is geworden. Echter, de emissie van NO_x per LTO-cyclus is toegenomen met 1% en daarmee is de vlootmix gemiddeld genomen dus juist minder schoon. Voor dezelfde emissies per gecorrigeerde vliegtuigbeweging geldt respectievelijk een afname van 9%, 23%, 2% en 11%. De emissie van NO_x per gecorrigeerde vliegtuigbeweging is met 2% toegenomen.

Tabel 4 geeft ook inzicht in het verschil in emissie per kg brandstof tussen GJ2019 en GJ2024, dus rekening houdend met het zuiniger worden van de vloot. De emissie per kg brandstof voor de stoffen CO, VOS en PM₁₀ is afgenomen met respectievelijk 7%, 21% en 9%. De emissie van SO₂ is per kg brandstof gelijk gebleven, omdat SO₂ een vaste emissiefactor per kg brandstof kent. Voor de emissies per kg brandstof geldt dat de NO_x-emissie is toegenomen, in dit geval met 4%.

Tabel 4 Totaal brandstofverbruik en emissies voor GJ2019 en GJ2024 en het verschil tussen GJ2019 en GJ2024 op Schiphol voor gehele vloot per LTO en MTOW. Uitkomsten berekend op basis van gegevens aangeleverd vanuit de ILT en een aangepaste RMI Annex 8E1, zie paragraaf 2.2 en 2.3.

	Brandstof	CO	NO _x	VOS	SO ₂	PM ₁₀
GJ2019 (kg/LTO)	825	8,92	12,8	1,14	0,99	0,31
GJ2024 (kg/LTO)	798	8,06	12,9	0,87	0,96	0,27
GJ2019 (kg/MTOW)	3,9	0,042	0,060	0,0054	0,0047	0,0015
GJ2024 (kg/MTOW)	3,8	0,038	0,062	0,0042	0,0046	0,0013
Vershil emissie per LTO	-3%	-10%	1%	-23%	-3%	-12%
Vershil emissie per MTOW	-2%	-9%	2%	-23%	-2%	-11%
Vershil emissie per kg brandstof	n.v.t.	-7%	4%	-21%	0%	-9%

Voor de meeste stoffen geldt dus dat de vloot in zijn geheel in GJ2024 ten opzichte van GJ2019 schoner is geworden, zelfs als rekening wordt gehouden met afname in brandstofverbruik. Voor NO_x is de vloot in GJ2024 ten opzichte van GJ2019 echter minder schoon geworden (meer emissie per verbruikte hoeveelheid brandstof), tegen de trend van een afname in brandstofverbruik in. Om inzicht te krijgen in de redenen waarom de vlootmix zuiniger of schoner (of juist niet) is geworden brengen wij eerst de trends in kaart voor de 4 gedefinieerde vliegtuigcategorieën en vervolgens voor de 15 geselecteerde toesteltypen. Doordat de resultaten per LTO en per gecorrigeerde vliegtuigbewegingen sterk vergelijkbaar zijn, is in het vervolg alleen het brandstofverbruik en de emissies per LTO bekeken. Deze uitkomstmaat (emissie per LTO) geeft ook het meest zuiver weer of de vlootmix alles bij elkaar genomen per vlucht schoner is geworden, ongeacht eventuele onderliggende veranderingen in MTOW en brandstofverbruik.

3.2 Brandstofverbruik en emissies uitgesplitst per vliegtuigcategorie

Om inzicht te krijgen in de redenen waarom de vlootmix zuiniger of schoner (of juist niet) is geworden, worden de resultaten eerst opgesplitst in de 4 gedefinieerde vliegtuigcategorieën (GA, NB-K, NB-L en WB), zie paragraaf 2.4. Tabel 5 laat zien dat de afname van het aantal bewegingen in GJ2024 met name komt uit de NB-L vliegtuigcategorie, zoals de Boeing 737-800 (B738) en Airbus A320 (A320). Tabel 5 laat ook zien dat, tegen de algemene trend in, het aantal bewegingen met toestellen uit de NB-K vliegtuigcategorie, zoals de Embraer 190 (E190) of Embraer 195-E2 (E295), juist toeneemt. De combinatie van deze resultaten laat daardoor een *vlootverschuiving* zien in het aandeel dat de NB-L categorie heeft van 53% in GJ2019 naar 49% in GJ2024 naar het aandeel dat de NB-K categorie heeft van 27% in GJ2019 naar 31% in GJ2024. Tabel 5 laat naast de vlootverschuiving van de NB-L categorie naar de kleinere NB-K categorie zien dat de gemiddelde MTOW per LTO in deze categorieën juist toeneemt. Zoals in paragraaf 3.1 beschreven, zorgt dit voor het netto effect dat het gemiddelde MTOW over de gehele vloot vrijwel gelijk blijft. Doordat er geen effect op het gemiddelde MTOW te zien is, geeft de vlootverschuiving niet direct een aannemelijke verklaring voor het zuiniger of schoner worden van de vloot.

Tabel 5 Afgeronde hoeveelheid LTO en aandeel LTO per vliegtuigcategorie voor gebruiksjaren 2019 en 2024. De gehanteerde vliegtuigcategorieën staan gedefinieerd in paragraaf 2.4.

Gebruiksjaar		GA	NB-K	NB-L	WB
2019	LTO-cycli	6.000	69.000	135.000	45.000
2019	Aandeel LTO	2%	27%	53%	18%
2019	MTOW per LTO (ton/LTO)	31	93	156	585
2024	LTO-cycli	7.000	75.000	118.000	43.000
2024	Aandeel LTO	3%	31%	49%	18%
2024	MTOW per LTO (ton/LTO)	31	101	158	575

Om aanvullend inzicht te krijgen in de redenen waarom de vlootmix zuiniger of schoner (of juist niet) is geworden, zijn per gedefinieerde vliegtuigcategorie de veranderingen in brandstofverbruik en emissies per LTO voor GJ2024 ten opzichte van GJ2019 onderzocht. Voor iedere categorie valt in tabel 6 te zien dat er tussen GJ2019 en GJ2024 verschillen zijn in het brandstofverbruik en emissies per LTO. Aanvullend laat tabel 7 zien hoe de trends van brandstofverbruik en emissie per LTO zich tot elkaar verhouden door de procentuele verandering emissie per kg brandstof voor GJ2024 ten opzichte van GJ2019 weer te geven.

Tabel 6 Procentuele verandering brandstofverbruik en emissie per LTO voor GJ2024 ten opzichte van GJ2019. De gehanteerde vliegtuigcategorieën staan gedefinieerd in paragraaf 2.4.

GJ2024 t.o.v. GJ2019	GA	NB-K	NB-L	WB	Totaal
Brandstof/LTO	-1%	3%	-3%	-2%	-3%
CO/LTO	0,5%	-5%	-7%	-15%	-10%
NO _x /LTO	3%	9%	-0,6%	3%	1%
VOS/LTO	11%	-19%	-19%	-32%	-23%
SO ₂ /LTO	-1%	3%	-3%	-2%	-3%
PM ₁₀ /LTO	4%	-6%	-11%	-6%	-12%

Tabel 7 Procentuele verandering emissie per kg brandstof voor GJ2024 ten opzichte van GJ2019. De gehanteerde vliegtuigcategorieën staan gedefinieerd in paragraaf 2.4.

