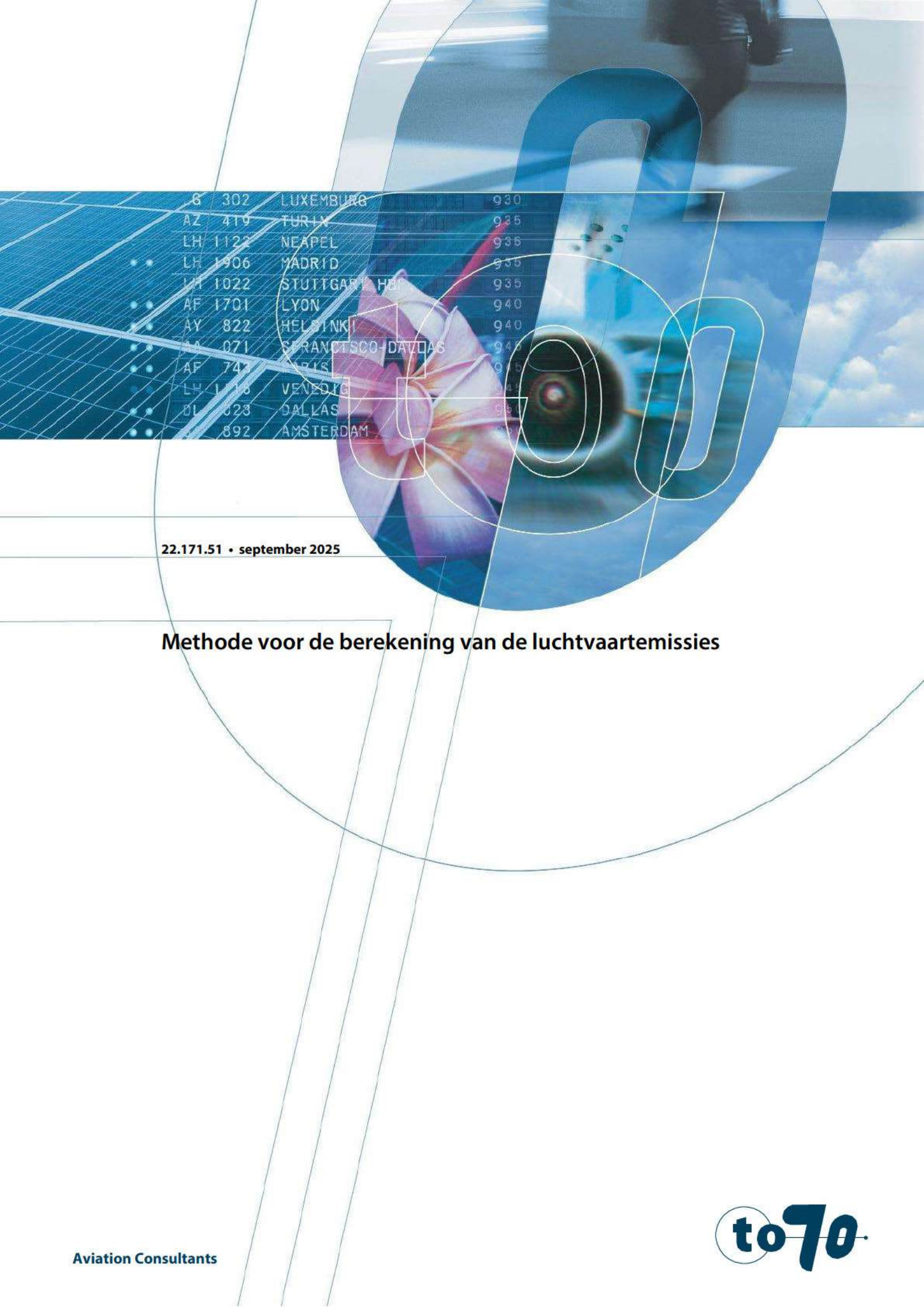




B	302	LUXEMBURG	930
AZ	419	TURIN	935
LH	1122	NEAPEL	935
LH	1906	MADRID	935
LH	1022	STUTTGART HB	935
AF	1701	LYON	940
AY	822	HELSINKI	940
AA	071	SANCTISCO-DALLAS	940
AF	743	PARIS	940
LH	1116	VENEDIG	940
DL	023	DALLAS	940
	892	AMSTERDAM	940

22.171.51 • september 2025

Methode voor de berekening van de luchtvaartemissies

Methode voor de berekening van de luchtvaartemissies

Rapport

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Rijnstraat 8
Den Haag
Postbus 20904
2500 EX Den Haag

To70
Postbus 85818
2508 CM Den Haag, Nederland
tel. +31 (0)70 3922 322
Email: info@to70.nl

Door:

Bescherming persoonlijke levenssfeer



Den Haag, september 2025

Inhoudsopgave

Betekenis begrippen	4
1. Inleiding	7
1.1 Leeswijzer	8
2. Beschrijving van de berekeningsmethode	9
2.1 LTO-emissies.....	9
2.2 APU-emissies.....	10
2.3 GPU-emissies.....	10
2.4 Banden- en remslijtage.....	11
3. Luchthavengegevens	12
3.1 Benodigde gegevens.....	12
3.2 Atmosferische condities.....	12
4. Gegevens over het gebruik van de luchthaven.....	14
4.1 Benodigde gegevens.....	14
4.2 Toelichting op de gegevens.....	14
4.3 Richtlijnen voor het vaststellen van de gegevens	17
5. Prestatieprofielen van luchtvaartuigen en emissiedatabase	19
5.1 Prestatieprofielen	19
5.2 Emissiedatabase luchtvaart en -havens.....	19
6. Uitvoering berekeningen	21
6.1 Berekening van de totale luchtvaartemissies	21
6.2 LTO-emissies.....	22
6.3 Emissies a.g.v. bandenslijtage.....	28
6.4 Emissies a.g.v. remslijtage.....	29
6.5 APU-emissies.....	30
6.6 GPU-emissies.....	31
7. Bepaling van de ruimtelijke verdeling van de emissies	33
7.1 LTO-emissies.....	33
7.2 Overige emissies	34
7.3 Samenvoegen van emissiebronnen	34
Referenties.....	35
Annexen	36
A 1 Benodigde lijsten ten behoeve van opstellen verkeersgegevens.....	37
A 2 Berekening stuwkrachtsetting voor begin- en eindpunt per segment in een prestatieprofiel.....	40
A 3 Berekening van gecorrigeerd brandstofverbruik middels twin-quadratic-interpolatie.....	42
A 4 Berekening van emissiekentallen middels BFFM2	44

Betekenis begrippen

- *AERIUS*

AERIUS is het rekeninstrument waarmee neerslag (depositie) van stikstof op Natura 2000-gebieden binnen Nederland wordt berekend, gemonitord en geregistreerd.

- *Afkoeltijd*

De tijd na afloop van de landing voor het afkoelen van de motor(en) van een luchtvaartuig.

- *Emissiedatabase luchtvaart en -havens*

Database opgesteld in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat met daarin emissiegegevens en brandstofverbruik per proxy motortype.

- *Foot (ft) / voet*

Een lengtemaat uit het imperiale systeem van eenheden. Eén voet komt overeen met een afstand van 0,3048 meter.

- *Grondpad*

Projectie van een modelroute of radartrack in het horizontale referentievlak.

- *Grondrol*

Het deel van a) de start waarbij het vliegtuig versnelt vanaf stilstand tot een snelheid waarbij het vliegtuig loskomt van de grond of b) het deel van de landing waarbij het vliegtuig vertraagt vanaf de snelheid waarbij het vliegtuig de grond raakt tot stilstand.

- *Handhavingsberekening*

Emissieberekening waarmee de gerealiseerde emissies over een bepaalde periode (over het algemeen een kwartaal of een jaar) wordt bepaald.

- *Helikopter*

Gemotoriseerd luchtvaartuig met rotorbladen, zwaarder dan lucht, dat hoofdzakelijk in de lucht gehouden kan worden door aerodynamische reactiekrachten op zijn rotorbladen, conform de meest recent gepubliceerde ICAO Doc 8643.

- *Helikopterlandingsplaats*

Een plaats bestemd voor het opstijgen en landen van helikopters, aangeduid met een geografische locatie.

- *Helikopteropstelplaats*

Het platform waar een helikopter op geparkeerd staat.

- *ICAO*

International Civil Aviation Organisation (Internationale Burgerluchtvaartorganisatie).

- *LTO cyclus*

De Landing and Take-Off (LTO) cyclus bevat alle activiteiten met betrekking tot het vliegverkeer tot en met een hoogte van 3.000 ft. Dit omvat het taxiën, starten, opstijgen, dalen en landen van een luchtvaartuig.

- *Luchthaven*

Verzamelnaam voor luchthavens voor vliegtuigen en helikopters.

- *Luchthavenbesluit*

Het besluit, bedoeld in de artikelen 8.43, eerste en tweede lid, 8.70, eerste lid, of 10.15 van de Wet luchtvaart.

- *Luchthavenregeling*

De regeling, bedoeld in de artikelen 8.64, eerste lid, 8.77, eerste lid, of 10.39, eerste lid van de Wet luchtvaart.

- *Luchthavenluchtverkeer*

Het starten vanaf, het opstijgen van, het naderen tot en het landen van luchtvaartuigen op een luchthaven en de daarmee verband houdende bewegingen van luchtvaartuigen op de grond.

- *Luchtvaartuig*

Verzamelnaam voor vliegtuigen en helikopters met een maximaal startgewicht (MTOW) van meer dan 150 kg.

- *Luchtvaartuigbeweging*

Beweging in start- of landingsfase met een luchtvaartuig.

- *Luchtvaartuigtype*

ICAO code (aircraft type designator) van een luchtvaartuig conform de meest recent gepubliceerde ICAO Doc 8643.

- *Maximum Take Off Weight (MTOW)*

Het maximale startgewicht van het luchtvaartuig (in kilogram).

- *Proxy motortype*

Een motoraanduiding waarvan de naamgeving overeenkomt met de motortype lookup name zoals opgenomen in de emissiedatabase luchtvaart en -havens.

- *Opwarmtijd*

De tijd voorafgaand aan een start voor het opwarmen van de motor(en) van een luchtvaartuig.

- *Scenarioberekening*

Emissieberekening op basis van een scenario dat kan dienen voor de vaststelling van grenswaarden van emissies.

- *Taxiduur*

De benodigde tijd voor het taxiën van een luchtvaartuig tussen vliegtuig- of helikopteropstelplaats tot start-/landingsbaan of helikopterlandingsplaats.

- *Taxipad*

Het grondpad voor het taxiën van een luchtvaartuig tussen vliegtuig- of helikopteropstelplaats en start-/landingsbaan of helikopterlandingsplaats.

- *TIM-tijd*

Tijdsduur behorend bij een vliegfase tijdens de LTO-cyclus.

- *Type motor*

Type motor, met onderscheid naar Piston (P), Turboprop (T) of Jet (J).

- *Vliegbaan*

Beschrijving van een gevlogen weg op zowel het horizontale vlak (grondpad) als in verticale zin (vlieghoogte).

- *Vliegtuig*

Vastevleugelvliegtuig, luchtvaartuigen niet zijnde helikopters.

- *Vliegtuigopstelplaats*

Het platform waar een vliegtuig op geparkeerd staat.

- *Vluchtsoort*

Start of landing, waarbij een circuitvlucht wordt opgesplitst in een start en landing.

1. Inleiding

Dit document beschrijft een methode voor het bepalen van de omvang (hoeveelheid) en (ruimtelijke) verdeling van emissies van diverse luchtverontreinigende stoffen a.g.v. de Landing & Take-Off (LTO) cyclus van het luchthavenluchtverkeer anders dan militair verkeer op een luchthaven.

De methode heeft betrekking op:

- de motoremissies van luchtvaartuigen (inclusief helikopters) met een MTOW > 150 kg tijdens de verschillende fases van de LTO: het landen vanaf een hoogte van 3.000ft, het taxiën op de luchthaven, het starten vanaf en het opstijgen van een luchthaven t/m een hoogte van 3.000ft;
- de APU-emissies;
- de emissies als gevolg van banden- en remslijtage; en
- de emissies als gevolg van het gebruik van de ground power units (GPU) voor de stroomvoorziening voor luchtvaartuigen.

Het gaat om de stoffen:

- Fijnstof: PM₁₀ en PM_{2,5};
- Gasvormige componenten: SO₂, NO_x en CO, Unburned hydrocarbons (HC);
- Vluchtige organische stoffen (VOS);
- Zeer zorgwekkende stoffen: 1,3-butadien, Formaldehyde, Benzeen, 1-methylnaftaleen, naftaleen, 2-methylnaftaleen, cumeen, 2-butenal.

De methode is gebaseerd op de *Advanced Approach* beschreven in ICAO Doc. 9889 [1] met inachtneming van de in [2] en [3] genoemde verbeteringen. Andere benodigde aannames om tot een eenduidige rekenmethode te komen zijn tot stand gekomen na afstemming met experts van andere sectorpartijen en met het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

De methode maakt gebruik van de emissie- en bronkenmerken die zijn vastgelegd in de emissiedatabase luchtvaart en -havens, ref. [4]. Daarnaast zijn voor de emissieberekening gegevens vereist over (het gebruik van) de luchthaven. De methode is zo opgesteld dat hiervoor in belangrijke mate gebruik kan worden gemaakt van de gegevens die benodigd zijn voor geluidbelastingberekeningen, zoals uitgevoerd volgens het voorschrift in ref. [6].

De emissiedatabase luchtvaart en -havens omvat op moment van schrijven nog geen methode om rekening te houden met de effecten van SAF op de luchtvaartemissies. Deze rekenmethode maakt daarom geen expliciet onderscheid tussen SAF en andere gangbare brandstoffen in de luchtvaart.

Op basis van de berekende emissies, in locatie en tijd, kunnen depositie- en concentratieberekeningen worden uitgevoerd. Het bepalen van deposities en concentraties maakt geen onderdeel uit van deze methode.

De methode is opgesteld op verzoek van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en beoogt de rekenmethodiek voor luchtvaartemissies op alle luchthavens in Nederland uniformer en transparanter te maken¹.

1.1 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 geeft een kwalitatieve beschrijving van de berekeningsmethodiek voor berekening van de emissies van de LTO cyclus. Vervolgens worden de benodigde invoergegevens toegelicht, waarbij onderscheid wordt gemaakt naar luchthavengegevens (hoofdstuk 3), gegevens over het gebruik van de luchthaven (hoofdstuk 4) en de emissie- en bronkenmerken van luchtvaartuigen, APU's en GPU's (hoofdstuk 5). Hierna wordt het uitvoeren van de emissieberekening beschreven (hoofdstuk 6) en tevens de eventuele vereiste nabewerkingen op de berekende emissies (hoofdstuk 7.3).

In dit document wordt gebruik gemaakt van eenheden in het Internationale Stelsel van Eenheden (SI-stelsel) en lokale tijden, tenzij anders vermeld.

¹ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2022/12/22/emissies-door-de-luchtvaart>

2. Beschrijving van de berekeningsmethode

Dit hoofdstuk beschrijft op hoofdlijnen de methode om de luchtvaartemissies van een beweging met een luchtvaartuig op een luchthaven te berekenen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar LTO-emissies, APU-emissies, emissies als gevolg van banden- en remslijtage en emissies van het gebruik van GPU's voor de afhandeling van het luchtvaartuig. De totale emissies zijn een optelsom van de emissies van alle luchtvaartuigbewegingen van (niet-militaire) luchtvaartuigen met een MTOW van meer dan 150 kg in een tijdvak.

De voor de berekening benodigde gegevens staan beschreven in hoofdstukken 3 tot en met 5. De technische berekeningswijze is beschreven in hoofdstukken 6 en 7.

