



Kennisnotitie

Emissiekaracteristieken luchtvaart in AERIUS-Calculator

Samenvatting

Deze kennisnotitie licht de huidige default emissiekaracteristieken voor luchtverkeer in AERIUS-Calculator toe en noemt een aantal mogelijke verbeteringen voor deze karakteristieken.

Het geeft antwoord op de vraag die het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur aan het RIVM stelde. De vraag is: "Welke gegeneraliseerde uitgangspunten moeten in AERIUS-Calculator worden gehanteerd als emissiekaracteristieken voor luchtverkeer?".

In het bijzonder voor luchtverkeer geldt dat algemene (default) emissiekaracteristieken niet elke situatie kunnen beschrijven. Deze zijn sterk afhankelijk van de mix van vliegtuigen ter plaatse. Bij het gebruik hiervan in AERIUS-Calculator is het daarom wenselijk dat de gebruiker de default emissiekaracteristiek aanpast als er project-specifieke karakteristieken beschikbaar zijn. Deze notitie gaat verder niet in op project-specifieke karakteristieken.

De huidige default emissiekaracteristieken voor de hoofdmotoren kunnen met aanvullend onderzoek worden verfijnd en met recente inzichten worden verbeterd. Voor de emissiekaracteristieken voor de Auxiliary Power Units (APU) en het Ground Support Equipment (GSE) zijn de volgende verbeteringen mogelijk:

1. De default warmte-inhoud voor de APU is nu 40 kiloWatt (kW). Voor grote vliegtuigen is dit een lage inschatting. De warmte-inhoud voor dit soort vliegtuigen is waarschijnlijk eerder 50-150 kW. Dit leidt tot 25 kilometer leiden tot een 10% lagere bijdrage van deze bronnen. Door de grotere warmte-inhoud slaat de depositie verder dan 25 kilometer neer.
2. De default bronhoogte voor GSE is in de meeste gevallen te hoog, daarom is het beter deze van 6 meter naar 1,5 meter te verlagen. Binnen 5 kilometer leidt dit tot een 10% hogere bijdrage en van 5 tot 25 kilometer juist tot een 10% lagere bijdrage van deze bronnen

Tenslotte wijkt de indeling in de AERIUS-sectoren in Calculator af van de indeling in de GCN-sectoren, die gebruikt worden in Dröge (2010, 2022). Zo bestaat de sector *Taxiën* alleen als AERIUS-sector en de sector *Take-off* alleen als GCN-sector. Dit maakt de onderbouwing van de default emissiekaracteristieken lastiger. Overwogen kan worden hier in het handboek een toelichting op te geven of om in Calculator ook een sector voor take-off op te nemen en hier een default emissiekaracteristiek voor vast te stellen.

RIVM
A. van Leeuwenhoeklaan 9
3721 MA Bilthoven
Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

T 088 689 89 89

Auteurs:

S. Jonkers, L. de Jongh,
C.W.M. van der Maas

Centrum:

MIL

Contact:

wim.van.der.maas@rivm.nl

Kenmerk:

KN-2025-0005

DOI:

10.21945/RIVM-KN-2025-0005

Datum:

01-06-2025

Inleiding

De RIVM-kennisnotitie: "MIL-2024-0034 Reactie RIVM op rapport Apollon milieu Schiphol-procedure" gaat in op de emissiekaracteristieken van luchtverkeer in AERIUS-Calculator.

Naar aanleiding hiervan stelt LVVN op 9/12/2024, de volgende vraag aan het RIVM: "Welke gegeneraliseerde uitgangspunten moeten in AERIUS-Calculator worden gehanteerd als emissiekaracteristieken voor luchtverkeer?" (zie vraag fase 1 in bijlage 1). Deze kennisnotitie geeft reactie op die vraag. Het gaat hierbij om de zogenaamde default emissiekaracteristieken. Omdat deze emissiekaracteristieken afkomstig zijn van TNO, wordt een deel van de reactie door TNO gegeven. Waar dit het geval is, is dit aangegeven. De notitie geeft eerst een beschouwing van de huidige emissiekaracteristieken en vervolgens een advies voor verbetering hiervan. In een nog door TNO uit te voeren vervolg (zie vraag fase 2 in bijlage 1) zullen deze verbeteringen worden uitgewerkt.