GJ2024 t.o.v. GJ2019	GA	NB-K	NB-L	WB	Totaal
CO	2%	-8%	-4%	-13%	-7%
NO _x	4%	6%	3%	6%	4%
VOS	12%	-22%	-16%	-31%	-21%
PM ₁₀	5%	-9%	-8%	-4%	-9%

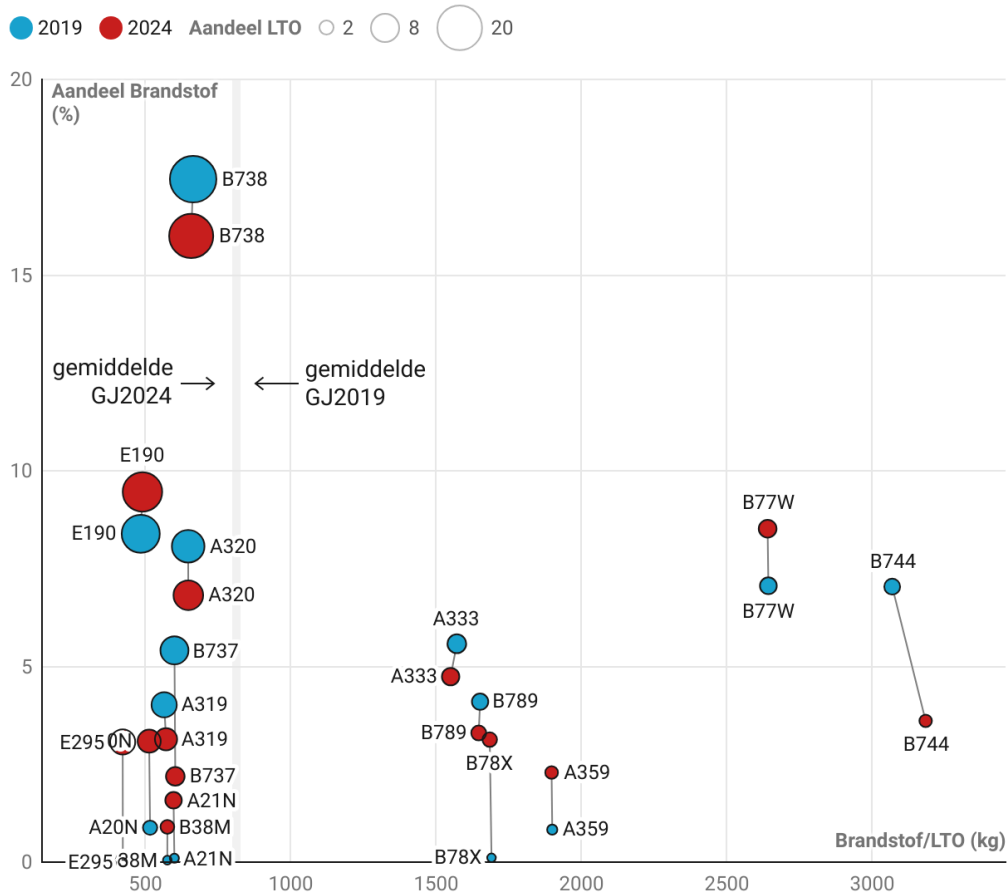
De resultaten van tabel 6 en tabel 7 laten zien dat de trends per vliegtuigcategorie op hoofdlijnen de trends van de vlootmix als geheel volgen, zoals besproken in paragraaf 3.1 (tabel 4). Voor het brandstofverbruik laat de NB-K categorie als enige een toename zien in het brandstofverbruik per LTO. De vlootmix binnen de NB-K categorie is dus niet zuiniger geworden. Dit kan verklaard worden door de ingezette toestellen gezien de onderliggende toename in gemiddeld MTOW per LTO in deze categorie, zie tabel 5. Naast de inzet van andere toestellen of andere toestel-motortype combinaties wordt een deel van de afname in brandstofverbruik toegerekend aan de toename in het percentage voor 1-motor-uit taxiën (zie paragraaf 2.3 - tabel 1)¹⁴.

De resultaten van tabel 6 en tabel 7 laten verder zien dat voor de emissies een aantal uitzonderingen op de algemene trends zichtbaar zijn. Ten eerste laat de GA categorie voor alle stoffen, behalve SO₂, een toename zien in de emissie per LTO in GJ2024 ten opzichte van GJ2019. De impact van (deze toename binnen) de GA categorie op de algehele uitstoot is klein, doordat de GA categorie de kleinste en lichtste vliegtuigen omvat en ook slechts een aandeel van 2-3% van het aantal LTO-cycli bevat. Ten tweede laat de NB-K categorie een toename zien in SO₂-emissie, ondanks de algehele afname. Dit is een direct gevolg van de bovenstaand besproken toename in brandstofverbruik binnen deze categorie, omdat brandstofverbruik en SO₂-emissie 1-op-1 gerelateerd zijn. Ten derde laat de NB-L categorie een kleine afname zien van NO_x-emissie per LTO ondanks de algehele toename in NO_x-emissie per LTO. Tabel 7 laat zien dat deze afname volledig wordt verklaard vanuit de afname in brandstofverbruik per LTO, aangezien de NO_x-emissie per kg brandstof ook binnen de NB-L categorie juist toeneemt. De resultaten laten zien dat de ingezette toestellen binnen de verschillende vliegtuigcategorieën zorgen voor verschillen in brandstofverbruik en emissies per LTO, wat mogelijk duidt op *vlootvernieuwing*. Dit wordt in paragraaf 3.3 in meer detail onderzocht aan de hand van de 15 geselecteerde toesteltypen, zie paragraaf 2.4.

3.3 Brandstofverbruik en emissies uitgesplitst per vliegtuigtype

Om inzicht te krijgen of en hoe vlootvernieuwing een verklaring geeft voor de zuinigere of schonere (of juist niet) vlootmix, worden de resultaten voor de 15 meest voorkomende toesteltypen onderzocht. Voor de context, deze 15 toesteltypen hebben een gezamenlijk aandeel van 71% (GJ2019) / 74% (GJ2024) in het aantal LTO-cycli. Dit resulteert in een aandeel van 69% van het totale brandstofverbruik en een aandeel van 64-75% van de totale emissies in GJ2019. In GJ2024 is het aandeel van deze 15 typen 72% van het totale brandstofverbruik en 67-77% van de totale emissies. Figuur 1 en tabel 8 geven gezamenlijk voor deze 15 toesteltypen hun procentuele aandeel in het totaal aantal LTO, het aandeel in het brandstofverbruik en de hoeveelheid brandstof per LTO voor GJ2019 en GJ2024 weer.

¹⁴ In de discussie volgt een rekenvoorbeeld waarbij het 1-motor-uit percentage voor beide jaren in alle gevallen gelijk wordt gehouden. Het verschil in 1-motor-uit percentage kan geen verklaring zijn voor een toename aan brandstofverbruik of emissies per LTO, aangezien een toename in het 1-motor-uit percentage een afname van de TIM-tijd betekent, zie **4.1.3. Bepaling Time in Mode tijd** van het RMI: [wetten.nl - Regeling - Regeling milieu-informatie luchthaven Schiphol - BWBR0014722](https://wetten.nl/-/Regeling-Regeling-milieu-informatie-luchthaven-Schiphol-BWBR0014722). Een afname van de TIM-tijd resulteert voorts in een afname aan brandstofverbruik en emissies per LTO aangezien er minder tijd is waarin brandstof verbruikt wordt en emissies worden uitgestoten.



Figuur 1 Brandstofverbruik per LTO-cyclus van de ingezette vloot op Schiphol in GJ2019 (blauw) en GJ2024 (rood) van een 15-tal relevante vliegtuigtypen (circa 71-74% van totaal aantal LTO-cycli), en het aandeel van deze typen aan de totale brandstofverbruik binnen alle LTO-cycli op Schiphol.

Tabel 8 Aandelen in de totale hoeveelheid LTO-cycli voor GJ2019 en GJ2024.