2.1 LTO-emissies

De motoremissies van luchtvaartuigen (vliegtuigen en helikopters) tijdens de Landing & Take-Off (LTO) cyclus worden bepaald op basis van: $TIM \times \text{brandstofverbruik} \times EI \times \text{aantal motoren}$ per 'operating mode' van de luchtvaartuigbeweging (starten, landen en taxiën), met:

- De TIM ('time in mode') is de tijdsduur van de operating mode;
- De operating mode is een deel van de luchtvaartuigbeweging, met onderscheid naar opstarten en warmdraaien van de motoren, het taxiën naar de startbaan, de take-off, de climb out, de landing, het taxiën naar de opstelplaats en het afkoelen van de motoren;
- De EI is het emissiekental van een stof, die de hoeveelheid stof weergeeft die uitgestoten wordt per kg brandstof. Het brandstofverbruik en de EI hoeven niet constant te zijn voor de operating mode.
- Het aantal motoren is het aantal motoren dat in gebruik is tijdens de operating mode.

De time in mode (TIM) betreft de duur voor opwarmen/afkoelen van de motoren, de duur voor het taxiën en de duur van de verschillende vluchtfases t/m een hoogte van 3.000 ft voor starts en vanaf een hoogte van 3.000 ft voor landingen. Voor specifiek circuitvluchten (een vlucht met dezelfde luchthaven voor start en landing) geldt dat ze worden opgedeeld in twee onderdelen; namelijk een start en een landing. Iedere start en landing worden opgedeeld in nadere segmenten, om onderscheid te maken naar verschillende stuwkrachtsettings met bijbehorende brandstofverbruik en emissiekentallen.

Het brandstofverbruik en de emissiekentallen worden ontleend aan de emissiedatabase luchtvaart en -havens [4]. De waarden worden gecorrigeerd voor de atmosferische omstandigheden die representatief worden geacht voor de luchthaven en de operating mode.

Voor de taxifase wordt een constante stuwkrachtsetting verondersteld. Er worden geen correcties gedaan voor bijv. het optrekken vanuit stilstand, het afremmen, het maken van bochten of een verschil in taxiselheden. Wel wordt er rekening gehouden met het uitschakelen van één of meerdere motoren voor het taxiën.

Voor de ruimtelijke verdeling van de emissies, worden de emissies geprojecteerd op een aantal punten langs de taxiroute, het vliegpad en de locaties van het opstarten/afkoelen van de motoren.

De emissieberekening vereist gegevens over het luchtvaartuig, de luchtvaartuigbeweging en de luchthaven. De belangrijkste gegevens daarin zijn de proxy motortype van het luchtvaartuig, op basis waarvan de emissiekentallen bepaald kunnen worden, de taxiroute en taxiduur en het vliegpad.

De totale LTO-emissie is een optelsom van de emissies van alle operating modes van een beweging met een luchtvaartuig. In de berekening van de LTO-emissies dienen alle luchtvaartuigbewegingen met luchtvaartuigen met een MTOW van meer dan 150 kg, met uitzondering van luchtvaartuigen met een elektrische motor (en militaire luchtvaartuigen), te worden betrokken.

2.2 APU-emissies

De APU-emissies betreffen de emissies als gevolg van het gebruik van de auxiliary power unit (APU) aan boord van luchtvaartuig. Luchtvaartuigen met een APU, kunnen de APU op de luchthaven gebruiken voor stroomvoorziening aan boord, het opstarten van de motoren en het leveren van pneumatische druk die nodig is voor de airconditioning. De APU werkt op kerosine, waardoor, net als bij de hoofdmotoren van het motoren, bij het gebruik ervan schadelijke stoffen vrijkomen. Niet ieder luchtvaartuig beschikt over een APU.

De emissies van het APU-gebruik worden berekend op basis van: $TIM \times EI$, met:

- De TIM ('time in mode') is de tijdsduur van het gebruik van de APU;
- De EI is het emissiekental van een stof, die de hoeveelheid stof weergeeft die uitgestoten wordt per seconde.

Het gebruik en de gebruiksduur van de APU hangt mede af van de voorzieningen op de luchthaven (walstroom, pre-conditioned air, GPU's), de omdraaitijd van vliegtuigen en de weersomstandigheden (gebruik van verwarming en airconditioning aan boord van het vliegtuig als het vliegtuig op de opstelplaats staat).

De emissiedatabase luchtvaart en -havens [4] geeft de emissiekentallen van verschillende APU-types. Voor het gebruik van de APU is geen onderscheid gemaakt naar verschillende operation modes (bijv. voor het opstarten van de motoren of het gebruik van de APU voor airconditioning). Ook geeft de emissiedatabase een koppeling van APU-types aan vliegtuigtypes.

Voor de ruimtelijke verdeling van de APU-emissies, worden de emissies geprojecteerd op de opstelplaats behorend bij de luchtvaartuigbeweging.

De emissieberekening vereist (enkel) gegevens over het APU-type, de tijdsduur van het gebruik van de APU en de locatie van het gebruik van de APU (de opstelplaats) per luchtvaartuigbeweging.

2.3 GPU-emissies

Voor de afhandeling van de luchtvaartuigen op de luchthaven kan gebruik worden gemaakt van ground power units (GPU). GPU's werken op diesel of op batterijen. Bij het gebruik van niet-elektrische GPU's komen schadelijke stoffen vrij.

De emissies van het GPU-gebruik worden, net als het APU-gebruik, berekend op basis van: $TIM \times EI$, met:

- De TIM ('time in mode') is de tijdsduur van het gebruik van de GPU;
- De EI is het emissiekental van een stof, die de hoeveelheid stof weergeeft die uitgestoten wordt per seconde.

Het gebruik en de gebruiksduur van de GPU hangt, net als het APU-gebruik, mede af van de (overige) voorzieningen op de luchthaven, de omdraaitijd van vliegtuigen en de weersomstandigheden.

De emissiedatabase luchtvaart en -havens [4] geeft de emissiekentallen van verschillende GPU-types.

Voor de ruimtelijke verdeling van de GPU-emissies, worden de emissies geprojecteerd op de opstelplaats behorend bij de luchtvaartuigbeweging. Een luchtvaartuigbeweging hoeft niet gelimiteerd te zijn tot het gebruik van één GPU-type.

De emissieberekening vereist (enkel) gegevens over de GPU-types die in gebruik zijn op de luchthaven, de tijdsduur van het gebruik van de GPU en de locatie van het gebruik van de GPU (de opstelplaats) per luchtvaartuigbeweging.

2.4 Banden- en remslijtage

Hoofdzakelijk bij de landing van vliegtuigen is ook sprake van het vrijkomen van fijnstof als gevolg van banden- en remslijtage. De berekening van deze emissies is gebaseerd op het maximum take-off weight (MTOW) van het vliegtuig. Voor de ruimtelijke verdeling van deze emissies, worden de emissies als gevolg van banden- en remslijtage geprojecteerd op de touchdown locatie op de landingsbaan van de luchtvaartuigbeweging.

De emissieberekening vereist (enkel) gegevens over het MTOW van het vliegtuigtype en de touchdown locatie op de landingsbaan per luchtvaartuigbeweging.

3. Luchthavengegevens

Dit hoofdstuk beschrijft de luchthaven-specifieke invoergegevens. Paragraaf 3.1 geeft een overzicht van de benodigde gegevens. Paragraaf 3.2 gaat nader in op de atmosferische condities.

3.1 Benodigde gegevens

De benodigde luchthavengegevens hebben betrekking op:

- De hoogte van de luchthaven in het Airport Reference Point (ARP);
- De geografische locaties (in Rijksdriehoekskoördinaten) van de baaneinden;
- Per baaneinde:

Voor vliegtuigen

- de geografische locatie (in Rijksdriehoekskoördinaten) van het startpunt of de startpunten voor vertrekkend verkeer;
- de geografische locatie van de baandrempel voor landend verkeer.

Voor helikopters

- de geografische locatie (in Rijksdriehoekskoördinaten) van ieder start- en landingspunt voor helikopterterverkeer.
- De geografische locaties (in Rijksdriehoekskoördinaten) van de helikopterlandingsplaats(en) en de bijbehorende hoogte (in meters) ten opzichte van het zeeniveau;
- De geografische locaties (in Rijksdriehoekskoördinaten) van de opstelplaatsen;
- De atmosferische condities, zie §3.2.

Voor nieuwe luchthavens, of bij een wijziging aan de bovenstaande infrastructuur, dient uitgegaan te worden van het ontwerp. In de overige situaties dienen de luchthavengegevens ontleend te worden aan het luchthavenbesluit of de luchthavenregeling dat voor die luchthaven van toepassing is. Als de gegevens daarin niet beschikbaar zijn, kan worden teruggevallen op bijvoorbeeld de Aeronautical Information Publication (AIP).

3.2 Atmosferische condities

De emissiekentallen dienen te worden gecorrigeerd voor de atmosferische condities op de luchthaven (de temperatuur, luchtdruk en relatieve luchtvochtigheid). De variatie van atmosferische omstandigheden met de vlieghoogte worden afgeleid uit de International Standard Atmosphere (ISA) [7]. Daarbij dient gebruik te worden gemaakt van de atmosferische condities (gemiddeld per seizoen) die op de luchthaven gelden.

De temperatuur, luchtdruk en relatieve luchtvochtigheid dienen vastgesteld te zijn voor afzonderlijk het winter- en zomerseizoen en vastgesteld te zijn op basis van:

- een (recent) aaneengesloten tijdvak van 10 kalenderjaren;
- KNMI uurgegevens voor de uren die vallen binnen de openingstijden van de luchthaven.

Bij gebrek aan een KNMI meetstation op de luchthaven, wordt voor het vaststellen van de atmosferische condities uitgegaan van het meest nabijgelegen KNMI meetstation.

4. Gegevens over het gebruik van de luchthaven

Dit hoofdstuk beschrijft de invoergegevens ten aanzien van het gebruik van de luchthaven. Dit betreft de gegevens over het vliegverkeer, het gebruik van de APU en het gebruik van de GPU.

Paragraaf 4.1 geeft een overzicht van de benodigde gegevens. De gegevens zijn toegelicht in paragraaf 4.2. Paragraaf 4.3 geeft (richtlijnen voor) het vaststellen van de gegevens.

4.1 Benodigde gegevens

Voor de berekening van de emissies zijn per luchtvaartuigbeweging (start/landing) de volgende gegevens benodigd:

- Het (proxy) luchtvaartuigtype;
- Het (proxy) motortype en het APU-type (indien van toepassing);
- MTOW (in het geval van een vliegtuig);
- Datum en tijdstip;
- De vluchtsoort;
- Het type verkeer;
- Het type motor;
- Het prestatieprofiel;
- De taxiduur;
- Aantal motoren in gebruik tijdens taxiën;
- De APU-duur ;
- De opwarm-/afkoeltijd van de motoren op de opstelplaats (en aantal motoren);
- Het taxipad (alleen voor de ruimtelijke verdeling van de emissies);
- Het vliegp pad (alleen voor de ruimtelijke verdeling van de emissies).

Voor de afhandeling van de vliegtuigen en helikopters op de opstelplaats:

- GPU-type;
- GPU-duur;
- Opstelplaats (alleen voor de ruimtelijke verdeling van de emissies).

4.2 Toelichting op de gegevens

4.2.1 Luchtvaartuigtype

Voor de representatie van een start en landing in emissieberekeningen is de specificatie van het verloop van de vlieghoogte, de vliegsnelheid en de motorstuwkracht als functie van de afgelegde weg langs het grondpad benodigd. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een vaste set aan gegevens, zie §5.1. De gegevens zijn beschikbaar voor een aantal (proxy) luchtvaartuigtypes (vliegtuigen en helikopters).

Voor de koppeling van een proxy luchtvaartuigtype aan een luchtvaartuigtype, aangeduid met de ICAO aircraft type designator (ICAO-code) o.b.v. ICAO Doc 8643, wordt gebruik gemaakt van de methode die is beschreven in:

- voor Schiphol: de regeling Regeling milieu-informatie luchthaven Schiphol ref. [8];
- voor de overige luchthavens: bijlage 1 bij de Regeling burgerluchthavens, ref. [6].

4.2.2 Motor- en APU-type

Van de motor en de APU (indien van toepassing) van het luchtvaartuig zijn gegevens nodig over het brandstofverbruik en de emissies. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een vaste set aan gegevens, zie §5.2. De gegevens zijn beschikbaar voor een aantal (proxy) motor- en APU-types. Aan iedere luchtvaartuigbeweging dient een proxy motor- en APU-type (indien van toepassing) gekoppeld te worden.

4.2.3 MTOW

Het MTOW specificeert het Maximum Take-Off Weight van het vliegtuig. Het MTOW wordt gebruikt om het vrijkomen van fijnstof als gevolg van banden- en remslijtage te bepalen.

4.2.4 Datum en tijdstip

De datum van de vlucht is benodigd voor de koppeling van representatieve atmosferische condities aan de vlucht. De datum en het tijdstip van de vlucht zijn nodig voor de ruimtelijke verdeling van de emissies (uitsplitsing naar locatie en tijd).

Voor het tijdstip van een vlucht wordt de baantijd aangehouden. Dit betreft de 'actual time of arrival' (wielen op de grond) voor een landing en de 'actual time of departure' (start van de take-off roll) voor een start of een circuitvlucht. Dit tijdstip wordt uitgedrukt in datum, uren, minuten en seconden, in lokale tijd.

4.2.5 Vluchtsoort

De vluchtsoort specificeert of er sprake is van een start of een landing. Een circuitvlucht (een vlucht met dezelfde luchthaven voor start en landing) wordt opgesplitst in één start en één landing conform de methode in Annex A5 bij ref. [6]. Een aangesloten reeks van circuitvluchten bestaat uit evenzoveel starts en landingen.

4.2.6 Type verkeer

Het type verkeer specificeert of een luchtvaartuigbeweging wordt uitgevoerd met een groot, klein of helikopter type. Deze classificatie wordt toegekend na identificatie van het luchtvaartuigtype (zie §4.2.1) en o.b.v. de Kenmerkenlijst voor proxytypes bij ref. [6].

4.2.7 Type motor

Het type motor specificeert of een luchtvaartuigbeweging wordt uitgevoerd met een Jet (J), Piston (P) of Turbofan (T) type motor. Deze classificatie wordt toegekend o.b.v. de Luchtvaartuigtype kenmerkenlijst bij ref. [6].

4.2.8 Prestatieprofiel

Het prestatieprofiel geeft het verloop van de vlieghoogte, de vliegsnelheid en de motorstuwkracht als functie van de afgelegde weg langs het grondpad. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een vaste set aan gegevens, zie §5.1.

4.2.9 Taxiduur

De taxiduur specificeert de tijd voor het taxiën van de opstelplaats naar het startpunt van de vlucht (voor starts) of voor het taxiën na de landing naar de opstelplaats.

4.2.10 Aantal motoren in gebruik tijdens taxiën

Het aantal motoren in gebruik tijdens het taxiën specificeert het aantal motoren dat gebruikt wordt voor het taxiën van/naar de opstelplaats.

4.2.11 APU-duur

De APU-duur specificeert (in het geval van het gebruik van een APU) de duur van het gebruik van de APU op de opstelplaats. Hiervan wordt 50% toegekend aan de start en 50% aan de landing.

4.2.12 Opwarm-/afkoeltijd van de motoren en aantal motoren

De opwarmtijd van de motoren specificeert de duur van het opwarmen van de motoren voorafgaand aan het taxiën in het geval van een start. De afkoeltijd van de motoren specificeert de duur waarin de motoren nog aan staan om af te koelen na afloop van het taxiën in het geval van een landing.

Het opwarmen en afkoelen van de motoren heeft alleen betrekking op de motoren (het aantal) waarvoor het opwarmen en afkoelen op de opstelplaats plaats vindt.