De vigerende emissiekaracteristieken voor luchtvaart zijn beschreven in TNO-rapport (Dröge, 2022). De in dat rapport genoemde emissiekaracteristieken worden toegepast in de berekeningen voor de Grootschalige Concentratie- en Depositiekaarten Nederland (GCN-GDN), de stikstofmonitoring en in AERIUS-Calculator als default emissiekaracteristiek. Dit zijn generieke emissiekaracteristieken voor bijvoorbeeld warmte-inhoud en bronhoogte (zie de [gebruikershandleiding](#) van het OPS-model). Dat wil zeggen dat de emissiekaracteristiek niet per se voor een bepaalde situatie geldt, maar wel zoveel mogelijk representatief is voor een gemiddelde situatie. Bij toepassing in AERIUS-Calculator is het wenselijk dat de gebruiker de standaard emissiekaracteristiek daarom aanpast wanneer project-specifieke karakteristieken beschikbaar zijn.

Toelichting emissiekaracteristiek luchtvaart in AERIUS-Calculator

In AERIUS wordt er voor luchtvaart onderscheid gemaakt tussen vier verschillende activiteiten: stijgen, landen, taxiën en 'emissiebronnen op het luchthaventerrein'. Deze hebben elk een eigen emissiekaracteristiek (Tabel 1).

Tabel 1 Emissiekaracteristieken voor luchtvaart in AERIUS-Calculator

AERIUS-sector	Warmte-inhoud (MW)	Bronhoogte (m)
1. Stijgen	0	450
2. Landen	0	450
3. Taxiën	0,04	6
4. Bronnen luchthaventerrein	0,04	6

Voor de activiteiten stijgen, landen en bronnen luchthaventerrein zijn de emissiekaracteristieken direct overgenomen uit het TNO-rapport Dröge (2022).

Voor taxiënde vliegtuigen is de emissiekaracteristiek niet direct overgenomen uit Dröge (2022).

Hierop wordt daarom extra toelichting gegeven in deze kennisnotitie.

De AERIUS-sector *Taxiën* bestaat uit verschillende activiteiten zoals omschreven in de GCN-sectoren. Tabel 2 geeft aan hoe de emissiekaracteristieken van de AERIUS-sectoren samenhangen met die van de GCN-sectoren. Uit deze tabel wordt duidelijk dat de emissiekaracteristiek van de AERIUS-sector *Taxiën* zowel die van de GCN-sector *Idle* als de GCN-sector *Platform APU* omvat.

Tabel 2 Samenhang tussen AERIUS-sectoren en GCN-sectoren voor luchtvaart

AERIUS-sector	GCN-sector en emissieoorzaak
Stijgen	3610 Vluchtfase: Climb out
Landen	3610 Vluchtfase: Approach
Taxiën	3610 Vluchtfase: Idle
Niet apart opgenomen	3610 Vluchtfase: Take Off
Taxiën, Bronnen luchthaventerrein	3620 Platform: APU
Bronnen luchthaventerrein	3620 Platform: GSE

Voor *Take off* is geen aparte bronkarakteristiek in AERIUS opgenomen. De AERIUS-sectoren voor vliegverkeer zijn bij de ontwikkeling van AERIUS-Calculator vastgesteld. Voor de bronkarakteristiek in de take off fase moet de gebruiker de default karakteristiek daarom aanpassen. Hierna is in de paragraaf *Vluchtfase taxiën en take-off* hier een toelichting op gegeven.

In Tabel 3 staan de emissiekenmerken zoals beschreven in het TNO-rapport die voor taxiën relevant zijn. Dat daarbij in Calculator de bronhoogte voor 'Idle' en de warmte-inhoud van 'Platform APU' wordt toegekend, berust op de aanname dat bij taxiën zowel de hoofdmotoren als de APU (Auxiliary Power Units) aanstaan.