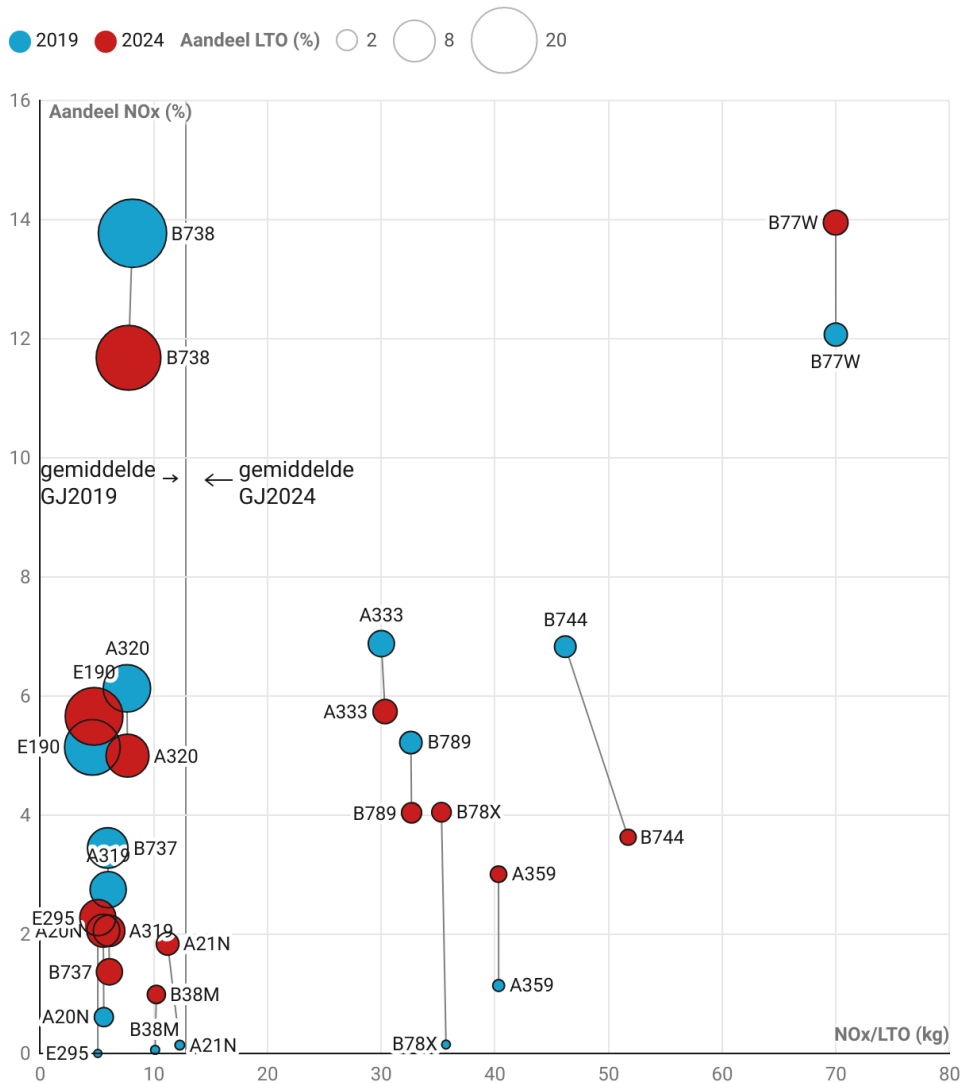
Categorie	Toesteltype	Aandeel LTO GJ2019	Aandeel LTO GJ2024	Vershil (%-punt)
WB	A333	2,9%	2,4%	-0,5%
WB	A359	0,4%	1,0%	0,6%
WB	B744	1,9%	0,9%	-1,0%
WB	B77W	2,2%	2,6%	0,4%
WB	B789	2,0%	1,6%	-0,4%
WB	B78X	0,1%	1,5%	1,4%
NB-L	A20N	1,4%	4,8%	3,4%
NB-L	A21N	0,1%	2,1%	2,0%
NB-L	A319	5,9%	4,4%	-1,5%
NB-L	A320	10,3%	8,4%	-1,9%
NB-L	B38M	0,1%	1,2%	1,2%
NB-L	B737	7,4%	2,9%	-4,5%
NB-L	B738	21,7%	19,4%	-2,3%
NB-K	E190	14,3%	15,4%	1,1%
NB-K	E295	0,0%	5,8%	5,8%

Figuur 1 en tabel 8 laten samen zien dat bepaalde toesteltypen meer en andere juist minder worden ingezet in GJ2024 ten opzichte van GJ2019. In lijn met de *vlootvernieuwing* valt op dat relatief oudere toesteltypen (WB: A333, B744; NB-L: A319, A320, B737, B738) een afname in het aandeel LTO-cycli laten zien en dat deze worden vervangen door relatief nieuwere toesteltypen (WB: A359, B77W, B78X; NB-L: A20N, A21N, B38M; NB-K: E295). Daarnaast valt op dat, in lijn met de resultaten van paragraaf 3.2, zowel de E190 (een relatief oud toesteltype) als de E295 binnen de NB-K categorie toenemen in aandeel. Binnen de WB en NB-L categorieën is dus een duidelijke vlootvernieuwing te zien naar relatief nieuwere toesteltypen. Binnen de NB-K categorie is vlootvernieuwing zichtbaar door de relatief grotere toename van het aandeel van de E295.

Figuur 1 laat vervolgens zien dat een aantal van de relatief oudere toesteltypen, die in gebruik afnemen, een relatief hoog brandstofverbruik (rechts op x-as) per LTO-cyclus hebben. Dit valt voornamelijk op voor de 'oude' B744 (hoger dan de 'nieuwe' A359, B77W en B78X in de WB categorie) en de 'oude' A320, B737 en B738 (hoger dan de 'nieuwe' A20N, A21N en B38M in de NB-L categorie). Figuur 1 laat ook een tegenvoorbeeld zien waarbij de A333 een relatief laag brandstofverbruik binnen de WB categorie laat zien, terwijl het aandeel van de A333 aan het aantal LTO-cycli afneemt als relatief oud toestel. De resultaten van paragraaf 3.1 en 3.2 laten overkoepelend zien dat de vlootmix, inclusief deze vlootvernieuwing, leidt tot een afname in brandstofverbruik per LTO (-3%) en daarmee deels een verklaring geeft voor de afname in totaal brandstofverbruik op Schiphol (-8%) boven op de afname in aantal vluchten (-5%).

Figuur 2 laat zien dat de vlootvernieuwing een ander beeld geeft voor NO_x-emissies vergeleken met het brandstofverbruik per LTO-cyclus (figuur 1). Een aantal van de relatief nieuwere toesteltypen, die in gebruik toenemen, hebben een relatief hoge NO_x-emissie (rechts op x-as) per LTO-cyclus. Dit valt voornamelijk op voor de 'nieuwe' B77W (hoger dan de 'oude' A333 en B744 in de WB-categorie) en de 'nieuwe' A21N en B38M (hoger dan de 'oude' A320, B737 en B738 in de NB-L categorie). Figuur 2 laat ook een tegenvoorbeeld zien waarbij de A20N een relatief lage NO_x-emissie heeft binnen de NB-K categorie, terwijl het aandeel van de A20N aan het aantal LTO-cycli toeneemt als relatief nieuw toestel. De resultaten van paragraaf 3.1 en 3.2 laten overkoepelend zien dat de vlootmix, inclusief deze vlootvernieuwing, leidt tot een toename in NO_x-emissie per LTO (1%). De vlootvernieuwing geeft daarmee deels een verklaring voor de relatief beperkte afname in totale NO_x-emissie (-4%) ten opzichte van de afname in aantal vluchten (-5%) en het brandstofverbruik (-8%) op Schiphol in GJ2024 ten opzichte van GJ2019.

Vergelijkbaar met de analyse van brandstofverbruik (figuur 1) en NO_x-emissie (figuur 2) geeft de relatieve inzet van verschillende oude en nieuwe toesteltypen ook een verklaring voor de trends in de emissie van de overige stoffen (CO, VOS, SO₂, PM₁₀), zie Bijlage A. Voor deze stoffen leidt de vlootvernieuwing juist tot een extra afname in emissies (CO, VOS, PM₁₀) boven op de afname verwacht op basis van het aantal vluchten en het brandstofverbruik, zie paragraaf 3.1 en 3.2.



Figuur 2 Emissie NO_x per LTO-cyclus van de ingezette vloot op Schiphol in GJ2019 (blauw) en GJ2024 (rood) van een 15-tal relevante vliegtuigtypen (circa 71-74% van totaal aantal LTO-cycli), en het aandeel van deze typen aan de totale CO-uitstoot binnen alle LTO-cycli op Schiphol.

Vanuit figuur 1 en figuur 2 wordt wel duidelijk dat het brandstofverbruik en de emissie per LTO, binnen de context van de RMI, geen vaste waarde is. Voor een aantal toesteltypen, meest opvallend de B744, laten de figuren een duidelijk verschil zien in verbruik en emissie per LTO tussen GJ2024 en GJ2019. Zelfs voor gelijkblijvende toesteltypen zijn er dus al veranderingen in het brandstofverbruik en emissies per LTO. Dit betekent dus dat er iets aan het toesteltype is veranderd. In het geval van dit onderzoek is de enige significante variabele het motortype dat kan verschillen per toesteltype¹⁵. Deze veranderingen binnen de verschillende toesteltypen zijn in kaart gebracht in tabel 9.

¹⁵ Ook hier is het 1-motor-uit percentage een variabele, maar van zeer geringe invloed. Ook hier kan een toename aan 1-motor-uit percentage geen verklaring zijn voor een toename aan brandstofverbruik en emissies per LTO. Daarnaast verklaart de geringe toename van het 1-motor-uit percentage ook niet de grotere afnames aan emissies per LTO.