4.2.13 Taxipad

Het taxipad geeft de geografische beschrijving (in Rijksdriehoekscoördinaten) van de route voor het taxiën van de opstelplaats naar het startpunt van de start of voor het taxiën na de landing naar de opstelplaats. Het taxipad is enkel benodigd voor de ruimtelijke verdeling van de emissies.

4.2.14 Vliegp pad

Het vliegp pad geeft de geografische beschrijving (in Rijksdriehoekscoördinaten) van de vliegbaan en is enkel benodigd voor de ruimtelijke verdeling van de emissies.

Het vliegp pad:

- Begint resp. eindigt op de helikopterlandingsplaats in het geval van een start resp. landing met een helikopter op de helikopterlandingsplaats;
- Begint voor starts vanaf een startbaan op het startpunt op de startbaan;
- Eindigt voor landingen op een landingsbaan op het punt waar het luchtvaartuig de landingsbaan verlaat.

4.2.15 GPU-type

Als voor de afhandeling van de vlucht een niet-elektrische GPU wordt gebruikt, zijn van de GPU emissiekentallen nodig. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een vaste set aan gegevens, zie §5.2. De gegevens zijn beschikbaar voor een aantal (proxy) GPU-types. Aan een luchtvaartuigbeweging die wordt afgehandeld met een niet-elektrisch GPU, dient een proxy GPU-type gekoppeld te worden.

4.2.16 GPU-duur

De GPU-duur specificeert (in het geval van het gebruik van een niet-elektrische GPU) de duur van het gebruik van de GPU op de opstelplaats. Hiervan wordt 50% toegekend aan de start en 50% aan de landing.

4.2.17 Opstelplaats

De opstelplaats specificeert welke opstelplaats (plek waar het luchtvaartuig wordt geparkeerd om te worden bijgetankt, schoongemaakt, geladen en gelost voor vertrek) wordt gehanteerd voor het luchtvaartuig.

4.3 Richtlijnen voor het vaststellen van de gegevens

De wijze van het vaststellen van gegevens is afhankelijk van het doel van de emissieberekening:

- Voor een realisatieberekening, kunnen (of moeten in het geval van een handhavingsberekening), de gegevens worden gebaseerd op een registratie van de gegevens per luchtvaartuigbeweging;
- Voor een scenarioberekening, worden de gegevens gebaseerd op een prognose of een combinatie van realisatie en prognose. Afhankelijk van het doel en vereiste detailniveau van de berekening, dient hierbij meer aandacht te worden besteed aan het detailleren van de gegevens. Doorgaans kan het detailniveau van de berekening verhoogd worden als gebruik wordt gemaakt van empirische gegevens, d.w.z. praktijkgegevens die representatief zijn voor de prognose voor het gebruik van de luchthaven, met (waar relevant) onderscheid naar bijv. groepen luchtvaartuigen of type luchtvaartuigbeweging.

Onderstaande tabel geeft richtlijnen voor het vaststellen van de te gebruiken gegevens.

Aspect	Realisatieberekening	Scenarioberekening (SB)	Fall-back methode voor SB
Luchtvaartuigtype (ICAO-code)	Geregistreerd per beweging met een luchtvaartuig.	O.b.v. prognose / realisatie.	-
Motortype	Koppeling van het motortype op basis van de gegevens bij de luchtvaartuigregistratie o.b.v. 1. luchtvaartuigregisterlijst, zie Annex A1, of 2. luchtvaartuigregistratielijst, zie [5, 6]. Koppeling van het proxy motortype o.b.v. motortype indelingslijst, zie Annex A1.	Empirische gegevens per ICAO-code.	Toepassen van substitutieprotocol van de emissiedatabase luchtvaart en -havens. <u>Alternatief:</u> motortype behorend bij het proxy luchtvaartuigtype.
APU-type (indien van toepassing)	Geregistreerd per beweging. Fall-back: cf. SB.	Empirische gegevens.	O.b.v. Emissiedatabase luchtvaart en -havens, zie §5.2.
MTOW	O.b.v. registratie van gegevens per beweging. Fall-back: cf. SB.	Empirische gegevens.	Vast MTOW per vliegtuigtype.
Datum en tijdstip	Geregistreerd per beweging.	O.b.v. prognose / realisatie.	-
Vluchtsoort	Geregistreerd per beweging.	O.b.v. prognose / realisatie.	-
Prestatieprofiel	Vaststellen overeenkomstig - voor Schiphol: de regeling Regeling milieu-informatie luchthaven Schiphol [8]; - voor de overige luchthavens: bijlage 1 bij de Regeling burgerluchthavens [6].	Empirische gegevens.	Toekenning van een profiel o.b.v. bijvoorbeeld: - type start / nadering; - voor start: afstandsklasse; - voor naderingen: gebruik full / reduced flaps.

Aspect	Realisatieberekening	Scenarioberekening (SB)	Fall-back methode voor SB
Taxiduur	Geregistreerd per beweging. Fall-back: cf. SB.	Empirische gegevens.	O.b.v. gemiddelde taxisnelheid en afstand taxipad.
Aantal motoren in gebruik bij taxiën	Geregistreerd per beweging. Fall-back: cf. SB.	O.b.v. prognose / realisatie.	Vaste gegevens, met onderscheid naar bijv. 1. maatschappij; 2. luchtvaartuigtype; 3. pax/vracht/overig.
APU-duur	Geregistreerd per beweging. Fall-back: cf. SB.	Empirische gegevens.	
Opwarm-/afkoeltijd motoren op de opstelplaats (en aantal motoren)	Conform SB.	Vaste waarde per groep luchtvaartuigen.	
Taxipad	Geregistreerd per beweging. Fall-back: cf. SB.	Empirische gegevens.	Vaste route(s) tussen opstelplaats / platform en baan en v.v.
Vliegp pad	Geregistreerd per beweging (o.b.v. positiewaarnemingen). Fall-back: cf. SB.	Empirische gegevens.	Modelroute met onderscheid naar (ten minste) baan, vluchtsoort en route, aangevuld met evt. overige relevante kenmerken, afgeleid uit positiewaarnemingen (voorkeur) of AIP.
GPU-type	Geregistreerd per beweging. Fall-back: cf. SB.	Empirische gegevens.	Vaste gegevens, met onderscheid naar: 1. maatschappij; en/of 2. luchtvaartuigtype; en/of 3. pax/vracht/overig.
GPU-duur	Geregistreerd per beweging. Fall-back: cf. SB.	Empirische gegevens.	
Opstelplaats	Geregistreerd per beweging. Fall-back: cf. SB.	Empirische gegevens.	

Hierbij geldt verder dat:

- Afhankelijk van het doel van de berekening, kan (gemotiveerd) een ander detailniveau gekozen of worden afgeweken van de richtlijnen;
- Indien gegevens van luchtvaartuigbewegingen ontbreken, wordt het betreffende onderdeel van de emissies geschaald voor het aantal niet verwerkte vluchten.

Een scenarioberekening is gebaseerd op aannames t.a.v. het gebruik van de luchthaven. Afhankelijk van het doel en de kenmerken van de berekening, kan het nodig zijn om (op onderdelen van de prognose) gevoeligheidsanalyses uit te voeren. Een van de onzekerheden in het gebruik van de luchthaven, betreft het baangebruik als gevolg van de jaarlijkse variaties in het weer. Deze variatie zal een beperkte invloed hebben op de totale emissie, maar heeft een grotere invloed op de ruimtelijke verdeling van de emissies. Met een variatie op het baangebruik (en daarmee op het gebruik van vliegroutes, taxipaden en taxiduur) kan dit effect, indien vereist voor het doel, inzichtelijk worden gemaakt.

5. Prestatieprofielen van luchtvaartuigen en emissiedatabase

Voor de representatie van proxy luchtvaartuigtypes en proxy motortypes in emissieberekeningen zijn vaste gegevens, zoals gepubliceerd door de minister, vastgelegd. Het betreft de volgende gegevens:

- Prestatieprofielen, zie paragraaf 5.1. In de meest actueel gepubliceerde versie van deze gegevens staat vermeld hoe omgegaan dient te worden met de verschillende gepubliceerde versies van deze gegevens;
- Emissiekenmerken en kenmerken van vliegtuigen, zie §5.2.

5.1 Prestatieprofielen

De prestatieprofielen zijn onderdeel van de vaste gegevens voor geluidberekeningen. Voor een aantal proxy luchtvaartuigtypes zijn prestatieprofielen beschikbaar. De prestatieprofielen specificeren het verloop van de vlieghoogte, vliegsnelheid, motorstuwkracht (gespecificeerd naar de 'Power Parameter' in de ANP Database) en optioneel de stuwkrachtsetting en/of vluchtfase als functie van de afgelegde weg langs het grondpad.

De gegevens zijn beschikbaar als bijlage bij:

- voor Schiphol: de Regeling milieu-informatie luchthaven Schiphol ref. [8];
- voor de overige luchthavens: bijlage 1 bij de Regeling burgerluchthavens, ref. [6].

5.2 Emissiedatabase luchtvaart en -havens

De emissiedatabase luchtvaart en -havens, ref. [4], bevat:

- Emissiekenmerken voor proxy motortypes;
- Emissiekenmerken voor Zeer Zorgwekkende Stoffen;
- Een substitutielijst voor motortypes;
- Een vliegtuigtypelijst met kenmerken per vliegtuigtype (incl. helikopters);
- Emissiekenmerken voor proxy APU- en GPU-types;
- Een toelichting, werkwijze en updates bij de database.

De gegevens worden hierna toegelicht.

5.2.1 Emissiekenmerken voor proxy motortypes

De emissiedatabase geeft voor de proxy motortypes kenmerken voor het brandstofverbruik (de hoeveelheid brandstof per seconde) en de emissies van motoren (hoeveelheid emissies per kilogram brandstof). De database geeft de kenmerken voor vier stuwkrachtsettings: idle (7%), approach (APP, 30%), climb out (C/O, 85%) en take-off (T/O, 100%).

In de emissiedatabase is het mogelijk dat emissiekenmerken ontbreken of een waarde van 0 hebben, in dat geval dient uitgegaan te worden van een waarde van 10^{-6} als emissiekenmerk. Dit is algemeen geaccepteerd als een dusdanig kleine waarde dat het de emissieresultaten niet significant zal beïnvloeden [2].

5.2.2 Emissiekenmerken voor Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS)

De emissiekenmerken voor ZZS zijn gegeven als een factor ten opzichte van de VOS-emissies en zijn relevant bij de LTO- en APU-emissies (zie §6.2 en §6.5).

5.2.3 Substitutielijst voor motortype

De substitutielijst voor motortypes geeft het te hanteren proxy motortype (de motortype lookup name) voor geregistreeerde motortypes die niet rechtstreeks voorkomen in de emissiedatase.

5.2.4 Vliegtuigtypelijst

De vliegtuigtypelijst geeft voor een aantal luchtvaartuigtypes (o.b.v. ICAO-codes) een daaraan gekoppeld:

- aantal motoren;
- TIM-code;
- Proxy APU-type.

Indien deze gegevens voor een luchtvaartuigbeweging niet bekend zijn o.b.v. de registratie of prognose, dienen deze gegevens gehanteerd te worden als fall-back.

5.2.5 Emissiekentallen voor APU- en GPU-types

De emissiedatase geeft voor de proxy APU- en GPU-types kentallen voor de emissies van motoren (hoeveelheid emissies per uur APU/GPU-gebruik).

6. Uitvoering berekeningen

Dit hoofdstuk beschrijft de technische berekeningswijze van de luchtvaartemissies. Hierbij wordt eerst de berekening van de totale luchtvaartemissies toegelicht, als optelsom van de emissies als gevolg van de LTO, de APU, de GPU en de banden- en remslijtage. Vervolgens wordt de berekeningswijze voor de afzonderlijke bijdragen beschreven. Hoofdstuk 7 beschrijft vervolgens de ruimtelijke verdeling van deze emissies.

6.1 Berekening van de totale luchtvaartemissies

De rekenmethode heeft betrekking op de emissies die vrijkomen ten gevolge van de Landing & Take-Off (LTO) cyclus van het luchthavenluchtverkeer op een luchthaven. Dit omvat de motoremissies (de LTO-emissies) in verband met het opstarten en warmdraaien van de motoren, het taxiën naar de startbaan, de take-off, de climb out, de landing, het taxiën naar de opstelplaats en het afkoelen van de motoren, alsmede de emissies als gevolg van het gebruik van de APU en GPU en de emissies die vrijkomen als gevolg van banden- en remslijtage bij de landing.

De LTO-emissies worden bepaald t/m een vlieghoogte van 3.000 ft en voor alleen het deel van een luchtvaartuigbeweging dat toegerekend wordt aan het opstijgen van en het naderen naar de luchthaven. Voor naderende vluchten die op of lager beginnen dan een hoogte van 3.000 ft of voor vertrekkende vluchten die niet stijgen voorbij een hoogte van 3.000 ft, geldt als richtlijn dat de emissies van de luchtvaartuigbeweging worden toegerekend aan de LTO-emissies van de luchthaven over een afstand van 15 km (gemeten vanaf de start/touchdown langs het grondpad).

De totale emissies van stof p ten gevolge van de LTO-cyclus van het luchthavenluchtverkeer op een luchthaven per tijdvak wordt als volgt berekend m.b.v. formule 1:

$$E_{\text{totaal},p} = E_{\text{LTO},p} + E_{\text{bandenslijtage},p} + E_{\text{remslijtage},p} + E_{\text{APU},p} + E_{\text{GPU},p} \quad (1)$$

met:

$E_{\text{LTO},p}$	de totale LTO-emissies voor stof p a.g.v. het luchthavenluchtverkeer per tijdvak, uitgedrukt in kg;
$E_{\text{bandenslijtage},p}$	de totale emissies voor stof p a.g.v. bandenslijtage bij landingen van het luchthavenluchtverkeer per tijdvak, uitgedrukt in kg;
$E_{\text{remslijtage},p}$	de totale emissies voor stof p a.g.v. remslijtage bij landingen van het luchthavenluchtverkeer per tijdvak, uitgedrukt in kg;
$E_{\text{APU},p}$	de totale emissies voor stof p a.g.v. APU-gebruik door het luchthavenluchtverkeer per tijdvak, uitgedrukt in kg;
$E_{\text{GPU},p}$	de totale emissies voor stof p a.g.v. GPU-gebruik voor de afhandeling van het luchthavenluchtverkeer per tijdvak, uitgedrukt in kg.

Een circuitvlucht binnen het luchthavenluchtverkeer wordt opgesplitst in één start en één landing, zie §4.2.5). Wanneer een circuitvlucht bestaat uit een aaneengesloten reeks van starts en landingen:

- dienen de emissies ten gevolge van het opwarmen/afkoelen van de motor(en), het taxiën tussen opstelplaats en start-/landingsbaan / helikopterlandingsplaats en het APU-gebruik berekend te worden voor één afzonderlijke start en één afzonderlijke landing;
- dienen de emissies ten gevolge van landingen berekend te worden tot het punt waar de volgende start initieert. Dit betekent dat het prestatieprofiel van de desbetreffende landing vroegtijdig wordt afgekap. De emissies a.g.v. de laatste landing in deze reeks dienen wel berekend te worden volgens de methode voor een reguliere landing.

De volgende paragrafen geven de berekeningswijze voor de afzonderlijke bijdragen aan de totale emissies.

6.2 LTO-emissies

De LTO-emissies, $E_{LTO,p}$, voor een stof p worden berekend per afzonderlijke luchtvaartuigbeweging i , alvorens deze opgeteld worden volgens formule 2. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de fases binnen de LTO (warmdraaien, taxiën, start, landen, taxiën en afkoelen). Per luchtvaartuigbeweging zijn bijbehorende gegevens beschikbaar, waaronder de vluchtsoort k , het type verkeer j en de combinatie proxy luchtvaartuigtype / proxy motortype q o.b.v. hoofdstuk 4.