Tabel 3 Emissiekenmerken voor taxiën zoals beschreven in Dröge (2022)

GCN-sector	Warmte-inhoud (MW)	Bronhoogte (m)
Idle	2 ¹	6
APU	0,04	6

Het TNO-rapport noemt 2 MW warmte-inhoud voor *Idle* en 0,04 MW voor de APU. Beide zijn van toepassing tijdens het taxiën. Echter wordt ook in het TNO-rapport gemeld dat de warmte-inhoud bij bewegende bronnen (in dit geval de emissies voor de vluchtfase) niet in rekening moet worden gebracht, omdat "de uitlaat van een vliegtuig niet met een schoorsteen vergeleken kan worden" (Dröge (2022), p. 16). De 2 MW is daarom niet van toepassing. De hoofdmotoren zullen immers vooral een emissie geven wanneer het vliegtuig van (naar) het platform naar (vanaf) de startbaan rijdt. De hoofdmotoren van een vliegtuig worden kort voor vertrek gestart, wanneer het vliegtuig aan de gate staat. Dan is dus met name de APU-emissiekenmerken aan de orde.

Ten slotte is de vraag welke emissie dominant is: aan de gate staan of naar/van de startbaan rijden. Dit bepaalt welke emissiekenmerken moet worden toegepast. Uit inspectie van de ruimtelijke verdeling van de concentraties, volgend uit de ruimtelijke verdeling van emissies door de Emissieregistratie, blijkt voor *Idle* de hoogste concentratie vooral rondom het platform plaats te vinden. Daarom is gesteld dat voor de AERIUS-sector *Taxiën* de platform emissie dominant is en dus ook dat de warmte-inhoud op het platform dominant is. Dit is 0,04 MW.

Toelichting emissiekenmerken taxiën in TNO-rapporten

Onderstaande beschouwing is door TNO opgesteld.

TNO heeft in 2010 een rapport uitgebracht over de emissiekenmerken van emissiebronnen, waaronder die van vliegverkeer (Dröge, 2010). In 2022 heeft TNO een update van dit rapport gepubliceerd (Dröge, 2022).

¹ Met het advies deze warmte-inhoud niet te gebruiken, maar van 0 MW uit te gaan

Vluchtfase taxiën en take-off

In beide rapporten van Dröge wordt zowel een bronhoogte en een warmte-inhoud vermeld voor verschillende sectoren voor vliegverkeer. Echter, in beide rapporten wordt geadviseerd de vermelde warmte-inhoud van de vluchtfasen **niet** te gebruiken indien het gebruikte verspreidingsmodel de bron als een verticale industriële schoorsteen modelleert, omdat het bepalen van de pluimstijging van een (horizontaal gerichte) vliegtuigmotor dan tot onrealistische uitkomsten zou leiden.

In Dröge, 2010 is ingeschat dat de *Idle* en *APU*-emissies plaatsvinden ter hoogte van de romp, op ca. 6 meter (bronhoogte). Als alternatief voor het gebruiken van de warmte-inhoud voor het bepalen van de pluimstijging, is een empirisch bepaalde pluimstijging van 12 meter uit het FAA-rapport (Wayson et al., 2004) meegegeven (tijdens take-off ten opzichte van het grondvlak² gemeten).

Voor TNO-rapport Dröge (2022) is gevraagd de bronhoogte en warmte-inhoud separaat op te leveren, omdat dit de bronkarakteristieken zijn die in OPS worden toegepast. Dit rapport noemt een bronhoogte van 6 meter (net als Dröge (2010)).

Het meest recente inzicht van TNO is dat de 6 meter als hoogte van het midden van de vliegtuigmotor tot de grond te hoog is ingeschat. De bronhoogte voor *Idle* (taxiën en aan de gate staan) en *Take-off* (vaart maken op de startbaan) zou eerder 1,5 - 3,5 meter moeten zijn.

Voor toekomstige toepassing en verbetering van de emissiekaracteristieken zou eerst duidelijk moeten worden of OPS voldoende goed kan rekenen met horizontale pluimen die met hoge snelheid en temperatuur worden uitgestoten. Dergelijke pluimen zijn uniek voor de luchtvaart en hier zijn weinig metingen van beschikbaar. Als OPS hiermee voldoende goed kan rekenen, kan van deze bronhoogte uitgegaan worden, en is geen initiële pluimstijging uit metingen nodig omdat het model deze zelf kan berekenen. Het eventueel aanvullen van de emissiekaracteristieken met de snelheid en temperatuur van de pluim zal dan nog extra aandacht vragen.

Als OPS niet voldoende goed kan rekenen aan dergelijke horizontale pluimen is het voor nu te adviseren om de FAA-metingen (Wayson et al., 2004) voor de take-off fase aan te houden, oftewel 12 meter "effectieve" bronhoogte. Voor de 2 idle fases (idle-taxi en idle-gate) hebben we op dit moment geen goede, refereerbare waarde voor de effectieve bronhoogte.