Tabel 9 Procentuele verandering van het brandstofverbruik en de emissies per LTO voor GJ2024 ten opzichte van GJ2019 voor verschillende vliegtuigtypen. Verschillen groter dan 5% zijn gemarkeerd.

Categorie	Type	Brandstof	CO	NO _x	VOS	SO ₂	PM ₁₀
WB	A333	-1,4%	2,4%	1,1%	11%	-1,4%	11%
WB	A359	-0,1%	-0,3%	-0,02%	-0,3%	-0,1%	-0,04%
WB	B744	3,7%	-38%	12%	-58%	3,7%	14%
WB	B77W	-0,1%	-0,3%	-0,02%	-0,3%	-0,1%	-0,1%
WB	B789	-0,3%	-0,9%	0,2%	-1,8%	-0,3%	44%
WB	B78X	-0,4%	-0,1%	-1,1%	-0,02%	-0,4%	-1,0%
NB-L	A20N	-0,6%	0,3%	-0,9%	-0,8%	-0,6%	2,7%
NB-L	A21N	-0,5%	6,8%	-8,7%	4,2%	-0,5%	85%
NB-L	A319	1,1%	0,1%	1,3%	-16%	1,1%	22%
NB-L	A320	0,1%	-1,5%	0,7%	5,1%	0,1%	-7,0%
NB-L	B38M	0,03%	-0,4%	1,0%	-0,5%	0,03%	0,05%
NB-L	B737	0,5%	-2,6%	2,6%	-0,8%	0,5%	2,5%
NB-L	B738	-1,0%	5,5%	-4,4%	-1,0%	-1,0%	-3,4%
NB-K	E190	1,2%	-1,5%	3,2%	-3,1%	1,2%	9,7%
NB-K	E295	-0,1%	-0,3%	-0,1%	-0,2%	-0,1%	0,1%
n.v.t.	Overig	-2,2%	-9,9%	2,5%	-20%	-2,2%	1,1%

Tabel 9 laat zien dat er een aantal opvallende uitschieters (groter dan 5%) zijn in het brandstofverbruik en emissie per LTO binnen een aantal vliegtuigtypen. Voor de B744 is te zien dat de NO_x- (12%) en PM₁₀-emissie (14%) per LTO toenemen in GJ2024, terwijl de CO- (-38%) en VOS-emissie (-58%) juist afnemen. De achterliggende oorzaak is dat in GJ2019 82% van de B744 vluchten werd uitgevoerd met een het motortype General Electric CF6, terwijl in GJ2024 nog slechts 49% van de B744 vluchten werd uitgevoerd met een toetel met General Electric CF6 motoren. In GJ2024 werden voor de B744 relatief vaker vliegtuigen met de motortypen Pratt & Whitney PW4000 (35%) en Rolls-Royce RB211 (16%) ingezet. Een vergelijkbare analyse voor de A21N laat zien dat de CO- (6,8%) en PM₁₀-emissie (85%) per LTO toenemen in GJ2024, terwijl de NO_x-emissie (-8,7%) juist afneemt. De achterliggende oorzaak is dat in GJ2019 vrijwel alle A21N vluchten (99%) werden uitgevoerd met de CFM LEAP-1A motoren, terwijl dit in GJ2024 nog slechts 77% was. In GJ2024 werd ook vluchten uitgevoerd met de A21N met Pratt & Whitney PW110G motoren (23%). Voor dezelfde toesteltypen kunnen andere motortypen dus een substantieel ander profiel aan emissiefactoren hebben.

De bevindingen binnen de verschillende toesteltypen, op basis van tabel 9, nuanceren de geobserveerde effecten op basis van de 15 meest voorkomende toesteltypen. Verschillende toestel-motortype combinaties kunnen binnen hetzelfde toesteltype zorgen voor substantiële verschillen in de emissie van luchtverontreinigende stoffen. Het is daarom belangrijk dat onderzoek naar het schoner en zuiniger worden van de vlootmix altijd ook de onderliggende motortypen onderzoekt en niet alleen kijkt naar aspecten als vlootvernieuwing op basis van de ingezette toesteltypen.

4 Conclusies

Binnen de context en aannames onderliggend aan de gehanteerde RMI-methodiek kunnen de volgende conclusies getrokken worden. Het brandstofverbruik en de emissie van CO, NO_x, VOS, SO₂ en PM₁₀ op Schiphol is in absolute zin in GJ2024 afgenomen ten opzichte van GJ2019. Een duidelijke verklaring voor deze absolute afname is de afname in het aantal vluchten (LTO-cycli), maar deze afname kan de geobserveerde effecten op brandstofverbruik en emissies slechts deels verklaren. Op basis van het brandstofverbruik per LTO en per gecorrigeerde vliegtuigbeweging, en de emissies per LTO, per gecorrigeerde vliegtuigbeweging en per kilogram brandstof, concluderen wij het volgende:

› *Zuiniger - Wat is de trend in brandstofverbruik op Schiphol tijdens de LTO-cyclus in GJ2024 ten opzichte van GJ2019?*

De vloot in totaal was in GJ2024 zuiniger dan in GJ2019. Het brandstofverbruik per LTO is met 3% afgenomen in GJ2024 ten opzichte van GJ2019. Per gecorrigeerde vliegtuigbeweging is het verbruik met 2% afgenomen. Deze afname is, ten eerste, het gevolg van een verandering in de vlootmix (vlootvernieuwing), waardoor er vaker met zuinigere vliegtuigen is gevlogen. Ten tweede wordt een verdere afname in brandstofverbruik verklaard vanuit de, hetzij geringe, toename in de 1-motor-uit percentages taxiën na landing voor 2-motorige vliegtuigen.

› *Schoner – Wat is de trend in emissies voor CO, NO_x, VOS, SO₂ en PM₁₀ op Schiphol tijdens de LTO-cyclus in GJ2024 ten opzichte van GJ2019?*

De emissie van CO, VOS, SO₂ en PM₁₀ per LTO-cyclus is ook afgenomen met respectievelijk 10%, 23%, 3% en 12% voor de vlootmix in totaal. Echter, de emissie van NO_x per LTO-cyclus is toegenomen met 1%. Voor dezelfde emissies per gecorrigeerde vliegtuigbeweging geldt respectievelijk een afname van 9%, 23%, 2% en 11%. De emissie van NO_x per gecorrigeerde vliegtuigbeweging is juist met 2% toegenomen. Uit deze resultaten volgt de conclusie dat de vloot voor de meeste stoffen schoner is geworden, behalve voor NO_x.

De geobserveerde trends per stof zijn afhankelijk van de afname in brandstofverbruik, de verandering in vlootmix (vlootvernieuwing) en de specifieke vliegtuig-motortype combinaties. Vlootvernieuwing geeft een mogelijke verklaring voor de afgenomen emissies van CO, VOS, SO₂ en PM₁₀ als gevolg van de lagere emissiefactoren van relatief nieuwere toesteltypen. Een aantal nieuwe toesteltypen heeft juist ook een relatief hoge NO_x emissiefactor. De huidige trend in de ingezette vlootmix (vlootvernieuwing) zorgt daardoor niet voor de gewenste afname in stikstofemissies, waar dit met oog op het zuiniger en stiller worden van luchtvaart op Schiphol wel lukt. Voorbeelden van vliegtuigtypen met een relatief hoge stikstofemissie per LTO-cyclus ten opzichte van vergelijkbare vliegtuigtypen zijn de (nieuwe) Boeing 777-300ER (B77W), Airbus A321neo (A21N) en Boeing 737-MAX8 (B38M). Deze nieuwe vliegtuigtypen hebben in GJ2024 ook meer LTO-cycli gerealiseerd op Schiphol dan in GJ2019.

Een kanttekening bij deze conclusies is dat er substantiële verschillen in emissiefactoren binnen hetzelfde vliegtuigtype mogelijk zijn, doordat vliegtuigtypen vaak met verschillende motortypen geleverd kunnen worden. Het is daarom belangrijk dat onderzoek naar het schoner en zuiniger worden van de vlootmix altijd ook de onderliggende motortypen onderzoekt en niet alleen kijkt naar aspecten als vlootvernieuwing op basis van de ingezette toesteltypen.