Het is mogelijk dat de emissies voor een afzonderlijke luchtvaartuigbeweging niet berekend kunnen worden, bijvoorbeeld doordat invoergegevens niet beschikbaar zijn. Hiervoor worden de totale LTO-emissies gecorrigeerd middels opschaling van de emissies van de berekende emissies voor de niet verwerkte vluchten.

$$E_{LTO,p} = f_{LTO} \cdot \left(\sum_{j,k} f_{LTO,j,k} \cdot \left\{ \sum_i E_{warmdraaien/afkoelen,p,i} + E_{taxi,p,i} + E_{start,p,i} + E_{landing,p,i} \right\} \right) \quad (2)$$

met:

$E_{warmdraaien/afkoelen,p,i}$	De emissies van stof p , uitgedrukt in kg, ten gevolge van het warmdraaien (in het geval van een start) of afkoelen (in het geval van een landing) van de motor(en) voor luchtvaartuigbeweging i ;
$E_{taxi,p,i}$	De emissies van stof p , uitgedrukt in kg, ten gevolge van het taxiën door luchtvaartuigbeweging i - voor starts: van de opstelplaats naar het startpunt van de start; - voor landingen: van de landing naar de opstelplaats;
$E_{start,p,i}$	De emissies van stof p ten gevolge van een luchtvaartuigbeweging i die een start maakt, uitgedrukt in kg;
$E_{landing,p,i}$	De emissies van stof p ten gevolge van een luchtvaartuigbeweging i die een landing maakt, uitgedrukt in kg;
$f_{LTO,j,k}$	Correctiefactor voor de verwerking van de niet-verwerkte vluchten binnen de groepering type verkeer j (groot, klein of helikopter) en vluchtsoort k (start of landing);

f_{LTO} De algehele correctiefactor voor de verwerking van de vluchten waarvoor de emissies niet berekend kunnen worden, niet zijnde de vluchten waarvoor met factor $f_{LTO,j,k}$ wordt gecorrigeerd;

Formule 2 corrigeert de berekende emissies voor de niet-verwerkte vluchten. Een luchtvaartuigbeweging met een luchtvaartuig kan bijvoorbeeld niet worden verwerkt indien het proxy luchtvaartuigtype niet kan worden vastgesteld of indien geen proxy motortype gekoppeld kan worden. De correctiefactor $f_{LTO,j,k}$ wordt m.b.v. formule 3 bepaald per type verkeer j (groot, klein of helikopter) en vluchtsoort k (start of landing) bepaald op basis van de verhouding tussen het aantal luchtvaartuigbewegingen en het aantal verwerkte luchtvaartuigbewegingen:

$$f_{LTO,j,k} = \frac{N_{LTO,j,k}}{N_{LTO,v,j,k}}, \text{ als } N_{LTO,v,j,k} \neq 0 \quad (3)$$

met:

$N_{LTO,j,k}$ Het totaal aantal luchtvaartuigbewegingen binnen groepering type verkeer j en vluchtsoort k ;

$N_{LTO,v,j,k}$ Het totaal aantal luchtvaartuigbewegingen binnen groepering type verkeer j en vluchtsoort k waarvoor de emissies berekend kunnen worden.

Indien voor geen enkele luchtvaartuigbeweging binnen een groepering type verkeer j (groot, klein of helikopter) en vluchtsoort k (start of landing) de emissies berekend kunnen worden, of als gegevens over het type verkeer of vluchtsoort ontbreken, dan wordt voor deze luchtvaartuigbewegingen gecorrigeerd middels de algemene correctiefactor f_{LTO} , zie formule 4:

$$f_{LTO} = 1 + \frac{\sum_{j,k} N_{LTO,nv,j,k}}{N_{LTO,v}}, \text{ als } N_{LTO,v} \neq 0 \quad (4)$$

met:

$N_{LTO,nv,j,k}$ Het totaal aantal luchtvaartuigbewegingen binnen groepering type verkeer j (groot, klein of helikopter) en vluchtsoort k (start of landing) waarvoor geen emissies berekend kunnen worden en waarvoor niet gecorrigeerd kan worden middels $f_{LTO,j,k}$ (zie formule 3);

$N_{LTO,v}$ Het totaal aantal luchtvaartuigbewegingen (over alle groeperingen j en k) waarvoor emissies berekend kunnen.

De berekende emissies ten gevolge van de LTO-cyclus zijn afhankelijk van de TIM-tijden, de stuwkrachtsetting met bijbehorend brandstofverbruik en de daaruit resulterende emissiekentallen, behorend bij de verschillende LTO-fasen. Dit wordt in het vervolg in detail toegelicht.

6.2.1 Opwarmen/afkoelen van de motoren

Voor het vertrek van of na aankomst op een luchthaven worden de motoren respectievelijk opgewarmd of afgekoeld. Tijdens deze fase worden stoffen uitgestoten door de motoren. Voor luchtvaartuigbeweging i met vluchtsoort k (start of landing) worden de emissies voor stof p berekend m.b.v. formule 5:

$$E_{warmdraaien/afkoelen,p,i} = TIM_{i,k} \cdot W_{ff,idle,i} \cdot EI_{idle,p,i} \cdot N_{motoren,i,k} \quad (5)$$

met:

$TIM_{i,k}$	De totale opwarm-/afkoeltijd van de motor(en) voor luchtvaartuigbeweging i voorafgaand aan respectievelijk een start of na afloop van een landing, uitgedrukt in seconden;
$W_{ff,idle,i}$	Het gecorrigeerde brandstofverbruik voor 'idle' voor luchtvaartuigbeweging i , berekend volgens de methode in §6.2.7, uitgedrukt in kg/s;
$EI_{idle,p,i}$	Het emissiekental van stof p voor 'idle' voor luchtvaartuigbeweging i , berekend volgens de methode in §6.2.8, uitgedrukt in kg/kg brandstof;
$N_{motoren,i,k}$	Het aantal motoren die op de opstelplaats warmdraaien/afkoelen voor luchtvaartuigbeweging i .

6.2.2 Taxiën

Gedurende het taxiën van de opstelplaats naar de start en van de landing naar de opstelplaats worden stoffen uitgestoten door de motoren. Voor luchtvaartuigbeweging i , hetzij een start of een landing, worden deze emissies voor stof p van de LTO-cyclus berekend m.b.v. formule 6:

$$E_{taxi,p,i} = TIM_{taxi,i} \cdot W_{ff,taxi,i} \cdot EI_{taxi,p,i} \cdot N_{motoren,taxi,i} \quad (6)$$

met:

$TIM_{taxi,i}$	De totale taxiduur voor luchtvaartuigbeweging i : • voor starts: van de opstelplaats naar het startpunt van de start; • voor landingen: van de landing naar de opstelplaats;
$W_{ff,taxi,i}$	Het gecorrigeerde brandstofverbruik voor taxiën voor luchtvaartuigbeweging i bij de stuwkrachtsetting bepaald in §6.2.6 en berekend volgens de methode in §6.2.7, uitgedrukt in kg/s;
$EI_{taxi,p,i}$	Het emissiekental van stof p voor taxiën voor luchtvaartuigbeweging i , berekend volgens de methode in §6.2.86.2.7), uitgedrukt in kg/kg brandstof;
$N_{motoren,taxi,i}$	Het aantal motoren dat wordt gebruikt tijdens taxiën voor luchtvaartuigbeweging i .

6.2.3 Starten

Voor de start- en klimfase worden de emissies berekend over de verschillende segmenten r in het prestatieprofiel bij een luchtvaartuigbeweging i .

De emissies worden berekend over de segmenten r vanaf het begin van de startrol t/m een hoogte van 3.000 ft of (voor vertrekkende vluchten die niet stijgen voorbij een hoogte van 3.000 ft) het deel van de vlucht dat toegerekend kan worden aan het starten vanaf en het opstijgen van de luchthaven. Indien het prestatieprofiel niet beschikt over een segment dat start of eindigt op een hoogte van 3.000 ft, wordt van het segment dat lager dan 3.000 ft start en eindigt boven de 3.000 ft enkel het deel t/m 3.000 ft beschouwd.

Formule 7 wordt gebruikt voor het berekenen van de emissies van stof p als gevolg van het starten voor luchtvaartuigbeweging i als de beweging een start betreft:

$$E_{start,p,i} = \sum_r TIM_{i,r} \cdot W_{ff,i,r}(T_{i,r}) \cdot EI_{i,p,r}(W_{ff,i,r}, T_{i,r}) \cdot N_{motoren,i} \quad (7)$$

met:

$TIM_{i,r}$	De totale tijdsduur dat luchtvaartbeweging i zich bevindt op segment r in het prestatieprofiel, uitgedrukt in seconden;
$W_{ff,i,r}(T_{i,r})$	Het gecorrigeerde brandstofverbruik op segment r in het prestatieprofiel, welke wordt berekend volgens de methode in §6.2.7 voor de stuwkrachtsetting $T_{i,r}$ op segment r , bepaald volgens de methode in §6.2.6 en wordt uitgedrukt in kg/s;
$EI_{i,p,r}(W_{ff,i,r}, T_{i,r})$	Het emissiekental van stof p voor segment r in het prestatieprofiel van luchtvaartuigbeweging i welke wordt bepaald voor de voor segment r bepaalde stuwkrachtsetting $T_{i,r}$ en/of het gecorrigeerde brandstofverbruik $W_{ff,i,r}$. Dit emissiekental wordt berekend volgens de methode in §6.2.8 en wordt uitgedrukt in kg/kg brandstof;
$N_{motoren,i}$	Het aantal motoren voor luchtvaartbeweging i .

6.2.4 Landen

Voor landingen worden de emissies berekend over de verschillende segmenten r in het prestatieprofiel bij een luchtvaartuigbeweging i .

De emissies worden berekend over de segmenten r in het prestatieprofiel vanaf een hoogte van 3.000 ft of (voor naderende vluchten die op of lager beginnen dan een hoogte van 3.000 ft) het deel van de vlucht dat toegerekend kan worden aan het naderen tot en het landen op de luchthaven, tot het einde van de landingsrol (het laatste punt in het prestatieprofiel). Indien het prestatieprofiel niet beschikt over een segment dat start of eindigt op een hoogte van 3.000 ft, wordt van het segment dat hoger dan 3.000 ft start en eindigt onder de 3.000 ft enkel het deel vanaf 3.000 ft beschouwd.

Formule 8 wordt gebruikt voor het berekenen van de emissies van stof p als gevolg van een landing voor vliegtuigbeweging i als de beweging een landing betreft.

$$E_{landing,p,i} = \sum_r TIM_{i,r} \cdot W_{ff,i,r}(T_{i,r}) \cdot EI_{i,p,r}(W_{ff,i,r}, T_{i,r}) \cdot N_{motoren,i} \quad (8)$$

met:

$TIM_{i,r}$	De totale tijdsduur dat luchtvaartbeweging i zich bevindt op segment r in het prestatieprofiel, uitgedrukt in seconden;
$W_{ff,i,r}(T_{i,r})$	Het gecorrigeerde brandstofverbruik op segment r in het prestatieprofiel, welke wordt berekend volgens de methode in §6.2.7 voor een stuwkrachtsetting $T_{i,r}$, bepaald volgens de methode in §6.2.6 en wordt uitgedrukt in kg/s;
$El_{i,p,r}(W_{ff,i,r}, T_{i,r})$	Het emissiekental van stof p voor segment r in het prestatieprofiel van luchtvaartuigbeweging i welke wordt bepaald voor de voor segment r bepaalde stuwkrachtsetting $T_{i,r}$ en/of het gecorrigeerde brandstofverbruik $W_{ff,i,r}$. Dit emissiekental wordt berekend volgens de methode in §6.2.8 en wordt uitgedrukt in kg/kg brandstof;
$N_{motoren,i}$	Het aantal motoren voor luchtvaartbeweging i .

6.2.5 TIM-tijden voor starts en landingen

De tijdsduur voor luchtvaartuigbeweging i voor ieder segment r in het prestatieprofiel, $TIM_{i,r}$, wordt bepaald op basis van een gemiddelde grondsnelheid tussen het begin- en eindpunt van segment r in het prestatieprofiel en de afgelegde weg tussen deze twee opeenvolgende punten, op basis van de volgende formule:

$$TIM_{i,r} = \frac{(S_1 - S_0)_{i,r}}{\frac{1}{2} \cdot (V_1 + V_0)_{i,r}} \quad (9)$$

met:

S	De totaal afgelegde afstand in het prestatieprofiel voor luchtvaartuigbeweging i , waarbij S_0 en S_1 de totaal afgelegde afstand op het begin- en eindpunt van segment r weergeven;
V	De grondsnelheid in het prestatieprofiel voor luchtvaartuigbeweging i , waarbij V_0 en V_1 de grondsnelheid op het begin- en eindpunt van segment r weergeven.

6.2.6 Stuwkrachtsetting

De stuwkrachtsetting geeft het percentage stuwkracht weer ten opzichte van de maximale 'rated' stuwkracht van de motor(en). De stuwkrachtsetting ($T_{i,r}$) wordt bij ieder segment r bepaald in de volgorde van onderstaande stappen:

1. Voor taxiën wordt:
 - a. Voor helikopters een stuwkrachtsetting $T_{i,r}$ van 85% gehanteerd;
 - b. Voor vliegtuigen een stuwkrachtsetting $T_{i,r}$ van 7% gehanteerd;
2. Indien het prestatieprofiel behorend bij luchtvaartuigbeweging i voor het start- en eindpunt per segment de stuwkrachtsetting (T_0 en T_1) definieert, dan worden deze gehanteerd om $T_{i,r}$ te berekenen met formule 10;
3. Indien op basis van punten 1 en 2 geen stuwkrachtsetting is bepaald, dan wordt:
 - a. voor helikopters een stuwkrachtsetting $T_{i,r}$ van 85% gehanteerd;
 - b. voor vliegtuigen:

- i. voor een landing een stuwkrachtsetting $T_{i,r}$ van 30% gehanteerd;
 - ii. voor een start wordt $T_{i,r}$ bepaald met formule 10 met de op basis van Annex A 2 berekende waarde(n) voor T_0 en/of T_1 .
4. Als ook op basis van punt 3 geen stuwkrachtsetting kan worden bepaald, dan wordt indien het prestatieprofiel behorend bij luchtvaartuigbeweging i voor het start- en eindpunt per segment de vluchtfase (idle, approach, climb out, take-off) beschrijft (zie §5.1) de bijbehorende standaard stuwkrachtsetting gehanteerd, zoals ook gedefinieerd in [1] (zie §5.2), om $T_{i,r}$ te berekenen met formule 10;
5. Indien op basis van punten 1 t/m 4 geen stuwkrachtsetting kan worden bepaald, dan wordt de stuwkrachtsetting (voor starts) $T_{i,r}$ berekend met formule 10 en op basis van de volgende uitgangspunten voor T_0 en T_1 :
- a. een stuwkrachtsetting $T_{i,r}$ van 100% voor het begin van de start tot een hoogte van 1.000ft binnen het prestatieprofiel;
 - b. een stuwkrachtsetting $T_{i,r}$ van 85% vanaf 1000ft t/m een hoogte van 3.000ft binnen het prestatieprofiel.

$$T_{i,r} = \frac{1}{2} * (T_1 - T_0)_{i,r} \quad (10)$$

met:

$T_{i,r}$	De gemiddelde stuwkrachtsetting in het prestatieprofiel op segment r voor luchtvaartuigbeweging i , uitgedrukt in %;
T_0	De stuwkrachtsetting op het begin van segment r voor luchtvaartuigbeweging i , uitgedrukt in %;
T_1	De stuwkrachtsetting op het eind van segment r voor luchtvaartuigbeweging i , uitgedrukt in %.

