



Conventionele kerosine als vliegtuigbrandstof

Gevolgen voor Klimaat, Gezondheid, Land & Water gebruik en Prijsontwikkeling

RAPPORTAGE WERKPAKKET

InCompany 

Milieuadvies

BARBARA HERBSCHLEB

ONDERZOEK UITGEVOERD IN OPDRACHT VAN VLIEGBEWEGING MOET MINDER (VBM2), EINDHOVEN, NL.
HEERLEN, mrt-19

Colofon

Naam document	NB9906-PWWP-2018nj-B.Herbschleb
Opdrachtgever	Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van Beraad Vlieghinder Moet Minder (BVM2), Eindhoven, contactpersoon: Prof. Dr. Ir. K. (Klaas) Kopinga
Uitgave	InCompany Milieuadvies, faculteit Natuurwetenschappen, Open Universiteit, Postbus 2960, 6401 DL Heerlen, NL. www.ou.nl/nw
Auteur	Barbara Herbschleb
Projectteam (nummer)	M010, Kerosine, 2018nj
Projectcoach (docent)	Dr. Wilfried Ivens, Open Universiteit – InCompany Milieuadvies
Datum (laatst bijgewerkt)	19-3-2019 13:01
Status	<input type="checkbox"/> in bewerking <input type="checkbox"/> voor review (intern: team/projectcoach; extern: opdrachtgever) <input type="checkbox"/> ter beoordeling <input checked="" type="checkbox"/> definitief
	InCompany Milieuadvies hanteert de APA 5th Style als norm voor haar wetenschappelijke rapportages.

Copyright	© 2019 Open Universiteit, Heerlen
	<p>De auteursrechten op dit materiaal berusten bij de Open Universiteit. Behoudens uitzonderingen door de Wet gesteld mag zonder schriftelijke toestemming van de rechthebbende(n) op het auteursrecht niets uit deze uitgave worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of anderszins, hetgeen ook van toepassing is op de gehele of gedeeltelijke bewerking.</p> <p>Copyright on this material is vested in the Open Universiteit. Save exceptions stated by the law no part of this publication may be reproduced in any form, by print, photoprint, microfilm or other means, included a complete or partial transcription, without the prior written permission of the publisher.</p>
InCompany Milieuadvies	InCompany Milieuadvies is het online milieuadviesbureau van de Open Universiteit (www.ou.nl). Studenten werken in teamverband aan echte milieup opdrachten van echte opdrachtgevers. Leren en werken zijn één in deze bijzondere cursus, die de afronding vormt van de wetenschappelijke Bachelor-of-Science opleiding Milieu-natuurwetenschappen

Projectgegevens

Titel (nl)	Conventionele kerosine als vliegtuigbrandstof: Prijzontwikkeling en gevolgen voor Klimaat & Gezondheid
Title (in English)	The impact on environment, climate and health and cost of using kerosene as jet fuel
Opdrachtgevende instantie	Onderzoek uitgevoerd in opdracht van Beraad Vlieghinder Moet Minder (BVM2), Eindhoven, NL
Opdrachtgever	Prof. Dr. Ir. K. (Klaas) Kopinga, BVM2, Eindhoven, NL
Omschrijving opdracht (nl)	Onderzoek naar effecten van alternatieve voortstuwingsbrandstoffen voor vliegtuigen, die zich ongeveer gedragen als conventionele kerosine en eventueel daarmee mengbaar zijn zonder grote aanpassingen van motoren, en die minder nadelige milieueffecten (toxische emissies en klimaat) hebben.
Description of the order (in English)	Research into impact of alternative jet fuels for aircraft, that behave like conventional jet fuel and could be mixed with it without major engine modifications, and that have less adverse environmental effects (toxic emissions and climate).
Trefwoorden	Kerosine, vliegtuigbrandstoffen, emissie, CO ₂ , klimaat, gezondheid
Key words	Fuel, jet, aviation, emission, climate, health
Betrokkene(n) bij opdrachtgevers-organisatie	Klaas Kopinga, De Speldenmaker 23, 5506CE Veldhoven, inhoudelijk begeleider, berichten via de mail
Auteur Werkpakket rapportage	Barbara Herbschleb, cursus Virtueel milieuadviesbureau 2, NB9906, 850140628, wo-bachelor Milieu-natuurwetenschappen (B.Sc.), Huismanstraat 27, 3082HJ, Rotterdam; projectmedewerker
Leden projectteam IM	Bernard Gerard, Remco Kistemaker, Remo Snijder
Projectcoach	dr. Wilfried Ivens, faculteit Management, Science & Technology, Vakgroep Science, Open Universiteit, Heerlen, NL
Examinator	dr. Wilfried Ivens, faculteit Management, Science & Technology, Vakgroep Science, Open Universiteit, Heerlen, NL
Referentie naar dit rapport	Herbschleb, B., (2019). Conventionele kerosine als vliegtuigbrandstof: Prijzontwikkeling en gevolgen voor Klimaat & Gezondheid. Onderzoek uitgevoerd in opdracht van Beraad Vlieghinder Moet Minder (BVM2), Eindhoven, NL. [The impact on environment, climate and health and cost of using kerosene as jet fuel]. Unpublished student paper, Open Universiteit, Heerlen, NL.