› *Schoner vs. Zuiniger – Hoe verhouden de trends van brandstofverbruik en emissies zich tot elkaar?*

De trends zichtbaar in de emissies voor stoffen zijn direct gerelateerd aan het brandstofverbruik van de ingezette vloot. Voor 3 stoffen (CO, VOS en PM₁₀) is het schoner worden van de vloot niet volledig

verklaard vanuit het brandstofverbruik. De resultaten voor GJ2024 van deze 3 stoffen laten een grotere afname zien, vanwege een verschil in de emissiefactoren per kg brandstof. Deze afname is het gevolg van de ingezette vlootmix van vliegtuig-motortype combinatie, waaronder de vlootvernieuwing. Voor de NO_x-emissie per kg brandstof laten de resultaten het tegenovergestelde resultaat zien. De vlootmix wordt niet schoner, terwijl deze wel zuiniger is. Over de breedte van de vloot is dit relatieve effect tussen schoner en zuiniger zichtbaar, als gevolg van de emissiefactoren van de ingezette vlootmix van vliegtuig-motortype combinatie, waaronder de vlootvernieuwing.

5 Discussie en Aanbevelingen

Dit hoofdstuk bevat de discussie van deze notitie met oog op 2 doelen. Ten eerste geeft deze discussie een aanzet over de vraag hoe de conclusies en geobserveerde trends te verklaren zijn. Ten tweede beschrijft de discussie een (niet limitatief) aantal kanttekeningen bij de berekeningen uitgevoerd op basis van de aangepaste RMI. In algemene zin dienen rekenmethoden zo goed mogelijk de alledaagse praktijk te benaderen. Hieronder wordt voor een aantal onderwerpen (niet limitatief) beschreven welke nieuwe inzichten er bestaan, en wordt de impact van deze inzichten besproken¹⁶. Per discussiepunt zijn vervolgens ook eventuele aanbevelingen opgenomen.

Een belangrijk overkoepelend discussiepunt is dat een aantal zaken buiten de scope van het onderzoek zijn gelaten, zie paragraaf 2.1. Een aantal grondgebonden emissies (grondmaterieel, APU, rem- en bandenslijtage, brandstofopslag en tanken) liggen buiten de scope van dit onderzoek, terwijl deze zeker lokaal op de grond een substantiële impact hebben. Vanuit dit oogpunt zijn deze grondgebonden emissies in ieder geval van belang in het kader van de gezondheid van werknemers als gevolg van direct blootstelling hieraan. Daarnaast worden in deze notitie alle emissies boven de 3.000ft niet meegenomen. Vanwege de hoogte zijn deze emissies relatief minder belangrijk voor lokale luchtverontreiniging, maar deze emissies spelen wel een rol op globale schaal. Wij bevelen aan dat het onderzoek wordt uitgebreid met andere aspecten van de luchtvaart, zoals de grondgebonden emissies en emissies boven de 3.000ft, om een nog vollediger beeld te krijgen bij het schoner en zuiniger worden van de vlootmix.

Brandstofverbruik / Kooldioxide-emissies (CO₂)

De vigerende RMI en actuele IPLO-database bevatten voor 4 vluchtfasen (startfase, klimfase, naderingsfase, taxifase) per motortype zowel gegevens over het brandstofverbruik als gegevens over de emissiefactoren (per kg brandstof). Binnen deze 4 vluchtfasen zijn het brandstofverbruik en de emissiefactoren voor elk motortype constant. Aan de ene kant wordt de daadwerkelijke praktijk, waarbij emissies anders zijn tijdens de start dan de landing, dus meegenomen in de RMI. Aan de andere kant is de methodiek met slechts 4 afzonderlijke fasen een duidelijke versimpeling van de werkelijkheid en worden er in andere onderzoeken over emissies/concentraties/depositie ook complexere modellen gebruikt¹⁷. Ook het nieuwste Doc29 geluidmodel bevat gedetailleerdere informatie over bijvoorbeeld het stuwkrachtprofiel tijdens de start en landing. Afhankelijk van het doel en onderzoeksmiddelen kan een afweging worden gemaakt voor de complexiteit van het model, waarbij complexere modelleren in de regel beter de alledaagse praktijk benaderen. Dit geldt overigens voor zowel het brandstofverbruik als voor de emissie van luchtverontreinigende stoffen. Vanuit het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat is de methode voor de berekening van luchtvaartemissies recent onderzocht¹⁸. Deze methode is vervolgens nog niet geformaliseerd richting de emissieberekeningen rondom Nederlandse luchthavens. Wij bevelen aan om, met oog voor het gewenste detailniveau en beschikbare onderzoeksmiddelen, te overwegen of de vigerende RMI of juist andere methoden geschikt zijn om het schoner en zuiniger worden van de vlootmix te onderzoeken.

¹⁶ In de rekenvoorbeelden van dit hoofdstuk wordt telkens uitgegaan van de in deze notitie gehanteerde rekenmethodiek waarbij slecht 1 variabele wordt veranderd, tenzij anders vermeld. In het eerste rekenvoorbeeld is bijvoorbeeld alleen de emissiefactor SO₂ aangepast.

¹⁷ To70 (2021). Rekenmethoden voor emissies, concentraties en deposities als gevolg van een luchthaven. 21.171.03. oktober 2021. Beschikbaar via <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/blg-1068046.pdf>.

¹⁸ To70 (2023). Methode voor de berekening van de luchtvaartemissies. 22.171.51. december 2023. Beschikbaar via <https://open.overheid.nl/documenten/dpc-08e238388e5b639bdd0cb8f42223755030139f51/pdf>

Hoewel CO₂-emissie een belangrijke rol speelt in het klimaat, is deze in dit onderzoek niet meegenomen. Ten eerste wordt deze stof niet meegenomen in het RMI en zijn er dus geen wettelijk vastgelegde rekenvoorschriften. Ten tweede heeft CO₂-emissie vooral een globaal klimaateffect en zou het passen om daarom CO₂-emissie van het gehele vliegtraject te onderzoeken en niet alleen binnen de LTO-cyclus. Als rekenvoorbeeld kan op basis van het brandstofverbruik, als gewenst, toch een inschatting van de CO₂-uitstoot worden berekend. ICAO hanteert een emissiefactor van 3,16 kg CO₂ per kg kerosine¹⁹. Binnen de LTO-cyclus en gegeven de resultaten van hoofdstuk 3 geeft dit een inschatting van 663.000 ton CO₂ in GJ2019 en 612.000 ton CO₂ in GJ2024. Een afname van -8% gelijk aan de afname in brandstofverbruik.

Stikstofoxiden (NO_x) emissies

Binnen de huidige Nederlandse context ter bescherming van gezondheid en natuur tegen stikstof is het een opvallend resultaat in deze notitie dat juist de NO_x-emissie per LTO-cyclus als enige stof toeneemt. Juist stikstofemissie is van groot belang voor Nederland, zowel voor het milieu als wat betreft maatschappelijke kosten²⁰. De huidige trend in de ingezette vlootmix zorgt dus niet voor de op dit moment gewenste afname in stikstofemissies. Dit terwijl er met het oog op doelen als zuiniger en stiller wel verbetering vanuit de luchtvaart op Schiphol zichtbaar zijn. De geobserveerde afname in stikstofemissies in GJ2024 ten opzichte van GJ2019 leunt volledig op de afname van het aantal LTO-cycli. Deze afname is groot genoeg om te compenseren voor de onderliggende toename in NO_x-emissie per LTO-cyclus als gevolg van de ingezette vlootmix. Wij bevelen aan dat er, als een afname van NO_x-emissie per LTO-cyclus gewenst is, gezamenlijk vanuit beleid, vergunningverlening, toezicht en de luchtvaartsector wordt onderzocht hoe deze afname in NO_x-emissie per LTO-cyclus kan worden gerealiseerd. Bij deze aanbeveling is het van belang om dit te onderzoeken binnen de context van andere doelen, zoals een zuinigere en stillere vlootmix.