6.2.7 Gecorrigeerd brandstofverbruik

Het gecorrigeerde brandstofverbruik ($W_{ff,i,r}$), benodigd in §6.2.1 t/m §6.2.4 voor luchtvaartuigbeweging i op segment r gedurende de vlucht, dient berekend te worden conform de *Advanced Approach* beschreven in ICAO Doc 9889 en o.b.v. de in §6.2.6 gevonden stuwkrachtsetting $T_{i,r}$. Deze aanpak maakt gebruik van de *twin-quadratic* methode, waarbij twee kwadratische vergelijkingen worden opgesteld. Dit gebeurt op basis van gegevens uit de emissiedatabase luchtvaart en -havens, die het verband tussen de stuwkrachtsetting $T_{i,r}$ en het ongecorrigeerde brandstofverbruik FF weergeven per proxy motortype. De toepassing van de twee vastgestelde kwadratische vergelijkingen, om het brandstofverbruik te bepalen, is afhankelijk van de stuwkrachtsetting en staat beschreven in Annex A 3. Tevens is $W_{ff,i,r}$ gecorrigeerd voor relevante vluchtcondities op segment r .

6.2.8 Emissiekentallen

Het emissiekental $EI_{i,p,r}$, wordt bepaald op basis van de hieronder per stof p beschreven methodiek. Daarbij wordt het emissiekental bepaald voor de in §6.2.6 vastgestelde stuwkrachtsetting en het in §6.2.7 vastgestelde gecorrigeerde brandstofverbruik, voor het proxy motortype behorend bij luchtvaartuigbeweging i :

1. Voor de stof SO_x wordt per segment r uitgegaan van een constant emissiekental. De waarde van deze constante is voor het proxy motortype opgenomen in de Emissiedatabase luchtvaart en -havens (zie §5.2).
2. Voor de stoffen PM₁₀ en PM_{2.5} wordt voor ieder segment r en afhankelijk van de stuwkrachtsetting behorende bij het in §6.2.7 vastgestelde gecorrigeerde brandstofverbruik de maximale waarde voor het emissiekental gehanteerd o.b.v. de emissiekentallen voor het proxy motortype in de emissiedatabase luchtvaart en -havens (zie §5.2) behorende bij de twee naastgelegen stuwkrachtsettings conform de volgende formule (enkel uitgewerkt voor PM₁₀):

$$EI_{i,PM10,r}(T_r) = \begin{cases} \max(EI_{i,PM10,r}(7\%), EI_{i,PM10,r}(30\%)), & \text{voor } 7\% \leq T_{i,r} < 30\% \\ \max(EI_{i,PM10,r}(30\%), EI_{i,PM10,r}(85\%)), & \text{voor } 30\% \leq T_{i,r} < 85\% \\ \max(EI_{i,PM10,r}(85\%), EI_{i,PM10,r}(100\%)), & \text{voor } T_{i,r} \geq 85\% \end{cases} \quad (11)$$

In het geval dat de twee naastgelegen stuwkrachtsettings allebei geen data bevatten voor het emissiekental, danwel een waarde van 10^{-6} zijn, dan wordt uitgegaan van het maximale PM₁₀ emissiekental van alle 4 de stuwkrachtsettings.

Voor PM_{2.5} wordt formule 11 aangepast door uit te gaan van de emissiekentallen voor PM_{2.5} i.p.v. die van PM₁₀, zoals deze zijn opgenomen in de emissiedatabase luchtvaart en -havens.

3. Voor de stoffen HC, CO, NO_x en VOS dient het emissiekental $EI_{i,p,r}$ bepaald te worden conform de Boeing Fuel Flow Method 2 (BFFM2, [9]) door gebruik te maken van de gevonden waarden voor $T_{i,r}$ (zie §6.2.6) en $W_{ff,i,r}$ (zie §6.2.7). Het emissiekental wordt bepaald door middel van interpolatie tussen het gecorrigeerde brandstofverbruik (op logaritmische schaal op de horizontale-as) en de emissiekentallen (op logaritmische schaal op de verticale-as) voor het proxy motortype uit de emissiedatabase luchtvaart en -havens. Hierbij worden atmosferische correcties toegepast. De methode hiervoor staat beschreven in Annex A 4.
4. De emissiekentallen voor ZZS worden bepaald middels een vermenigvuldiging van het berekend emissiekental voor VOS en de in §5.2.2 beschreven vermenigvuldigingsfactor.

6.3 Emissies a.g.v. bandenslijtage

De totale emissies a.g.v. bandenslijtage voor luchtvaartuigbewegingen i , waarvoor geldt dat het een landing betreft met een vliegtuig, worden berekend o.b.v. formule 12. Er komt enkel PM₁₀ en PM_{2.5} vrij a.g.v. de bandenslijtage.

$$E_{bandenslijtage,p} = f_{c,bandenslijtage} \cdot \left(\sum_i E_{bandenslijtage,p,i} \right) \quad (12)$$

met:

$E_{bandenslijtage,p,i}$ De emissie van stof $p \in \{PM_{10}, PM_{2.5}\}$ voor luchtvaartuigbeweging i als gevolg van bandenslijtage voor zover de beweging een landing betreft met een vliegtuig, uitgedrukt in kg;

$f_{c,bandenslijtage}$ De correctiefactor voor de verwerking van de niet-verwerkte (relevante) bewegingen d.w.z. de landingen met een vliegtuig waarvoor de emissies a.g.v. bandenslijtage niet berekend kunnen worden, berekend m.b.v. formule 13.

$$f_{c,bandenslijtage} = \frac{N_{bandenslijtage}}{N_{bandenslijtage,v}}, \text{ als } N_{bandenslijtage,v} \neq 0 \quad (13)$$

met:

$N_{bandenslijtage}$ Het totaal aantal landingen met een vliegtuig waarvoor de emissies a.g.v. bandenslijtage relevant zijn;

$N_{bandenslijtage,v}$ Het totaal aantal landingen met een vliegtuig waarvoor de emissies a.g.v. bandenslijtage relevant zijn en berekend kunnen worden.

De emissies als gevolg van bandenslijtage voor luchtvaartuigbeweging i (voor zover het een landing met een vliegtuig betreft) worden bepaald middels formules 14 en 15 [10]. Wanneer luchtvaartuigbeweging i een landing betreft van een reeks circuitvluchten (zie §6.1), dan dienen de emissies a.g.v. bandenslijtage enkel voor de laatste landing van de reeks circuitvluchten berekend te worden.

$$E_{bandenslijtage,PM10,i} = \frac{1}{10} \cdot \left(\frac{2,23}{10^6} \cdot MTOW_i - 0,0874 \right) \quad (14)$$

met:

$E_{bandenslijtage,PM10,i}$ De totale emissie PM10 voor luchtvaartuigbeweging i a.g.v. slijtage van de banden, uitgedrukt in kg;

$MTOW_i$ Het MTOW van het luchtvaartuig voor luchtvaartuigbeweging i , uitgedrukt in kg.

$$E_{bandenslijtage,PM2.5,i} = \frac{1}{50} \cdot \left(\frac{2,23}{10^6} \cdot MTOW_i - 0,0874 \right) \quad (15)$$

met:

$E_{bandenslijtage,PM2.5,i}$ De totale emissie PM2.5 gedurende luchtvaartuigbeweging i a.g.v. slijtage van de banden bedraagt 20% van de totale emissie PM10 gedurende landing i (zie formule 14), uitgedrukt in kg;

$MTOW_i$ Het MTOW van het luchtvaartuig voor luchtvaartuigbeweging i , uitgedrukt in kg.

6.4 Emissies a.g.v. remslijtage

De totale emissies a.g.v. remslijtage voor luchtvaartuigbewegingen i , waarvoor geldt dat het een landing betreft met een vliegtuig, worden berekend o.b.v. formule 16. Er komt enkel PM10 vrij a.g.v. de remslijtage.

$$E_{remslijtage,p} = f_{c,remslijtage} \cdot \left(\sum_i E_{remslijtage,p,i} \right) \quad (16)$$

met:

- $E_{\text{remslijtage},p,i}$ De emissie van stof $p \in \{\text{PM}_{10}\}$ voor luchtvaartuigbeweging i als gevolg van remslijtage voor zover de beweging een landing betreft met een vliegtuig, uitgedrukt in kg;
- $f_{c,\text{remslijtage}}$ De correctiefactor voor de verwerking van de niet-verwerkte (relevante) bewegingen d.w.z. de landingen met een vliegtuig waarvoor de emissies a.g.v. remslijtage niet berekend kunnen worden, berekend m.b.v. formule 17.

$$f_{c,\text{remslijtage}} = \frac{N_{\text{remslijtage}}}{N_{\text{remslijtage},v}}, \text{ als } N_{\text{remslijtage},v} \neq 0 \quad (17)$$

met:

- $N_{\text{remslijtage}}$ Het totaal aantal landingen met een vliegtuig waarvoor de emissies a.g.v. remslijtage relevant zijn;
- $N_{\text{remslijtage},v}$ Het totaal aantal landingen met een vliegtuig waarvoor de emissies a.g.v. remslijtage relevant zijn en berekend kunnen worden.

De emissies als gevolg van remslijtage voor luchtvaartuigbeweging i (voor zover het een landing met een vliegtuig betreft) worden bepaald middels formule 18 [10]. Wanneer luchtvaartuigbeweging i een landing betreft van een reeks circuitvluchten (zie §6.1), dan dienen de emissies a.g.v. remslijtage enkel voor de laatste landing van de reeks circuitvluchten berekend te worden.

$$E_{i,\text{PM}_{10},q,\text{remslijtage}} = \frac{2,53}{10^7} * MTOW_{i,q} \quad (18)$$

met:

- $E_{i,\text{PM}_{10},q,\text{remslijtage}}$ De emissie PM10 voor luchtvaartuigbeweging i a.g.v. slijtage van de remmen, uitgedrukt in kg;
- $MTOW_{i,q}$ Het MTOW van het luchtvaartuig voor luchtvaartuigbeweging i , uitgedrukt in kg.

6.5 APU-emissies

De emissie van stof p ten gevolge van het APU-gebruik op de opstelplaats wordt berekend met de volgende formule:

$$E_{APU,p} = f_{c,APU} \cdot (\sum_i E_{APU,p,i}) \quad (19)$$

met:

- $E_{APU,p,i}$ De emissie van stof p a.g.v. APU-gebruik bij luchtvaartuigbeweging i , uitgedrukt in kg;

$f_{c,APU}$ De correctiefactor voor de verwerking van de niet-verwerkte bewegingen, d.w.z. de bewegingen waarvoor de emissies a.g.v. APU-gebruik niet berekend kunnen worden, berekend m.b.v. formule 20.

$$f_{c,APU} = \frac{N_{APU}}{N_{APU,v}}, \text{ als } N_{APU,v} \neq 0 \quad (20)$$

met:

N_{APU} Het totaal aantal luchtvaartuigbewegingen waarvoor emissies a.g.v. APU-gebruik relevant zijn;

$N_{APU,v}$ Het totaal aantal luchtvaartuigbewegingen waarvoor emissies a.g.v. APU-gebruik relevant zijn en berekend kunnen worden.

De emissies voor het APU-gebruik bij een luchtvaartuigbeweging i worden bepaald middels formule 21 [10].

$$E_{APU,p,i} = TIM_{APU,i} \cdot \frac{EI_{APU,i,p}}{3600} \quad (21)$$

met:

$TIM_{APU,i}$ De totale tijd dat een proxy APU-type in gebruik is voor luchtvaartuigbeweging i , uitgedrukt in seconden;

$EI_{APU,i,p}$ Het emissiekental van stof p voor het proxy APU-type (zie §5.2) gebruikt bij luchtvaartuigbeweging i , uitgedrukt in kg/uur.

De emissiekentallen voor ZZS worden bepaald middels een vermenigvuldiging van het berekend emissiekental voor VOS en de in §5.2.2 beschreven vermenigvuldigingsfactor.

6.6 GPU-emissies

De emissie van stof p ten gevolge van het GPU-gebruik op de opstelplaats wordt berekend met de volgende formule:

$$E_{GPU,p} = f_{c,GPU} \cdot (\sum_i E_{GPU,p,i}) \quad (22)$$

met:

$E_{GPU,p,i}$ De emissie van stof p a.g.v. GPU-gebruik bij luchtvaartuigbeweging i , uitgedrukt in kg;

$f_{c,GPU}$ De correctiefactor voor de verwerking van de niet-verwerkte bewegingen, d.w.z. de bewegingen waarvoor de emissies a.g.v. GPU-gebruik niet berekend kunnen, berekend m.b.v. formule 23.

$$f_{c,GPU} = \frac{N_{GPU}}{N_{GPU,v}}, \text{ als } N_{GPU,v} \neq 0 \quad (23)$$

met:

N_{GPU}	Het totaal aantal luchtvaartuigbewegingen waarvoor emissies a.g.v. GPU-gebruik relevant zijn;
$N_{GPU,v}$	Het totaal aantal luchtvaartuigbewegingen waarvoor emissies a.g.v. GPU-gebruik relevant zijn en berekend kunnen worden.

De emissies voor het GPU-gebruik bij een luchtvaartuigbeweging i worden bepaald middels formule 24 [10].

$$E_{GPU,p,i} = TIM_{GPU,i} \cdot \frac{EI_{GPU,i,p}}{3600} \quad (24)$$

met:

$TIM_{GPU,i}$	De totale tijd dat een proxy GPU-type in gebruik is voor luchtvaartuigbeweging i , uitgedrukt in seconden;
$EI_{GPU,i,p}$	Het emissiekental van stof p voor het proxy GPU-type (zie §5.2) gebruikt bij luchtvaartuigbeweging i , uitgedrukt in kg/uur.

7. Bepaling van de ruimtelijke verdeling van de emissies

Dit hoofdstuk beschrijft de uitsplitsing van de emissies, zoals berekend in hoofdstuk 6, naar locatie (x, y en z) en tijd. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar de LTO-emissies (incl. taxiën), zie paragraaf 7.1 en de overige emissies, zie paragraaf 7.2. Om het aantal emissiebronnen te beperken, kunnen emissiebronnen worden samengevoegd, zie paragraaf 7.3.

7.1 LTO-emissies

Voor de uitsplitsing van de LTO-emissies worden per luchtvaartuigbeweging de vliegbaan (op basis van het grondpad en het prestatieprofiel van starts en landingen) en het taxipad opgedeeld in deelsegmenten. Het totaal aan emissies berekend voor starts, landingen en taxiën wordt vervolgens toegewezen aan specifieke geografische locaties (in Rijksdriehoekscoördinaten (x,y) en een hoogte (z) ten opzichte van het ARP van de luchthaven) en tijdstippen, hierna de emissiebronnen genoemd.