Inhoud

Colofon	2
Projectgegevens.....	3
Inhoud	4
Voorwoord.....	5
Samenvatting	6
Abstract	6
1. Inleiding	7
1.1. Achtergrondinformatie en Probleem.....	7
1.2. Vraagstelling	8
1.3. Doelstelling	9
1.4. Kenmerken (criteria) resultaten	9
1.5. Randvoorwaarden en afbakening	9
2. De onderzoeksmethode	9
3. Resultaten.....	13
3.1. Oorsprong en ontstaanswijze van emissies door verbranding van conventionele kerosine.....	13
3.1.1. Van plankton naar kerosine.....	13
3.1.2. Verbrandingsproces van kerosine.....	15
3.2. Ontstaan en effect van emissies door verbranding van kerosine.....	16
3.2.1. Volledige verbranding van kerosine	17
3.2.2. Onvolledige verbranding van kerosine	18
3.2.3. Bijproducten en verontreiniging van kerosine verbranding	19
3.2.4. Invloed van de vluchtfase op emissies	22
3.2.5. Emissiewaarden van verbranding van conventionele kerosine.....	23
3.3. Life Cycle emissies van conventionele kerosine	25
3.4. Gevolgen voor land/watergebruik en voedselproductie.....	26
4. Discussie en Conclusie	28
4.1. Discussie	28
4.2. Conclusies.....	28
5. Aanbevelingen	29
6. Literatuur.....	30
Bijlage A Onderzoeksvragen voor het complete onderzoek	33
Bijlage B Initieel geselecteerde artikelen voor deelonderzoek 2 Emissies.....	34
Bijlage C Geselecteerde artikelen voor deelonderzoek 2 Emissies	47
Bijlage D Invloed op zweelgedrag en roetvorming van verschillende brandstof toevoegingen	50

Voorwoord

Dit rapport beschrijft de resultaten van het onderzoek uitgevoerd naar de gevolgen van gebruik van kerosine als vliegtuigbrandstof. De impact hiervan op kosten, klimaat, gezondheid en land - en watergebruik is onderzocht via literatuuronderzoek. Dit onderzoek is uitgevoerd als één van vier deelonderzoeken voor een Adviesrapport voor opdrachtgever Beraad voor Vlieghinder Moet Minder (BVM2) waarin de resultaten van een onderzoek naar de impact van gebruik van alternatieve kerosine als vliegtuigbrandstof worden gepresenteerd. Dit rapport dient als referentiepunt om die impact te bepalen.

Samenvatting

Reizen per vliegtuig geeft gemak maar ook ongemak; de emissies die met vliegverkeer gepaard gaan veroorzaken gezondheidsproblemen en beïnvloeden het klimaat. Een van de manieren om deze effecten te verminderen is synthetische kerosine te gebruiken als vliegtuigbrandstof in plaats van de conventionele kerosine met als grondstof ruwe olie. Om de impact van het in gebruik nemen van synthetische kerosine te bepalen zijn in dit onderzoek de gevolgen bepaald van de huidige conventionele kerosine als brandstof op gebied van klimaat, gezondheid, kosten, watergebruik. Uit het onderzoek is naar voren gekomen dat de emissies van conventionele kerosine ontstaan uit primair verbrandingsproducten maar ook door complexe reacties die de verbrandingsproducten met elkaar en met aanwezige stoffen in de atmosfeer aangaan. Het huidige vliegverkeer verantwoordelijk is voor 3.5% van de totale antropogene invloed op RF. Er is verder gevonden dat 182 tot 32000 vroegtijdige sterfgevallen per jaar wereldwijd te wijten zijn aan de emissies van vliegverkeer. De life cycle emissie voor conventionele kerosine uit ruwe olie is 87.2 gCO₂eq/MJ. De kosten van conventionele kerosine zijn recht evenredig met de ruwe olieprijs, die sterk wordt bepaald door marktwerking, en was de afgelopen 4 jaar gemiddeld 0.468 euro/kg. Het Life Cycle waterverbruik van conventionele kerosine voor varieert tussen de 0.03 en 0.27 m³/GJ afhankelijk van het ruwe olie type dat als grondstof heeft gediend. Aromaten spelen een belangrijke rol in de vorming van toxische stoffen in de luchtvaart gerelateerde emissie maar hebben, vanwege hun opzwellende invloed op rubber, ook een afdicht functie voor het brandstofsysteem van de vliegtuigen. Onderzoeksresultaten laten zien dat niet-aromaten ook rubber kun laten opzwellen. Verder onderzoek hierna wordt aanbevolen om mogelijk aromaatvrij te kunnen vliegen. We bevelen ook aan om verder onderzoek te doen naar het aantal vroegtijdige sterfgevallen als gevolg van de emissies van vliegverkeer aangezien de spreiding op de gevonden aantallen erg hoog is, waarbij het laagste waarde niet significant te noemen is en de hoogste wel. Betrouwbaarder aantallen kunnen helpen om het draagvlak te vergroten voor introductie van synthetische kerosine.