Een mogelijke verklaring voor de toename in NO_x-emissie per LTO-cyclus voor de ingezette vlootmix ligt in de bron van deze uitstoot. Stikstof en zuurstof komen uit de lucht en worden samen gevormd tot NO_x-emissie tijdens de verbranding van kerosine. De NO_x-emissie tijdens de ontbranding van kerosine is afhankelijk van een aantal ontbrandingsparameters. Een belangrijke ontbrandingsparameter is de ontbrandingstemperatuur. Het blijkt dat de productie van NO_x toeneemt met de ontbrandingstemperatuur, waarmee het een tegenhanger is van CO- en VOS-emissie welke juist vrijkomen bij lage ontbrandingstemperaturen. Deze ontbrandingstemperaturen worden bepaald door het motortype. Om die reden hebben verschillende motortypen dus verschillende emissiefactoren.²¹

Zwavelmissies (SO₂)

De vigerende RMI hanteert een emissiefactor van 0,4 gram zwavel per kilogram kerosine. De actuele IPLO-database hanteert op basis van de laatste inzichten, naar aanleiding van de bevindingen uit de Staat van de Luchtvaart 2023²², een emissiefactor van 1,2 gram zwavel per kilogram kerosine. Deze notitie hanteert een emissiefactor van 1,2 gram conform de actuele IPLO-database, zoals beschreven in paragraaf 2.2. Deze keuze leidt tot een hogere absolute zwavelmissie vergeleken met berekeningen conform de

¹⁹ ICAO (2024). ICAO Carbon Emissions Calculator Methodology. Version 13.1. Augustus 2024. Beschikbaar via https://icec.icao.int/Methodology%20ICAO%20Carbon%20Emissions%20Calculator_v13_Final.pdf

²⁰ Zie bijvoorbeeld het Handboek Milieuprijzen 2023: [Handboek Milieuprijzen 2023. Methodische onderbouwing van kengetallen gebruikt voor waardering van emissies en milieu-impacts - CE Delft](#).

²¹ Zie Riebl et al, A Study on the Emissions of Alternative Aviation Fuels, 2017. J. Eng. Gas Turbines Power, 139(8). DOI: 10.1115/1.4035816.

²² Inspectie Leefomgeving en Transport (2024). Staat van de luchtvaart 2023. Beschikbaar via https://www.ilent.nl/binaries/ilt/documenten/transport/luchtvaart/luchthavens/rapporten/staat-van-de-luchtvaart-2023/Staat+van+de+Luchtvaart_2023.pdf

vigerende RMI. Deze keuze heeft geen impact op alle relatieve vergelijkingen tussen GJ2019 en GJ2024, omdat het een uniforme aanpassing van de emissiefactor is met een factor 3, zie het rekenvoorbeeld in tabel 10.

Tabel 10 Vergelijking totale hoeveelheid zwavel emissie voor GJ2019 en GJ2024 voor SO₂-emissiefactor gelijk aan 0,4 en 1,2 gram per kilogram brandstof.

	SO ₂ emissiefactor = 0,4	SO ₂ emissiefactor = 1,2	Vershil
GJ2019	83.905 kg	251.710 kg	3x
GJ2024	77.426 kg	232.273 kg	3x
GJ2024 t.o.v. GJ2019	-7,72%	-7,72%	0

De getrokken conclusies en geobserveerde trends betreft zwavelemissies zijn gerelateerd aan het brandstofverbruik en het zwavelgehalte van de gebruikte kerosine, zie ook de Staat van de Luchtvaart 2023²². De effecten vanuit brandstofverbruik zijn besproken en verklaard in hoofdstuk 3 en 4. Het zwavelgehalte van de gebruikte kerosine geeft een aanvullende afhankelijkheid voor de SO₂-emissie. Deze afhankelijk wordt in de vigerende RMI en actuele IPLO-database alleen zichtbaar in de absolute hoeveelheid SO₂-emissie.

De alledaagse praktijk is genuanceerder dan de berekeningen op basis van de RMI. Het zwavelgehalte verschilt per door brandstofleverancier geleverde batch en verschilt van dag tot dag. De ILT heeft gegevens vanuit praktijkanalyses gedeeld, waarbij de ILT in analyses van kerosinebatches heeft gezien dat het zwavelgehalte varieert tussen 100 en 800 parts per million (ppm). In 2024 was het gemiddelde zwavelgehalte in (DPO)kerosine circa 600 ppm, in 2025 is dit gedaald naar gemiddeld 440 ppm. Dit laat zien dat het daadwerkelijke zwavelgehalte substantieel kan variëren, niet dat er een dalende trend is ingezet. Stijging van SO₂ levert overigens ook een stijging op voor ultrafijnstof (PM_{0.1}) aangezien dat boven in de lucht vrijkomt door omzetting van de SO₂-emissie²³. De ontzwaveling van kerosine is dan ook een belangrijk agendapunt ter verduurzaming van de luchtvaart²⁴. Wij bevelen aan dat een realistische emissiefactor voor SO₂-emissie verder wordt onderzocht, zodat een realistisch en compleet beeld bij de totale uitstoot ontstaat. Een dergelijk realistisch en compleet beeld helpt bij het opstellen van goed beleid richting de ontzwaveling van kerosine.

Fijnstofemissies (PM₁₀, PM_{2,5})

In dit onderzoek wordt de emissie van PM_{2,5} niet expliciet behandeld aangezien de emissiefactor PM_{2,5} vaak gelijk wordt gesteld aan de emissiefactor PM₁₀. Dit betekent echter niet dat de impact voor de omgeving en gezondheid van PM_{2,5} en PM₁₀ gelijk is. Om de effecten van PM_{2,5}, die dus wellicht groter zijn dan PM₁₀, op omgeving en gezondheid op waarde in te schatten, is het nodig dat de RMI-methodiek wordt uitgebreid. Voor een dergelijke uitbreiding is het wel van belang dat er voldoende nauwkeurige emissiegegevens van PM_{2,5} beschikbaar zijn om ook de onderliggende emissiedatabase uit te breiden. Uitbreiding van de RMI-methodiek met PM_{2,5} geeft vervolgens de mogelijkheid om in toekomstige LVB-wijzigingen grenswaarden voor PM_{2,5} op te nemen, los van PM₁₀, en daarmee een mate van bescherming te bieden tegen PM_{2,5}. Wij bevelen aan dat, met oog op gezondheid, de emissiefactoren van PM_{2,5} verder worden onderzocht.

²³ Zie bijvoorbeeld [CE Delft 210410 Potential reducing aviation non-CO2 emissions cleaner jet fuel FINAL.pdf](#)

²⁴ Brief van IenW over luchtvaartbeleid en luchtkwaliteit, 22 december 2022, Kamerstuk 31936 nr. 1022, zie <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-31936-1022.pdf>.

VOS-emissie en Zeer zorgwekkende stoffen (ZZS)

Gelijk aan het discussiepunt rondom SO₂-emissie, heeft ook de VOS-emissie een andere emissiefactor binnen de vigerende RMI (gelijk aan emissiefactor koolwaterstoffen 'HC') en de actuele IPLO-database (een factor 1,16x emissiefactor koolwaterstoffen HC). Deze notitie gebruikt de emissiefactoren uit de actuele IPLO-database, zoals beschreven in paragraaf 2.2. Deze keuze leidt tot een hogere absolute VOS-emissie vergeleken met berekeningen conform de vigerende RMI. Deze keuze heeft geen impact op alle relatieve vergelijkingen tussen GJ2019 en GJ2024, omdat het een uniforme aanpassing van de emissiefactor is met een factor 1,16. Op basis van de vigerende RMI komt de VOS-emissie uit op 249 ton voor GJ2019 en 182 ton voor GJ2024.

Voor de emissie van zeer zorgwekkende stoffen (ZZS) geldt dat er een vaste massafractie van de emissie van VOS per ZZS wordt gehanteerd. Deze vaste massafracties voor verschillende ZZS zijn opgenomen in de actuele IPLO-database. De hoeveelheid emissie van iedere ZZS volgt dan ook eenduidig uit de hoeveelheid VOS emissie²⁵. Bovendien zijn alle relatieve vergelijkingen van VOS-emissies tussen GJ2024 en GJ2019 1-op-1 van toepassing op de ZZS vanwege het toepassen van een vaste massafractie. Wij bevelen aan om een dergelijke uitsplitsing van VOS naar de verschillende ZZS verder te onderzoeken, gezien het belang voor onderzoek naar de gezondheidsschadelijke effecten van ZZS.