Voor het plaatsen van de emissiebronnen gelden de volgende uitgangspunten:

- Voor starts en landingen worden emissiebronnen geplaatst op basis van de segmenten r waar de emissies voor zijn berekend volgens de methode in hoofdstuk 6. Daarbij wordt per segment r :
 1. het segment opgedeeld in N gelijke deelsegmenten met een maximale lengte van 50 m;
 2. een emissiebron geplaatst op:
 - a. het begin- en eindpunt van het segment, en;
 - b. halverwege ieder deelsegment;
 3. de berekende emissies voor het segment, E_r , verdeeld over het $N+1$ aantal emissiebronnen:

$$E_{r,emissiebron} = \begin{cases} \frac{E_r}{N+1}, & \text{als de emissiebron halverwege een deelsegment ligt} \\ 0,5 \cdot \frac{E_r}{N+1}, & \text{als de emissiebron op het beginpunt of eindpunt van het segment ligt} \end{cases}$$
 4. de locatie (x, y, z) van de emissiebronnen afgeleid uit het grondpad in combinatie met het prestatieprofiel bij de luchtvaartuigbeweging. Daarbij geldt dat als de hoogte (z) minder is dan 5 meter boven ARP, dat wordt uitgegaan van een hoogte (z) van 5 m.
- Voor taxiën worden emissiebronnen geplaatst op basis van het taxipad. Per luchtvaartuigbeweging wordt:
 1. het taxipad opgedeeld in N gelijke deelsegmenten met een maximale lengte van 50 m;
 2. een emissiebron geplaatst op:
 - a. het begin- en eindpunt van het taxipad, en;
 - b. halverwege ieder deelsegment;
 3. de berekende emissies voor het taxipad, $E_{taxipad}$, verdeeld over het $N+1$ aantal emissiebronnen:

$$E_{r,emissiebron} = \begin{cases} \frac{E_r}{N+1}, & \text{als de emissiebron halverwege een deelsegment ligt} \\ 0,5 \cdot \frac{E_r}{N+1}, & \text{als de emissiebron op beginpunt of eindpunt van het taxipad ligt} \end{cases}$$
 4. de locatie (x, y, z) van de emissiebronnen afgeleid uit het taxipad bij de luchtvaartuigbeweging. Voor taxiën wordt uitgegaan van een hoogte (z) van 5 m.
- Het tijdstip van de emissies in de emissiebronnen wordt afgeleid o.b.v. het tijdstip van de vlucht en:
 1. Voor starts en landingen: het prestatieprofiel en de afstand langs het grondpad;
 2. Voor taxiën: de afstand langs het taxipad en een gemiddelde taxisnelheid op basis van de lengte van het taxipad en de taxiduur

7.2 Overige emissies

De emissies a.g.v. het APU- en GPU-gebruik, het opwarmen en afkoelen van de motoren worden geplaatst op de opstelplaats. Het tijdstip van de emissies wordt afgeleid uit de taxiduur en het tijdstip van de vlucht.

De emissies a.g.v. banden- en remslijtage worden geplaatst op de touchdown locatie van de landing, wat afgeleid wordt uit het prestatieprofiel en het grondpad bij de luchtvaartuigbeweging. Het tijdstip van de emissies is gelijk aan het tijdstip van de vlucht.

7.3 Samenvoegen van emissiebronnen

Emissiebronnen die o.b.v. de locatie (x, y en z) dicht bij elkaar liggen, kunnen worden samengevoegd om het aantal emissiebronnen te verkleinen. Het samenvoegen van emissiebronnen wordt gedaan op basis van gridcellen. Emissiebronnen binnen eenzelfde gridcel kunnen worden samengevoegd. De afmeting van de gridcellen is als volgt:

- t/m een hoogte van 10 meter: 50 x 50 meter, met een hoogte van 10 meter;
- van 10 t/m 75 meter: 50 x 50 meter, met een hoogte van 65 meter;
- van 75 t/m 150 meter: 75x75 meter, met een hoogte van 75 meter;
- van 150 t/m 300 meter: 150x150 meter, met een hoogte van 150 meter;
- van 300 t/m 600 meter: 300x300 meter, met een hoogte van 300 meter;
- van 600 t/m 900 meter: 500x500 meter, met een hoogte van 300 meter;
- van 900 meter t/m 3.000 ft: 500x500 meter, met een hoogte van 28,8 meter.

Voor iedere gridcel, zoals weergegeven hierboven, worden de emissies van de emissiebronnen die vallen binnen de gridcel opgeteld en toegekend aan het geografisch middelpunt (x,y,z) van de gridcel.

Als het aantal emissiebronnen verder dient te worden gereduceerd, dan kan het rekenraster aangepast worden door de maaswijdte van de gridcellen stapsgewijs te verdubbelen. Dit kan stapsgewijs geïmplementeerd worden vanaf de bandbreedte van 900 meter t/m 3.000 ft. Het verminderen van het aantal rekenpunten heeft een negatieve invloed op de nauwkeurigheid van de berekening.

Referenties

- [1] International Civil Aviation Organization, „Doc 9889,” ICAO, Montréal, 2020.
- [2] SAE International, „Fuel Flow Method2 for estimating aircraft emissions,” *SAE Technical paper series*, 2006.
- [3] M. Schaefer en S. Bartosch, „Overview on fuel flow correlation methods for the calculation of NO_x, CO and HC emissions and their implementation into aircraft performance software,” *IB-325-11-13*, 2013.
- [4] IPLO, „Emissiedatabase luchtvaart,” 2023. [Online]. Available: <https://iplo.nl/thema/lucht/vaststellen-luchtkwaliteit/hulpmiddelen/emissiedatabase-luchtvaart/>.
- [5] To70, „Voorschrift voor de geluidmodellering van Lden-geluidbelasting voor overige burgerluchthavens. Bijlage bij Regeling burgerluchthavens,” 2023.
- [6] Overheid, „Regeling burgerluchthavens Bijlage 1,” 2024. [Online]. Available: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0026564/2024-07-30#Bijlage1>.
- [7] International Civil Aviation Organization, „Manual of the ICAO Standard Atmosphere, ICAO Doc. 7488,” 1993.
- [8] Overheid, „Regeling milieu-informatie luchthaven Schiphol,” 2023. [Online]. Available: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0014722/2023-07-01>.
- [9] Boeing Commercial Airplane Group, „Scheduled Civil Aircraft Emission Inventories for 1992: Database Development and Analysis,” National Aeronautics and Space Administration, Hampton, 1996.
- [10] British Airways, „Emissions from aircraft airframe sources: Tyre and Brake wear,” 2007.
- [11] ECAC, „ECAC.CEAC Doc 29 4th Edition Volume 2,” in *Conference Europeenne de l'aviation civile*, 2016.

Annexen

- A1** Benodigde lijsten ten behoeve van opstellen verkeersgegevens
- A2** Berekening van stuwkrachtsetting voor het begin- en eindpunt per segment in een prestatieprofiel
- A3** Berekening van gecorrigeerd brandstofverbruik middels twin-quadratic-interpolatie
- A4** Berekening van emissiekentallen middels BFFM2

A 1 Benodigde lijsten ten behoeve van opstellen verkeersgegevens

De verkeersgegevens worden verwerkt en verrijkt zodat een set van invoergegevens wordt bereikt welke gebruikt kan worden als invoer voor het berekenen van emissies. De preparatie van de verkeersgegevens vereist aanvullende gegevens uit andere (externe) databronnen. Deze annex geeft de verschillende databronnen weer die gebruikt worden voor het opstellen van de invoergegevens. Specifiek voor de Motortype indelingslijst geldt dat bij het opstellen van deze lijst en het bepalen van een proxy motortype rekening gehouden dient te worden met de werkwijze van de emissiedatabase luchtvaart en -havens [4] voor de identificatie van een proxy motortype.

Luchtvaartuigregisterlijst	
<i>De luchtvaartuigregisterlijst beschikt voor zowel in Nederland als in het buitenland geregistreerde luchtvaartuigen over o.a. geluidcertificatiegegevens die zijn bepaald conform de standaarden beschreven in ICAO Annex 16, Volume I. Deze lijst volgt uit [5, 6] en is t.b.v. emissies uitgebreid met een motortype.</i>	
Gegevens	Beschrijving
Luchtvaartuigregistratie	Unieke code behorend bij een EASA type certificaat
Luchtvaartuigtype	ICAO-code van het luchtvaartuigtype
Certificatie hoofdstuk	Geluidcertificatiegegevens zijn vastgesteld conform de certificatiestandaarden beschreven in ICAO Annex 16, Volume I. Elk hoofdstuk beschrijft de certificatiestandaarden die van toepassing zijn op specifieke luchtvaartuigen: • Hoofdstuk 2, 3, 4, 5, 14 – Jet en zware propellervliegtuigen • Hoofdstuk 6, 10 – Lichte propellervliegtuigen • Hoofdstuk 8, 11 - Helikopters
Geluidcertificatiewaarden	Aanduiding van de geluidniveaus conform de certificatiestandaarden volgens ICAO Annex 16, Volume I: • Hoofdstuk 2, 3, 4, 5, 14 – Jet en zware propellervliegtuigen ○ Geluidwaarden: Lateral, Flyover, Approach • Hoofdstuk 6 – Lichte propellervliegtuigen ○ Geluidwaarde: Overflight • Hoofdstuk 10 – Lichte propellervliegtuigen ○ Geluidwaarde: Take-Off • Hoofdstuk 8– Helikopters ○ Geluidwaarden: Take-Off, Overflight, Approach • Hoofdstuk 11 – Helikopters ○ Geluidwaarde: Overflight
Motortype	Een naamaanduiding van het motortype dat is geïnstalleerd op het luchtvaartuig.

Luchtvaartuigregistratielijst	
<i>De luchtvaartuigregistratielijst geeft voor luchtvaartuigregistraties de specificaties van deze registratie, waaronder het gekoppelde EASA Record Number Referentie dat relevant is voor de bepaling van de geluidreferentiewaarden.</i>	
Gegevens	Beschrijving
Luchtvaartuigregistratie	Unieke registratie behorend bij het geregistreerde luchtvaartuig
EASA Record Number	Unieke code behorend bij een EASA type certificaat
Luchtvaartuigtype	ICAO-code van het luchtvaartuigtype
Motortype	Een beschrijving van het motortype, gebaseerd op de luchtvaartuigregistratielijst of op de luchtvaartregisterlijst
EASA Record Number Referentie	Unieke code behorend bij een EASA type certificaat die gekoppeld is aan de luchtvaartuigregistratie

Motortype indelingslijst	
<i>De motortype indelingslijst beschrijft welk proxy motortype (motortype lookup name), die beschikbaar is in de Emissiedatabase luchtvaart en -havens, gehanteerd moet worden voor een motoraanduiding (gespecificeerd op basis van de luchtvaartuigregistratielijst en de luchtvaartregisterlijst).</i>	
Gegevens	Beschrijving
Motortype	Een beschrijving van een motortype, gebaseerd op de luchtvaartuigregistratielijst of op de luchtvaartuigregisterlijst
Proxy motortype	Unieke code (motortype lookup name) behorende bij een motortype dat beschikbaar is in de Emissiedatabase luchtvaart

Vliegtuigindelingslijst	
<i>De vliegtuigindelingslijst wordt gebruikt om een luchtvaartuigtype te koppelen aan een representatief proxytype. Deze lijst volgt uit [5, 6] en is t.b.v. emissies uitgebreid met een standaard motortype.</i>	
Gegevens	Beschrijving
Luchtvaartuigtype	ICAO-code van het luchtvaartuigtype
Proxytype	Het proxytype waar het luchtvaartuig volgens de indelingslijst aan gekoppeld is
Proxy motortype	Een standaard proxy motortype dat geldt voor het betreffende ICAO luchtvaartuigtype en wordt gehanteerd bij het ontbreken van gegevens omtrent het motortype.

Helikopterindelingslijst	
<i>De helikopterindelingslijst wordt gebruikt om ieder luchtvaartuigtype te koppelen aan een representatief proxytype.</i>	
Gegevens	Beschrijving
Luchtvaartuigtype	ICAO-code van het luchtvaartuigtype
Proxytype	Het proxytype waar de helikopter volgens de indelingslijst aan gekoppeld is
Proxy motortype	Een standaard proxy motortype dat geldt voor het betreffende ICAO luchtvaartuigtype en wordt gehanteerd bij het ontbreken van gegevens omtrent het motortype.

A 2 Berekening stuwkrachtsetting voor begin- en eindpunt per segment in een prestatieprofiel

Wanneer het prestatieprofiel k van een start i geen stuwkrachtsetting gespecificeerd heeft, dan kan de stuwkrachtsetting voor vertex j binnen het prestatieprofiel, $T_{k,j}$, berekend worden middels de hieronder beschreven methode. Hierbij worden onderliggende gegevens voor geluidberekeningen, afkomstig uit de ANP database, gebruikt.

De methode maakt onderscheid naar de verschillende opties voor de 'Power Parameter' in de ANP database:

1. Als voor prestatieprofiel k geldt dat de 'Power Parameter' voor het bijbehorende proxytype in de 'Aircraft' dataset van de ANP database gespecificeerd is als 'CNT (% of Max Static Thrust)', dan wordt voor $T_{k,j}$ uitgegaan van dit percentage voor de motorstuwkracht zoals opgenomen in het prestatieprofiel ($T_{fpp,k,j}$) voor vertex j ;
2. Voor andere prestatieprofielen k waarvoor geldt dat de 'Power Parameter' voor het bijbehorende proxytype in de 'Aircraft' dataset van de ANP database gespecificeerd is als 'CNT (lbs)', wordt $T_{k,j}$ bepaald middels formule A2.1, waarbij gebruik wordt gemaakt van gegevens in de ANP database (zie Appendix B2 van [11]):

$$T_{k,j} = \begin{cases} 7\% & , \text{voor } T_{ratio,k,j} < 7\% \\ T_{ratio,k,j} & , T_{ratio,k,j} \geq 7\% \end{cases} \quad (A2.1)$$

waarbij:

$$T_{ratio,k,j} = \frac{T_{fpp,k,j} - (1 - c_{derating,k}) \{ c_{anp,F} V_{c,k,j} + c_{anp,Ga} (h_{k,j} + h_{arp,AMSL}) + c_{anp,Gb} (h_{k,j} + h_{arp,AMSL})^2 + c_{anp,H} T_{amb,k,j} \}}{T_{rated,max}} \quad (A2.2)$$

$$T_{amb,k,j} = \begin{cases} T_0 - 0,0065 \cdot (h_{k,j} + h_{arp,AMSL}) \cdot 0,3048 & , h_{k,j} + h_{arp,AMSL} \leq 11\text{km} \\ -56,5 & , h_{k,j} + h_{arp,AMSL} > 11\text{km} \end{cases} \quad (A2.3)$$

$$V_{c,k,j} = \sqrt{\gamma \cdot R \cdot T_0} \cdot \sqrt{5 \cdot \left(\left(1 + \frac{P_{amb,k,j} \left(\left(1 + \frac{0,2(V_{fpp,k,j} + V_{headwind})^{2,5}}{\gamma R T_{amb,k,j}} \right)^{\frac{2}{7}} \right)}{P_0} \right) - 1 \right)} \cdot \frac{1852}{3600} \quad (A2.4)$$

$$P_{amb,k,j} = \begin{cases} P_0 \cdot \left(1 - \frac{0,0065 \cdot h_{k,j,AMSL} \cdot 0,3048}{T_0 + 273,15} \right)^{\left(\frac{9,81}{287,05 \cdot 0,0065} \right)} & , h_{k,j,AMSL} \leq 11\text{km} \\ P_{amb,k,j}(h_{k,j,AMSL} = 11000\text{m}) \cdot e^{\left(-1 \frac{9,81 \cdot (h_{k,j,AMSL} \cdot 0,3048 - 1100)}{287,05 \cdot 216,65} \right)} & , h_{k,j,AMSL} > 11\text{km} \end{cases} \quad (A2.5)$$

met:

$T_{k,j}$	de stuwkrachtsetting voor prestatieprofiel k op vertex j , uitgedrukt in %;
$T_{ratio,k,j}$	de ratio met $T_{rated,max}$ voor prestatieprofiel k op vertex j , uitgedrukt in %;
$T_{fpp,k,j}$	de motorstuwkracht zoals gespecificeerd in de fixed point profile voor prestatieprofiel k op vertex j horende bij start i , uitgedrukt in lbs;

$T_{rated,max}$	De 'maximum sea level static thrust' conform de ANP database (zie Appendix G2 in [11]) horende bij start i , uitgedrukt in lbf;
$c_{derating,k}$	de mate van de-rating bij het prestatieprofiel k , uitgedrukt in %;
$c_{anp,F}$	een coëfficiënt conform de ANP database (zie Appendix G3.2 in [11]), uitgedrukt in lbf/kt;
$c_{anp,Ga}$	een coëfficiënt conform de ANP database (zie Appendix G3.2 in [11]), uitgedrukt in lbf/ft;
$c_{anp,Gb}$	een coëfficiënt conform de ANP database (zie Appendix G3.2 in [11]), uitgedrukt in lbf/ft ² ;
$c_{anp,H}$	een coëfficiënt conform de ANP database (zie Appendix G3.2 in [11]), uitgedrukt in lbf/°C;
$V_{c,k,j}$	De gekalibreerde lichtsnelheid (zie formule A2.4) voor prestatieprofiel k op vertex j , uitgedrukt in kt;
$V_{fpp,k,j}$	De grondsnelheid zoals gespecificeerd in prestatieprofiel k voor vertex j , uitgedrukt in m/s;
$V_{headwind}$	De tegenwind zoals van toepassing is op de prestatieprofielen (zie §5.1), standaard 8 kt, uitgedrukt in m/s;
$h_{k,j}$	de vlieghoogte zoals gespecificeerd in prestatieprofiel voor vertex j ten opzichte van de grond, uitgedrukt in ft;
$h_{k,j,AMSL}$	de vlieghoogte zoals gespecificeerd in prestatieprofiel voor vertex j ten opzichte van gemiddeld zeeniveau, uitgedrukt in ft;
$h_{arp,AMSL}$	de hoogte van het referentiepunt van de luchthaven/helikopterplatform t.o.v. gemiddeld zeeniveau, uitgedrukt in ft;
γ	Een constante met waarde 1,4;
R	Een constante met waarde 287,052 J/(kg·K);
$T_{amb,k,j}$	de luchttemperatuur op vlieghoogte $h_{k,j}$, uitgedrukt in °C;
T_0	De luchttemperatuur op de luchthaven, uitgedrukt in °C;
$P_{amb,k,j}$	De luchtdruk op vlieghoogte $h_{k,j,AMSL}$, uitgedrukt in Pa.