Voor nu kunnen we constateren dat, bij take-off, ondanks de horizontale snelheid, de pluim toch een aantal meter hoger dan de motor verschijnt op de metingen (zie Wayson et al., 2004). Voor de 2 idle fases zal zowel de warmte-inhoud als de snelheid lager liggen dan bij take-off. Het precieze effect op de pluimstijging laat zich lastig voorspellen. In Pandey et al. (2023) worden berekeningen aan pluimstijging van take-off en taxi getoond. Ook bij een vliegtuig dat op lage snelheid taxiëet, stijgt de pluim al direct een stukje, maar minder snel dan bij take-off. Deze berekeningen zijn eveneens niet direct te vergelijken met de metingen van FAA (Wayson et al., 2004). De "effectieve" bronhoogten voor idle-taxi en idle-gate zouden waarschijnlijk ergens tussen die 1,5-3,5 en 12 meter inliggen. Waar precies kan nu niet gezegd worden. De 6 meter die we nu aanhouden ligt binnen deze range van mogelijkheden, aan de lagere kant. Als men de emissie van de APU en idle-gate samenneemt, en tevens ervan uitgaat dat idle-gate emissies beperkt zijn omdat de motoren pas vlak voor vertrek worden gestart, is de keuze van 6 meter voor deze combinatie wel te verdedigen.

² Deze pluimstijging was door FAA echter afgezet tegen het grondvlak en niet tegen de hoogte van de vliegtuigmotor. Daarmee suggereerde het TNO-rapport per abuis een "effectieve" bronhoogte op 18 meter (6 + 12) in plaats van op 12 meter.

GSE en APU

Voor GSE is 40 kW een prima gemiddelde waarde voor de warmte-inhoud. De 6 meter bronhoogte die in TNO-rapport Dröge (2010) wordt gegeven voor GSE en APU samen, is als men alleen GSE beschouwd, vermoedelijk te hoog.

Voor de APU is de 6 m bronhoogte een goede standaardwaarde. De 40 kW warmte-inhoud is wel aan de lage kant. De meest gebruikte APU's hebben een nominaal vermogen van zo'n 150-250 kW. Maar als ze elektriciteit produceren met 40-45% efficiëntie gaat de warmte daarvan door het gehele vliegtuig verloren en maar 55-60% uit de staart. Daarnaast draaien ze waarschijnlijk niet altijd op 100% van hun vermogen. Het TNO-rapport (Dröge, 2010) noemt al een range van een factor 2. Mogelijk zou een representatieve standaardwaarde voor grotere commerciële vliegtuigen, met een hoger vermogen per motor hoger liggen dan 40 kW, eerder rond 50 – 150 kW. Voor een luchthaven waar deze grotere vliegtuigen niet komen lijkt dit juist weer te hoog. Het is dus logisch om hier een project-specifieke waarde te gebruiken. Een lagere warmte-inhoud leidt tot een conservatievere berekening van de depositie.

Advies voor default emissiekenmerken in AERIUS-Calculator

Onderstaande advies is door TNO en RIVM samen opgesteld

Het niet meenemen van de warmte-inhoud of een pluimstijging bij take-off stemt niet overeen met de waarnemingen van de FAA (Wayson et al., 2004), waarin bij take-off wel direct een stijging van de pluim wordt waargenomen. In Dröge, 2010, wordt voor de resulterende effectieve bronhoogte 12m genoemd. Voor taxiën kan op basis van de bestaande referenties (Pandey et al., 2023; Wayson et al., 2004) alleen gesteld worden dat de effectieve bronhoogte ergens tussen de 1,5-2,5 en 12 meter in zou moeten liggen. Dit betekent dat de nu gehanteerde bronhoogte van 6 m meer overeenkomt met de effectieve bronhoogte dan de fysieke bronhoogte. Totdat meer kennis beschikbaar komt, is dit een verdedigbare aanname.

Voor de APU kan gesteld worden dat een warmte-inhoud van 40 kW geen recht doet aan de grotere, commerciële vliegtuigen. De warmte-inhoud voor dergelijke vliegtuigen is waarschijnlijk eerder 50-150 kW. Over de hele bandbreedte bezien is 40 kW aan de lage kant is, wat tot een hogere bijdrage leidt. Wellicht is het consistent met de andere emissiekenmerken om een gemiddelde aanname te doen.