TIM- tijden en taxiën met één motor uit

De TIM-tijden gehanteerd in dit onderzoek zijn uit het RMI overgenomen en niet gebaseerd op metingen uit GJ2019 of GJ2024. De werkelijke TIM-tijden kunnen dus afwijken van de gehanteerde TIM-tijden uit het RMI. Afwijkingen in TIM-tijden reflecteren 1-op-1 in afwijkingen in het brandstofverbruik en daarmee de hoeveelheid berekende emissies. EUROCONTROL heeft bijvoorbeeld voor Schiphol de *gemiddelde* taxi-in tijd voor de winterperiode van 2024-2025 bepaald op 8,8 minuten = 528 seconden en de *gemiddelde* taxi-uit tijd op 14,3 minuten = 858 seconden, samen is dit 1.386 seconden²⁶. In tegentelling hanteert het RMI een TIM-tijd voor taxi-in en taxi-uit samen (in dit geval het de TIM-tijd code 'idle') van 1.229 seconden voor de categorieën Turboprop en Jet - TF/Jumbo. De gegevens van EUROCONTROL bevatten dus een 13% langere taxitijd dan gehanteerd in het RMI. Kortom, de RMI is qua TIM-tijden slechts een benadering van de werkelijkheid. Doordat de TIM-tijden als constante zijn opgenomen in de methodiek worden eventuele verschillen in operatie jaar-op-jaar ook inherent niet meegenomen.

Daarnaast zijn de aangeleverde 1-motor-uit percentages afkomstig uit een schatting van Schiphol. Deze percentages zullen in werkelijkheid verschillen van de door Schiphol geschatte waarden. Deze percentages zijn van invloed op de 1-motor-uit-percentage-aangepaste TIM-tijd. De RMI-methodiek neemt 1-motor-uit taxiën mee als een effectieve verkorting van de TIM-tijd. Ook dit is van invloed op de berekende hoeveelheid brandstofverbruik en emissie. Dit is dus nog een reden dat de werkelijke hoeveelheid brandstofverbruik en emissie kan verschillen van de berekende waarden. Hieronder volgt een voorbeeldberekening waarin de totale hoeveelheid emissies op basis van de in deze notitie gehanteerde rekenmethodiek worden vergeleken met eenzelfde berekening waarbij de 1-motor-uit percentages op 0% zijn gezet, zie tabel 11.

Uit de tabel valt te zien dat het rekenen met 0% 1-motor-uit percentage een aanzienlijk effect heeft op de berekende waarde van de totale hoeveelheid emissies, namelijk tot maximaal 10%. Ook zien we een redelijk effect op de verbruikte hoeveelheid brandstof, namelijk een verschil van 3,7%. Om een nauwkeurige berekening van brandstofverbruik en emissies te maken is het dus belangrijk om gegevens

²⁵ Zie het Toelichting, werkwijze en updates document op [Emissiedatabase luchtvaart | Informatiepunt Leefomgeving](#)

²⁶ Zie EUROCONTROL: [Taxi times - Winter 2024-2025 | EUROCONTROL](#).

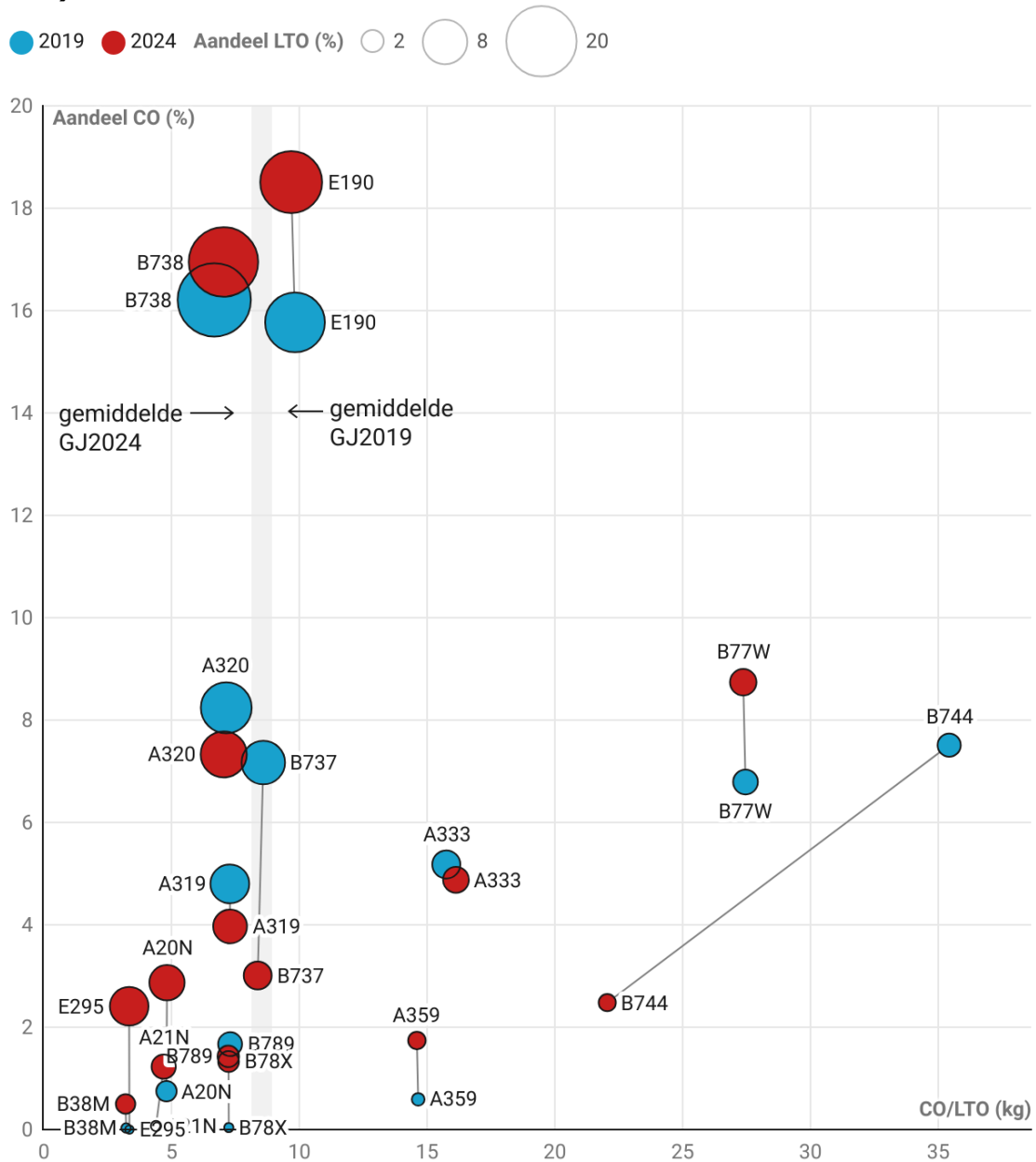
te verzamelen over het daadwerkelijke percentage 1-motor-uit taxiën. Bovendien kan worden onderzocht wat de werkelijke operatie met 1-motor-uit taxiën oplevert aan brandstofverbruik en emissies en of hoe nauwkeurig dit wordt benaderd door de versimpeling in de RMI om dit als verkorte TIM-tijd te modelleren.

Tabel 11 Vergelijking totale emissie voor GJ2024 voor het verschil tussen gehanteerde rekenmethodiek en 1-motor-uit percentage gelijk 0%.