Met het resultaat $T_{k,j}$ kan voor twee opeenvolgende vertexen binnen een prestatieprofiel de gemiddelde stuwkrachtsetting voor segment r bepaald worden, T_r .

A 3 Berekening van gecorrigeerd brandstofverbruik middels twin-quadratic-interpolatie

Het gecorrigeerde brandstofverbruik (W_{ff}) dient berekend te worden conform de Advanced Approach beschreven in ICAO Doc 9889 en o.b.v. de in de in §6.2.6 gevonden stuwkrachtsetting T_r . Deze annex beschrijft de berekeningsmethodiek in detail. De formules A3.1 t/m A3.3 zijn enkel van toepassing voor startbewegingen van vliegtuigen, aangezien voor helikopters en voor taxiënde en landende vliegtuigen van een vaste stuwkrachtsetting wordt uitgegaan, zie §6.2.6. Formule A3.4 is voor iedere helikopter- en vliegtuigbeweging van toepassing, behalve voor luchtvaartuigbewegingen uitgevoerd met een proxytype met type motor anders dan Jet (J), zoals gespecificeerd in §4.2.7 [5, 6]. Tenslotte wordt formule A4.7 uit Annex A4 toegepast om te corrigeren voor vluchtcondities om W_{ff} te bepalen.

De emissiedatabase luchtvaart en -havens bevat het (ongecorrigeerde) brandstofverbruik FF voor een proxy motortype q voor vier stuwkrachtsettings, zie Tabel A3.1 voor een voorbeeld.

Tabel A3.1: Voorbeeld van gegevens in emissiedatabase luchtvaart en -havens voor een proxy motortype q .

Stuwkrachtsetting T_r	7%	30%	85%	100%
Brandstofverbruik FF [kg/s]	FF _{7%}	FF _{30%}	FF _{85%}	FF _{100%}

De gegevens uit Tabel A3.1 worden gebruikt om twee kwadratische vergelijkingen op te stellen. Deze kwadratische vergelijkingen zijn nodig om te interpoleren naar een ongecorrigeerd brandstofverbruik, behorende bij stuwkrachtsetting T_r . De stuwkrachtsetting bepaalt welk kwadratisch verband gebruikt dient te worden voor interpolatie (zie Formule A3.1):

1. Voor stuwkrachtsettings T_r van 60% tot 85% wordt een kwadratische vergelijking toegepast die is vastgesteld op basis van het brandstofverbruik van proxy motortype q behorende bij stuwkrachtsettings van 7% (idle), 30% (approach) en 85% (climb out).
2. Voor stuwkrachtsettings T_r hoger dan of gelijk aan 85% wordt een kwadratische vergelijking toegepast die is vastgesteld op basis van het brandstofverbruik van proxy motortype q behorende bij stuwkrachtsettings van 30% (approach), 85% (climb out) en 100% (take-off).
3. Voor stuwkrachtsettings T_r lager dan 60% wordt een conservatief ongecorrigeerd brandstofverbruik berekend middels een stuwkrachtsetting van 60% en het bovengenoemde kwadratische verband voor stuwkrachtsettings T_r van 60% tot 85%.

De coëfficiënten $a_{60\%,85\%}$, $b_{60\%,85\%}$ en $c_{60\%,85\%}$ in Formule A3.1 kunnen worden bepaald door de matrixvergelijking in Formule A3.2 op te lossen. De coëfficiënten $a_{85\%,100\%}$, $b_{85\%,100\%}$ en $c_{85\%,100\%}$ in Formule A3.1 kunnen worden bepaald door de matrixvergelijking in Formule A3.3 op te lossen.

$$FF(T_r) = \begin{cases} a_{60\%,85\%} * 0,6^2 + b_{60\%,85\%} * 0,6 + c_{60\%,85\%}, & \text{voor } T_r < 60\% \\ a_{60\%,85\%} * T_r^2 + b_{60\%,85\%} * T_r + c_{60\%,85\%}, & \text{voor } 60\% \leq T_r < 85\% \\ a_{85\%,100\%} * T_r^2 + b_{85\%,100\%} * T_r + c_{85\%,100\%}, & \text{voor } T_r \geq 85\% \end{cases} \quad (A3.1)$$

$$\begin{pmatrix} FF(7\%) \\ FF(30\%) \\ FF(85\%) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,7^2 & 0,7 & 1 \\ 0,3^2 & 0,3 & 1 \\ 0,85^2 & 0,85 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_{60\%,85\%} \\ b_{60\%,85\%} \\ c_{60\%,85\%} \end{pmatrix} \quad (A3.2)$$

$$\begin{pmatrix} FF(30\%) \\ FF(85\%) \\ FF(100\%) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,3^2 & 0,3 & 1 \\ 0,85^2 & 0,85 & 1 \\ 1^2 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_{60\%,85\%} \\ b_{60\%,85\%} \\ c_{60\%,85\%} \end{pmatrix} \quad (A3.3)$$

Het geïnterpoleerde ongecorrigeerde brandstofverbruik o.b.v. Formule A3.1 wordt middels Formule A3.4 gecorrigeerd en levert $FF_{corrected}$ behorende bij T_r .

$$FF_{corrected}(T_r) = FF(T_r) * \begin{cases} 1,1 + \frac{1,02-1,1}{0,3-0,07} * (T_r - 0,07), & \text{voor } T_r < 30\% \\ 1,02 + \frac{1,013-1,02}{0,85-0,3} * (T_r - 0,3), & \text{voor } 30\% \leq T_r < 85\% \\ 1,013 + \frac{1,01-1,013}{1-0,85} * (T_r - 0,85), & \text{voor } T_r \geq 85\% \end{cases} \quad (A3.4)$$

Indien Formule A3.4 leidt tot een negatieve waarde voor $FF_{corrected}$ dient $FF_{corrected}$ gelijk gesteld te worden aan 0 kg/s.

Het resultaat uit formule A3.4 wordt vervolgens gecorrigeerd voor vluchtcondities middels formule A4.7 uit Annex A4. Dit voor de vluchtcondities gecorrigeerde brandstofverbruik, W_{ff} , kan in het vervolg gebruikt worden voor de berekening van de emissies middels vermenigvuldiging met het relevante emissiekental.

A 4 Berekening van emissiekentallen middels BFFM2

De emissies van de stoffen $p \in \{HC, CO, NO_x, VOS\}$ gedurende het uit-taxiën, starten, landen en in-taxiën zijn gebaseerd op de BFFM2 methode, zie [1] en [9]. Gegeven:

1. de atmosferische condities, temperatuur (T_0) en luchtdruk (P_0), ter hoogte van de luchthaven, zie §3.2;
2. een relatieve luchtvochtigheid (φ) ter hoogte van de luchthaven van 60% [2];
3. een segment r gedurende het prestatieprofiel/de taxifase van luchtvaartuigbeweging i met de specificatie van de (vlieg)hoogte, grondsnelheid en motorstuwkracht, zie §5.1 en §6.2;
4. een stuwkrachtsetting T_r , bepaald conform de methode in §6.2.6;
5. een brandstofverbruik $FF_{corrected,q}$, bepaald conform de methode in §6.2.7 en behorend bij proxy motortype q bij luchtvaartuigbeweging i , en;
6. de emissiedatabase luchtvaart en -havens (zie §5.2) met het ongecorrigeerde brandstofverbruik, $FF_{database}(T_r)$, en bijbehorende emissiekentallen, $EI_{database,p,q}(T_r)$ behorend bij proxy motortype q behorend bij luchtvaartuigbeweging i ,

beschrijft deze annex stapsgewijs de methode om conform BFFM2 de emissiekentallen, waarmee de totale emissies berekend kunnen worden (zie §6.1), te bepalen.

1. Allereerst wordt het brandstofverbruik $FF_{database}(T_r)$ uit de emissiedatabase luchtvaart en -havens behorend bij de datapunten 'idle' ($T_r = 15\%$), 'approach' ($T_r = 30\%$), 'climb out' ($T_r = 85\%$) en 'take-off' ($T_r = 100\%$) voor proxy motortype q behorend bij luchtvaartuigbeweging i gecorrigeerd middels de Boeing correctiefactor:

$$FF_{boeing\ corrected}(T_r = 15\%) = 1,10 \cdot FF_{database}(T_r = 15\%) \quad (A4.1)$$

$$FF_{boeing\ corrected}(T_r = 30\%) = 1,02 \cdot FF_{database}(T_r = 30\%) \quad (A4.2)$$

$$FF_{boeing\ corrected}(T_r = 85\%) = 1,013 \cdot FF_{database}(T_r = 85\%) \quad (A4.3)$$

$$FF_{boeing\ corrected}(T_r = 100\%) = 1,01 \cdot FF_{database}(T_r = 100\%) \quad (A4.4)$$

2. het brandstofverbruik resulterend uit stap 1 (zie formules A4.1 t/m A4.4), $FF_{boeing\ corrected}(T_r)$, en het bijbehorende emissiekental $EI_{database,p,q}(T_r)$ behorend bij de datapunten 'idle', 'approach', 'climb out' en 'take-off' wordt voor de stoffen $p \in \{HC, CO, NO_x, VOS\}$ naar log-log space getransformeerd middels formules A4.5 en A4.6:

$$FF_{log,q}(T_r) = \log_{10}(FF_{boeing\ corrected,q}(T_r)) \quad (A4.5)$$

$$EI_{database,p,q,log}(T_r) = \log_{10}(EI_{database,p,q}(T_r)) \quad (A4.6)$$

3. Het brandstofverbruik $FF_{corrected,q}$ wordt gecorrigeerd voor de vlucht- en atmosferische condities middels formules A4.7 t/m A4.12, hieruit volgt W_{ff} :

$$W_{ff} = \frac{FF_{corrected,q}}{\delta_{amb}} \cdot \theta_{amb}^{3,8} \cdot e^{0,2 \cdot M^2} \quad (A4.7)$$

waarbij:

$$\theta_{amb} = \frac{T_{amb}}{288,15} \quad (A4.8)$$

$$T_{amb} = \begin{cases} (T_0 + 273,15) - 0,0065 \cdot (h_{r,AMSL}) & , h_{r,AMSL} \leq 11\text{km} \\ 216,65 & , h_{r,AMSL} > 11\text{km} \end{cases} \quad (A4.9)$$

$$\delta_{amb} = \frac{P_{amb}}{1013,25} \quad (A4.10)$$

$$P_{amb} = \begin{cases} P_0 \cdot \left(1 - \frac{0,0065 \cdot h_{r,AMSL}}{T_0 + 273,15}\right)^{\left(\frac{9,81}{287,05 \cdot 0,0065}\right)} & , h_{r,AMSL} \leq 11\text{km} \\ P_{amb}(h_{r,AMSL} = 11000) \cdot e^{\left(-1 \frac{9,81 \cdot (h_{r,AMSL} - 11000)}{287,05 \cdot 216,65}\right)} & , h_{r,AMSL} > 11\text{km} \end{cases} \quad (A4.11)$$

$$M = \begin{cases} 0 & , \text{voor opwarmen, afkoelen en taxiën} \\ \frac{r_{TAS}}{\sqrt{1,4 \cdot 287,05 \cdot (T_{amb})}} & , \text{voor starten en landen} \end{cases} \quad (A4.12)$$

met:

T_0	De luchttemperatuur op de luchthaven, uitgedrukt in °C;
P_0	De luchtdruk op de luchthaven, uitgedrukt in hPa;
$h_{r,AMSL}$	De hoogte van het luchtvaartuig boven gemiddeld zeeniveau gedurende het taxiën/segment r in het prestatieprofiel, uitgedrukt in m;
r_{TAS}	De True Airspeed van het luchtvaartuig gedurende segment r in het prestatieprofiel, uitgedrukt in m/s.

4. Ten behoeve van lineaire interpolatie in log-log space wordt, tenzij één van de uitzonderingen (zie SA 4.1) van toepassing is, onderstaande methode toegepast. Allereerst wordt de methode voor NOx toegelicht, daarna volgt de methode voor HC, CO en VOS.