Voor de GSE (Ground Support Equipment) is de warmte-inhoud van 40kW correct, maar de bronhoogte van 6m is in veel gevallen te hoog. Een bronhoogte van 1,5m is een meer waarschijnlijke waarde.

Tenslotte wordt opgemerkt dat de indeling in de AERIUS-sectoren in Calculator afwijkt van de indeling in de GCN-sectoren, gehanteerd in (Dröge, 2010). Zo bestaat de sector *Taxiën* alleen als AERIUS-sector en de sector *Take-off* alleen als GCN-sector. Dit maakt de onderbouwing van de default emissiekenmerken lastiger. Overwogen kan worden hier in het handboek toelichting op te geven of om in Calculator ook een sector voor take-off op te nemen en hier een default emissiekenmerk voor vast te stellen.

In vervolgonderzoek van TNO kan een nadere invulling en onderbouwing van bovengenoemde voorstellen voor verbetering gegeven worden.

Referenties

- Dröge, 2010. Verbetering en onderbouwing van de emissiekaracteristieken van individueel en collectief geregistreerde bronnen, TNO-rapport UT-01108 2010
- Dröge, 2022. Update Emissiekaracteristieken GCN/GDN 2022, TNO-rapport R11734
- Pandey et al., 2023. Accounting for plume rise of aircraft emissions in AERMOD, Atmospheric Environment 314
- Wayson et al., 2004. The use of LIDAR to characterize the aircraft initial plume characteristics, FAA-AEE04-01

Bijlage 1: Adviesvragen RIVM-emissiekenmerken luchtverkeer

1	Vraagarticulatie
<i>a</i>	<i>Wat is de vraag?</i>
	Naar aanleiding van stukken in de beroepsprocedure tegen de natuurvergunning van Schiphol is er onduidelijkheid over de te hanteren emissiekenmerken voor luchtverkeer. Het gaat daarbij over de emissiehoogte en de (eventuele) warmte-inhoud. Meer inhoudelijke achtergrond is te vinden in de recent door het RIVM gepubliceerde kennisnotitie <i>Reactie op rapport Apollon contra-expertise WnB Schiphol</i>. De vragen worden opgedeeld in twee fases, beide met een andere oplevertermijn. Fase 1: Welke gegeneraliseerde uitgangspunten moeten in AERIUS Calculator worden gehanteerd als emissiekenmerken voor luchtverkeer? Fase 2: Uitgebreid onderzoek dat leidt tot een nieuw rapport met de meest actuele uitgangspunten voor de emissiekenmerken voor luchtverkeer. Daarbij wordt gevraagd ook in meer detail te kijken naar een uitsplitsing per type (groot, klein, propeller, helikopter). Vragen die daarmee bijvoorbeeld beantwoord moeten worden zijn: a) Wat is een representatieve emissiehoogte en warmte-inhoud, zowel algemeen als per type toestel? b) Is er onderscheid tussen verschillende fasen aan de grond (bv. APU-gebruik, taxiën)? Waar passend dient de expertise van TNO te worden geraadpleegd.
<i>b</i>	<i>Wat is het beoogde resultaat?</i>
	Fase 1: Een kennisnotitie met concrete beantwoording en advies voor toepassing in AERIUS Calculator, inclusief voorstel van invulling fase 2. Fase 2: Rapport over emissiekenmerken van luchtverkeer in den brede (mogelijk opgesteld door TNO).
2	Kwaliteitsborging
<i>a</i>	<i>Wat zijn de kwaliteitseisen?</i>
	Standaard kwaliteitsborging van het RIVM
3	Parameters berekening
<i>a</i>	<i>Welke dataset wordt aangeroepen?</i>
	nvt
<i>b</i>	<i>Welk rekenmodel wordt gehanteerd?</i>
	nvt
<i>c</i>	<i>Welk emissiejaar wordt gehanteerd?</i>
	nvt
4	Verantwoordelijk MT-lid LVVN
	DG LG&S – MT-lid Registratie & Data
5	Planning
	Bij voorkeur voor de kerst een eerst indicatief voor de nu te hanteren methode. De detailuitwerking (fase 2) komend voorjaar, tijdig zodat de bevindingen kunnen worden verwerkt in de actualisatie van AERIUS Calculator.