Abstract

Travelling by aircraft is a convenient way of transport however, also results in climate changes and health issues due to its emissions. One way to reduce the effects of these aviation related emissions is the use of synthetic jet fuels instead of the current jet fuel which uses crude oil as feedstock. The effects of the use of jet fuel on climate, health, cost and land and water use have been researched to allow determination of the impact of synthetic jet fuel use. We found that emissions from jet fuel originate from the combustion of the fuel but also from complex reactions these products have with each other and with element present in the atmosphere. The current aviation is responsible for 3.5% of the anthropogenic related RF. It was also found that 182 to 32000 premature deaths as a result of aviation have been estimated in different researches. The Life Cycle emission is found to be 87.2 gCO₂eq/MJ. The cost of jet fuel is strongly related to market forces as its directly related to the oil price and was found to be 0.468 euro/kg over the last 4 years. Depending on the type of feedstock oil the life cycle water use was found to be between 0.03 en 0.27 m³/GJ. Aromatics have an important role in formation of aircraft related toxic emissions but are required to ensure sealing of the fuel systems due to their swelling influence on rubber seals. Research has shown that also non-aromatics can promote swelling of rubber seals. Possibly they can replace the aromatics jet fuel. We recommend researching this topic further to find a way towards aromatic-free fuel. Further research is recommended on the number of premature deaths due to aviation related emissions because the found numbers show a great variance from insignificant to significant. More reliable numbers will help with finding resources for introduction of synthetic jet fuels.

1. Inleiding

1.1. Achtergrondinformatie en Probleem

Reizen per vliegtuig heeft als voordeel dat het reistijden kan verkorten en moeilijk toegankelijke gebieden bereikbaar kan maken in vergelijking met reizen via land of water. Een nadeel van vliegverkeer is dat het de luchtkwaliteit vermindert, en daardoor de volksgezondheid, en het ook het klimaat beïnvloedt door emissies als gevolg van gebruik van fossiele brandstof (Brunelle-Yeung et al., 2014; Kapadia et al., 2016; Morita, Yang, Unger, & Kinney, 2014; Yim et al., 2015).

De verminderde luchtkwaliteit door vliegverkeer wordt veroorzaakt door de uitstoot van fijnstof kleiner dan 2.5 micrometer (Engels: fine Particular Matter: PM_{2.5}) en vorming van ozon (O₃) gedurende alle vluchtfasen (landen, opstijgen en kruisvlucht), en resulteert naast zieken ook vroegtijdig overlijden (Brunelle-Yeung et al., 2014; Morita et al., 2014; Yim et al., 2015). De ingeschatte aantallen voor dit vroegtijdig overlijden lopen uiteen van 16000 ±50% (Yim et al., 2015) tot 410 ±55% (Morita et al., 2014) per jaar, wereldwijd. De grote verschillen in deze onderzoeksresultaten zijn deels te verklaren wanneer rekening gehouden wordt met de spreiding en onzekerheid van de resultaten en voor een andere deel door verschillen in de onderzoeksmethoden.

Het klimaat wordt door de luchtvaart beïnvloed doordat diens emissies de stralingabsorberende en stralingreflecterende eigenschappen van de atmosfeer veranderen. Voor 2005 was het vliegverkeer verantwoordelijk voor 3.5% van deze invloed op de atmosfeer ten opzichte van de totale antropogene invloed hierop (Lee et al., 2009).