Voor de stof NOx

Voor de stof NOx wordt een stuksgewijs lineair verband (zie figuur A4.1 en formule A4.13) in log-log space opgesteld middels een least square fit voor drie intervallen. Aangezien voor ieder interval 2 datapunten gehanteerd worden, resulteert deze methode in een stuksgewijs lineair verband dat door alle datapunten loopt:

- het eerste lineaire verband is gebaseerd op de 'idle' en 'approach' datapunten uit de emissiedatabase luchtvaart en -havens;
- het tweede lineaire verband is gebaseerd op de 'approach' en 'climb out' datapunten uit de emissiedatabase luchtvaart en -havens;

- c. het derde lineaire verband is gebaseerd op de 'climb out' en 'take-off' datapunten uit de emissiedatabase luchtvaart en -havens;

Middels formule A4.13 wordt o.b.v. een brandstofverbruik W_{ff} , zie formule A4.7 geïnterpoleerd naar het benodigde emissiekental:

$$REI_{NOx,q}(W_{ff}) = \begin{cases} 10^{[a_{NOx,q,idle,app} \log_{10}(W_{ff}) + b_{NOx,q,idle,app}]}, & \text{voor } 0 \leq W_{ff} < W_{NOx,q,int,1} \\ 10^{[a_{NOx,q,app,co} \log_{10}(W_{ff}) + b_{NOx,q,app,co}]}, & \text{voor } W_{NOx,q,int,1} \leq W_{ff} < W_{NOx,q,int,2} \\ 10^{[a_{NOx,q,co,to} \log_{10}(W_{ff}) + b_{NOx,q,co,to}]}, & \text{voor } W_{ff} \geq W_{NOx,q,int,2} \end{cases} \quad (A4.13)$$

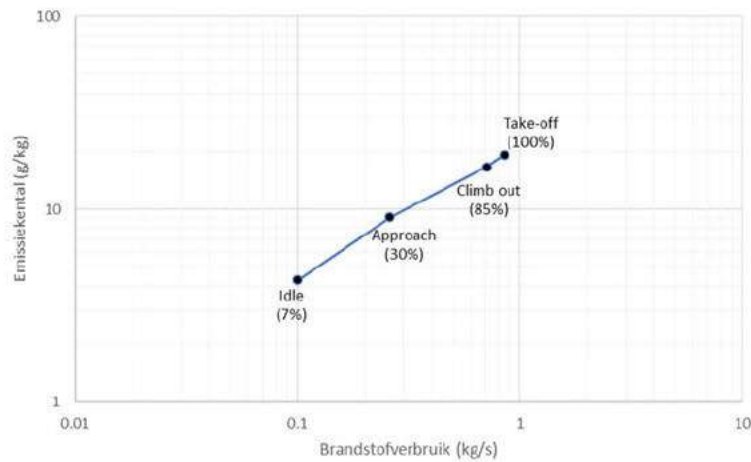
waarbij:

$$W_{NOx,q,int,1} = 10^{\left(\frac{b_{NOx,q,idle,app} - b_{NOx,q,app,co}}{a_{NOx,q,app,co} - a_{NOx,q,idle,app}} \right)} \quad (A4.14)$$

$$W_{NOx,q,int,2} = 10^{\left(\frac{b_{NOx,q,app,co} - b_{NOx,q,co,to}}{a_{NOx,q,co,to} - a_{NOx,q,app,co}} \right)} \quad (A4.15)$$

met:

$REI_{NOx,q}(W_{ff})$	Het geïnterpoleerde emissiekental voor NOx terugvertaald uit log-log space behorend bij het voor vlucht- en atmosferische condities gecorrigeerde brandstofverbruik W_{ff} , zie formule A4.7, voor proxy motortype q ;
$a_{NOx,q,idle,app}$	De richtingscoëfficiënt van de lineaire vergelijking tussen de datapunten uit de emissiedatabase luchtvaart en -havens voor 'idle' ($T_r = 7\%$) en 'approach' ($T_r = 30\%$) in log-log space (o.b.v. formule A4.5 en A4.6) voor proxy motortype q ;
$b_{NOx,q,idle,app}$	De waarde bij het snijpunt van de verticale as met de lineaire vergelijking tussen de datapunten uit de emissiedatabase luchtvaart en -havens voor 'idle' ($T_r = 7\%$) en 'approach' ($T_r = 30\%$) in log-log space (o.b.v. formule A4.5 en A4.6) voor proxy motortype q ;
$a_{NOx,q,app,co}$	De richtingscoëfficiënt van de lineaire vergelijking tussen de datapunten uit de emissiedatabase luchtvaart en -havens voor 'approach' ($T_r = 30\%$) en 'climb out' ($T_r = 85\%$) in log-log space (o.b.v. formule A4.5 en A4.6) voor proxy motortype q ;
$b_{NOx,q,app,co}$	De waarde bij het snijpunt van de verticale as met de lineaire vergelijking tussen de datapunten uit de emissiedatabase luchtvaart en -havens voor 'approach' ($T_r = 30\%$) en 'climb out' ($T_r = 85\%$) in log-log space (o.b.v. formule A4.5 en A4.6) voor proxy motortype q ;
$a_{NOx,q,co,to}$	De richtingscoëfficiënt van de lineaire vergelijking tussen de datapunten uit de emissiedatabase luchtvaart en -havens voor 'climb out' ($T_r = 85\%$) en 'take-off' ($T_r = 100\%$) in log-log space (o.b.v. formule A4.5 en A4.6) voor proxy motortype q ;
$b_{NOx,q,co,to}$	De waarde bij het snijpunt van de verticale as met de lineaire vergelijking tussen de datapunten uit de emissiedatabase luchtvaart en -havens voor 'climb out' ($T_r = 85\%$) en 'take-off' ($T_r = 100\%$) in log-log space (o.b.v. formule A4.5 en A4.6) voor proxy motortype q .



Figuur A4.1: Voorbeeld van een stuksgewijs lineair verband voor NO_x tussen het brandstofverbruik en de emissiekentalen op log-log schaal o.b.v. formule A4.13.

Tenslotte wordt het emissiekental resulterend uit formule A4.13 gecorrigeerd voor atmosferische condities middels formule A4.16:

$$EI_{NOx,q}(W_{ff}) = REI_{NOx,q}(W_{ff}) \cdot e^H \cdot \sqrt{\frac{\delta_{amb}^{1.02}}{\theta_{amb}^{3.2}}} \quad (A3.16)$$

met:

$$H = -19 \cdot \left(\frac{0.62198 \cdot \varphi \cdot 0.014504 \cdot 10^{\beta} \cdot 68.9476}{P_{amb} - \varphi \cdot 0.014504 \cdot 10^{\beta} \cdot 68.9476} - 0.0063 \right) \quad (A4.17)$$

$$\beta = 7.90298 \cdot \left(1 - \frac{373.16}{T_{amb} + 273.16} \right) + 3.00571 + 5.02808 \cdot \log \left(\frac{373.16}{T_{amb} + 273.16} \right) + \left(\frac{1.3816}{10^7} \right) \cdot \left(1 - 10^{11.344 \cdot \left(1 - \frac{373.16}{T_{amb} + 273.16} \right)} \right) + \left(\frac{8.1328}{10^3} \right) \cdot \left(10^{3.49149 \cdot \left(1 - \frac{373.16}{T_{amb} + 273.16} \right)} - 1 \right) \quad (A4.18)$$

Voor de stoffen HC, CO en VOS

Voor de stoffen $p \in \{HC, CO, VOS\}$ wordt voor 2 intervallen een lineair verband opgesteld, waaruit een stuksgewijs lineair verband (zoals in Figuur A4.2) ontstaat om o.b.v. W_{ff} (zie formule A4.7) te interpoleren naar het benodigde emissiekental middels formule A4.19:

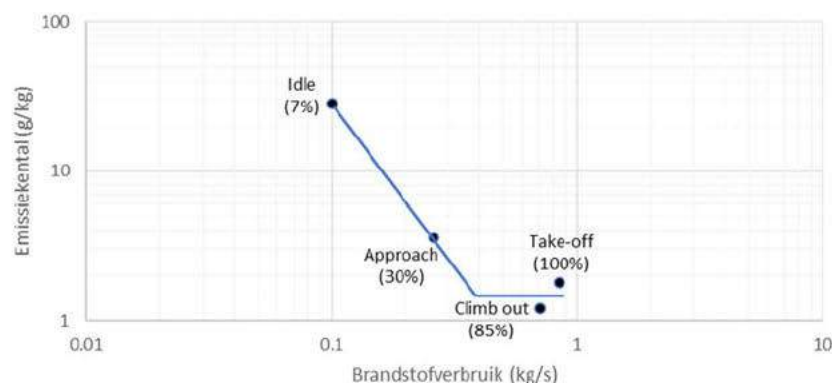
$$REI_{p,q}(W_{ff}) = \begin{cases} 10^{[a_{p,q,idle,app} \cdot \log_{10}(W_{ff}) + b_{p,q,idle,app}]}, & \text{voor } W_{ff} < W_{p,q,int,3} \\ 10^{\left[\log_{10} \left(\frac{EI_{database,p,q}(T_r=85\%) + EI_{database,p,q}(T_r=100\%)}{2} \right) \right]}, & \text{voor } W_{ff} \geq W_{p,q,int,3} \end{cases} \quad (A4.19)$$

waarbij:

$$W_{p,q,int,3} = 10^{\left(\frac{\log_{10} \left(\frac{EI_{database,p,q}(T_r=85\%) + EI_{database,p,q}(T_r=100\%)}{2} \right) - b_{p,q,idle,app}}{a_{p,q,idle,app}} \right)} \quad (A4.20)$$

met:

$REI_{p,q}(W_{ff})$	Het geïnterpoleerde emissiekental voor stof $p \in \{HC, CO, VOS\}$ terugvertaald uit log-log space behorend bij het voor vlucht- en atmosferische condities gecorrigeerde brandstofverbruik W_{ff} , zie formule A4.7, voor proxy motortype q ;
$a_{p,q,idle,app}$	De richtingscoëfficiënt van de lineaire vergelijking voor stof p tussen de datapunten uit de emissiedatabase luchtvaart en -havens voor 'idle' ($T_r = 7\%$) en 'approach' ($T_r = 30\%$) in log-log space (o.b.v. formule A4.5 en A4.6) voor proxy motortype q ;
$b_{p,q,idle,app}$	De waarde bij het snijpunt van de verticale as met de lineaire vergelijking voor stof p tussen de datapunten uit de emissiedatabase luchtvaart voor 'idle' ($T_r = 7\%$) en 'approach' ($T_r = 30\%$) in log-log space (o.b.v. formule A4.5 en A4.6) voor proxy motortype q ;
$EI_{database,p,q}(T_r = 85\%)$	Het emissiekental voor stof $p \in \{HC, CO, VOS\}$ uit de emissiedatabase luchtvaart en -havens voor 'climb out' ($T_r = 85\%$) voor proxy motortype q ;
$EI_{database,p,q}(T_r = 100\%)$	Het emissiekental voor stof $p \in \{HC, CO, VOS\}$ uit de emissiedatabase luchtvaart en -havens voor 'take-off' ($T_r = 100\%$) voor proxy motortype q .



Figuur A4.2: Voorbeeld van een stuksgewijs lineair verband voor HC, CO en VOS tussen het brandstofverbruik en de emissiekentallen op log-log schaal o.b.v. formule A4.19.

Tenslotte wordt het emissiekental resulterend uit formule A4.19 gecorrigeerd voor atmosferische condities middels formule A4.21:

$$EI_{p,q}(W_{ff}) = REI_{p,q}(W_{ff}) \cdot \frac{\theta_{amb}^{3,3}}{\theta_{amb}^{1,02}}, \text{ als } p \in \{HC, CO, VOS\} \quad (A4.21)$$

Het resultaat uit formule A4.16 voor NO_x of het resultaat uit A4.21 voor HC, CO en VOS kan vervolgens gebruikt worden voor de berekening van de totale luchtvaartemissies, met inachtneming van de eerder genoemde uitzonderingen (in detail toegelicht in §A 4.1).

A 4.1 Uitzonderingen op log-log space interpolatiemethodiek

Er zijn een aantal situaties waarbij de interpolatiemethodiek o.b.v. formule A4.19 tot problemen leidt.

Deze paragraaf beschrijft deze combinaties waarbij een alternatief verband tussen brandstofverbruik en emissiekentallen aangenomen dient te worden. O.b.v. de hieronder beschreven methoden kan worden geïnterpoleerd om alsnog een waarde te bepalen voor $REI_{p,q}(W_{ff})$ voor de stoffen $p \in \{HC, CO, VOS\}$:

- a. Als $a_{p,q,idle,app} = 0$; in dit geval geldt formule A4.22 i.p.v. A4.19 [2]. Daarbij wordt, vergelijkbaar met de interpolatiemethodiek voor NOx (zie formule A4.13), een stuksgewijs lineair verband tussen de datapunten opgezet:

$$REI_{p,q}(W_{ff}) = \begin{cases} 10^{[a_{p,q,idle,app} \cdot \log_{10}(W_{ff}) + b_{p,q,idle,app}]}, & \text{voor } 0 \leq W_{ff} < W_{p,q,int,4} \\ 10^{[a_{p,q,app,co} \cdot \log_{10}(W_{ff}) + b_{p,q,app,co}]}, & \text{voor } W_{p,q,int,4} \leq W_{ff} < W_{p,q,int,5} \\ 10^{[a_{p,q,co,to} \cdot \log_{10}(W_{ff}) + b_{p,q,co,to}]}, & \text{voor } W_{ff} \geq W_{p,q,int,5} \end{cases} \quad (A4.22)$$

waarbij:

$$W_{p,q,int,4} = 10^{\left(\frac{b_{p,q,idle,app} - b_{p,q,app,co}}{a_{p,q,app,co} - a_{p,q,idle,app}}\right)} \quad (A4.23)$$

$$W_{p,q,int,5} = 10^{\left(\frac{b_{p,q,app,co} - b_{p,q,co,to}}{a_{p,q,co,to} - a_{p,q,app,co}}\right)} \quad (A4.24)$$

- b. Als $a_{p,q,idle,app} > 0$; in dit geval geldt formule A4.25 i.p.v. A4.19 [3]:

$$REI_{p,q}(W_{ff}) = 10^{\left[\log_{10}\left(\frac{EI_{database,p,q}(T_r=85\%) + EI_{database,p,q}(T_r=100\%)}{2}\right)\right]} \quad (A4.25)$$

- c. Als $W_{p,q,int,3} > FF_{boeing\ corrected}(T_r = 85\%)$; in dit geval geldt formule A4.26 i.p.v. A4.19 [3]:

$$REI_{p,q}(W_{ff}) = \begin{cases} 10^{[a_{p,q,idle,app} \cdot \log_{10}(W_{ff}) + b_{p,q,idle,app}]}, & \text{voor } W_{ff} \leq FF_{boeing\ corrected}(T_r = 85\%) \\ 10^{\left[\log_{10}\left(\frac{EI_{database,p,q}(T_r=85\%) + EI_{database,p,q}(T_r=100\%)}{2}\right)\right]}, & \text{voor } W_{ff} > FF_{boeing\ corrected}(T_r = 85\%) \end{cases} \quad (A4.26)$$

- d. Als $W_{p,q,int,3} < FF_{boeing\ corrected}(T_r = 30\%)$; in dit geval geldt formule A4.27 i.p.v. A4.19 [3]:

$$REI_{p,q}(W_{ff}) = \begin{cases} 10^{[a_{p,q,idle,app} \cdot \log_{10}(W_{ff}) + b_{p,q,idle,app}]}, & \text{voor } W_{ff} < FF_{boeing\ corrected}(T_r = 30\%) \\ 10^{\left[\log_{10}\left(\frac{EI_{database,p,q}(T_r=85\%) + EI_{database,p,q}(T_r=100\%)}{2}\right)\right]}, & \text{voor } W_{ff} \geq FF_{boeing\ corrected}(T_r = 30\%) \end{cases} \quad (A4.27)$$

- e. Als $EI_{database,p,q}(T_r = 30\%) < \frac{EI_{database,p,q}(T_r=85\%) + EI_{database,p,q}(T_r=10\%)}{2}$; in dit geval wordt een lineair verband in log-log space aangenomen tussen de punten $(FF_{log}(T_r = 30\%), EI_{database,p,q,log}(T_r = 30\%))$ en $(FF_{log}(T_r = 85\%), EI_{database,p,q,log}(T_r = 85\%))$ en geldt formule A4.28 i.p.v. A4.19 [3]:

$$REI_{p,q}(W_{ff}) = \begin{cases} 10^{[a_{p,q,idle,app} \log_{10}(W_{ff}) + b_{p,q,idle,app}]}, & \text{voor } W_{ff} < W_{p,q,int,3} \\ 10^{[a_{p,q,app,co} \log_{10}(W_{ff}) + b_{p,q,app,co}]}, & \text{voor } W_{p,q,int,3} \leq W_{ff} < W_{p,q,int,6} \\ 10^{\left[\log_{10} \left(\frac{EI_{database,p,q}(Tr=85\%) + EI_{database,p,q}(Tr=100\%)}{2} \right) \right]}, & \text{voor } W_{ff} \geq W_{p,q,int,6} \end{cases} \quad (A4.28)$$

waarbij:

$$W_{p,q,int,3} = 10^{\left(\frac{b_{p,q,idle,app} - b_{p,q,app,co}}{a_{p,q,app,co} - a_{p,q,idle,app}} \right)} \quad (A4.29)$$

$$W_{p,q,int,6} = 10^{\left(\frac{\log_{10} \left(\frac{EI_{database,p,q}(Tr=85\%) + EI_{database,p,q}(Tr=100\%)}{2} \right) - b_{p,q,app,co}}{a_{p,q,app,co}} \right)} \quad (A4.30)$$