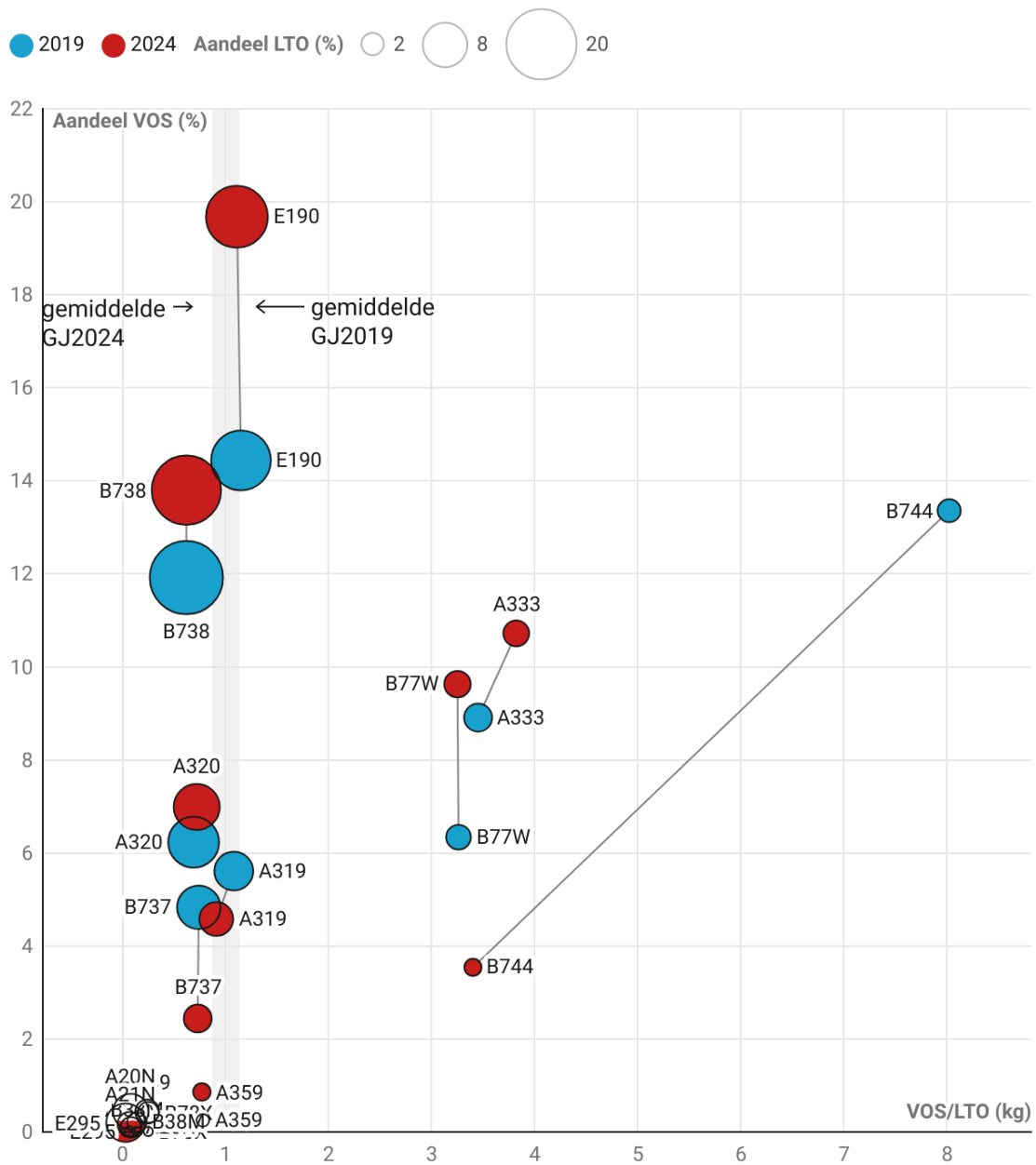
Rekenmethodiek	Brandstof (ton)	CO (ton)	NO_x (ton)	VOS (ton)	SO₂ (ton)	PM₁₀ (ton)
Notitie (zie tabel 1)	194.000	1.960	3.130	211	232	66
0% 1-motor-uit	201.000	2.150	3.170	232	241	68
Verschil	3,7%	10%	1,1%	10%	3,7%	1,7%

De resultaten in deze notitie zijn dus gebaseerd op de aanname binnen de RMI om gebruik te maken van vaste TIM-tijden voor luchthaven Schiphol. Wij bevelen aan dat de resultaten van het ILT-onderzoek naar gerealiseerde TIM-tijden, in combinatie met onderzoek naar 1-motor-uit taxiën, gebruikt worden om de resultaten van deze studie te actualiseren en aan te scherpen. Aanpassingen aan de TIM-tijden zijn van invloed op zowel de resultaten voor brandstofverbruik als voor emissies. Ook aanpassingen aan het 1-motor-uit taxiën zijn van invloed op de hoeveelheid brandstofverbruik en de emissies.

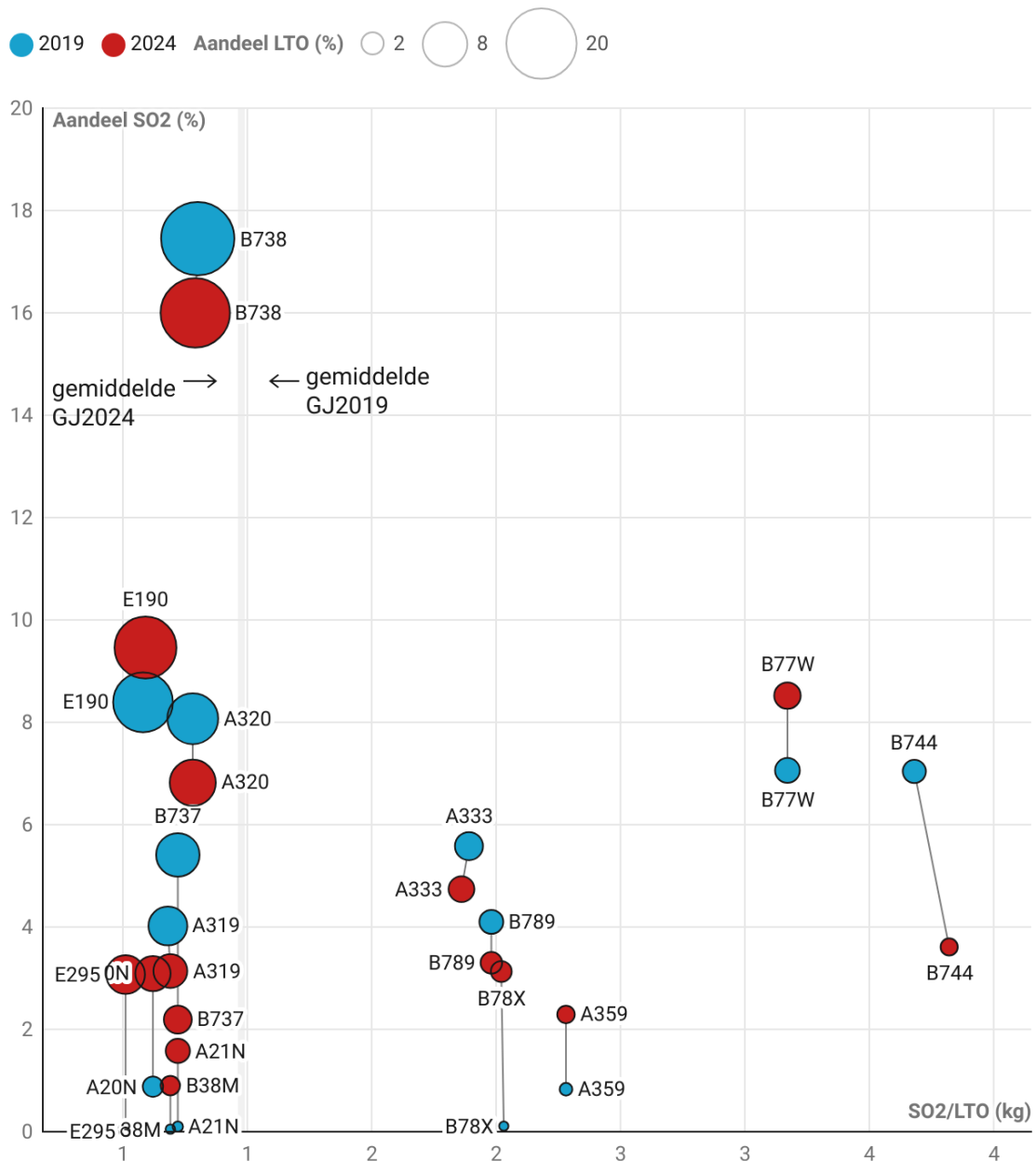
Bijlage A Emissies per LTO uitgesplitst per vliegtuigtype (CO, VOS, SO₂ en PM₁₀)



Figuur 3 Emissie CO per LTO-cyclus van de ingezette vloot op Schiphol in GJ2019 (blauw) en GJ2024 (rood) van een 15-tal relevante vliegtuigtypen (circa 71-74% van totaal aantal LTO-cycli), en het aandeel van deze typen aan de totale CO-uitstoot binnen alle LTO-cycli op Schiphol.



Figuur 4 Emissie VOS per LTO-cyclus van de ingezette vloot op Schiphol in GJ2019 (blauw) en GJ2024 (rood) van een 15-tal relevante vliegtuigtypen (circa 71-74% van totaal aantal LTO-cycli), en het aandeel van deze typen aan de totale VOS-uitstoot binnen alle LTO-cycli op Schiphol.



Figuur 5 Emissie SO₂ per LTO-cyclus van de ingezette vloot op Schiphol in GJ2019 (blauw) en GJ2024 (rood) van een 15-tal relevante vliegtuigttypen (circa 71-74% van totaal aantal LTO-cycli), en het aandeel van deze typen aan de totale SO₂-uitstoot binnen alle LTO-cycli op Schiphol.