Volgens Brasseur et al. (2016) en Kapadia et al. (2016) stoten vliegtuigmotoren stoffen uit die, hetzij als primair product, hetzij na secundaire reacties het klimaat beïnvloeden. Het totaal van deze primaire stoffen en hun secundaire reactieproducten versterken het broeikas effect van de atmosfeer meer dan CO₂ emissie alleen (Lee et al., 2009).

De momenteel gangbare vliegtuigbrandstof (conventionele kerosine) wordt vervaardigd uit ruwe olie. Aangezien dit een fossiele brandstof is, is hiervan de voorraad eindig. Liu, Yan, and Chen (2013) rapporteerde op basis informatie van de International Energy Agency (IEA) dat de luchtvaartsector in 6.3% van de totale ruwe olieproductie verbruikte in 2006.

Als een van de mogelijkheden om het gebruik van conventionele kerosine en de negatieve effecten daarvan te verminderen, wordt door onder andere de Luchtvaarttafel (2014) en Lee et al. (2010), het aanpassen van de vliegtuigbrandstof genoemd.

Er is wel onderzoek uitgevoerd naar effecten op milieu en klimaat door verbranding van verschillende typen vliegtuigbrandstoffen. Maar de onderzoeken richten zich allen op bepaalde aspecten of op een deel van de typen kerosine. Zo gaan Zhang, Hui, Lin, and Sung (2016) in op de technische haalbaarheid van inzet van synthetische kerosine (exclusief PTL) en hun CO₂-uitstoot over de gehele levenscyclus. Staples, Malina, Suresh, Hileman, and Barrett (2018) hebben onderzoek gedaan naar de lifecycle CO₂-uitstoot van biokerosine.

Er ontbreekt nog een compleet overzicht waarin de resultaten van de recente onderzoeken zijn verzameld over en emissies, en de fabricage- en implementatiekosten, en de vereiste aanpassingen van vliegtuig(motor)en en infrastructuur van vliegvelden, en de maatschappelijke gevolgen voor (agrarisch) landgebruik en voedselproductie (door benodigde feedstock), van alle synthetische kerosinesoorten ten opzichte van conventionele kerosine.

InCompany Milieuadvies richt zich op het opstellen van zo'n compleet overzicht op basis waarvan een verantwoorde keuze kan worden gemaakt voor de toekomstige invulling van de brandstofvoorziening

van het vliegverkeer. Via deelonderzoeken hebben wij daartoe, per kerosinesoort, de emissies en kosten bij in gebruik name bepaald.

In dit onderzoek worden alleen de resultaten beschreven van het onderzoek naar de milieu en klimaat effecten van gebruik van conventionele kerosine als vliegtuigbrandstof, de meest gangbare vliegtuigbrandstof op het moment. Deze informatie dient als referentie waarmee de impact van introductie van de verschillende synthetische kerosinesoorten bepaald wordt.

1.2. Vraagstelling

De milieuwetenschappelijke onderzoeksvraag die gehanteerd worden om het complete overzicht op te stellen is:

Wat zijn de milieu-, klimaat-, financiële, infrastructurele en technologische gevolgen van het gebruik van synthetische kerosine als vliegtuigbrandstof?

Het onderzoek hiervoor is in 4 werkpakketen verdeeld naar onderzochte kerosinesoort. In Bijlage A staan de deelonderzoeksvragen voor het complete onderzoek in detail met een overzichtsfiguur die de relatie laat zien tussen de deelonderzoeksvragen en de werkpakketen.

Dit onderzoek beantwoordt de onderzoeksvragen behorend bij werkpakket 4, dat wil zeggen: deelvraag 1 en voor conventionele kerosine deelvragen 2 tot en met 5.

Hierna volgt een opsomming van deze deelvragen met sub-vragen die in detail de onderzoekstappen definiëren. Het onderzoeksdoel van elke sub vraag is in tabelvorm weergegeven.

Deelvraag 1: Welke toxische stoffen worden door verbranding van conventionele kerosine uitgestoten of gevormd en volgens welk proces verloopt dat?

Sub-vragen voor deelvraag 1	Doel
a) Wat zijn de bestanddelen en het fabricageproces van conventionele kerosine?	Achtergrondinformatie
b) Wat is de functie van die bestanddelen?	Achtergrondinformatie
c) Welke stoffen worden door verbranding van conventionele kerosine gevormd?	Antwoord voor onderzoek
d) Welke stoffen daarvan zijn toxisch?	Antwoord voor onderzoek
e) Volgens welk proces worden deze toxische stoffen gevormd?	Antwoord voor onderzoek

Deelvraag 2: Wat is de massa (kg/kg brandstof) van de emissie van toxische stoffen voor conventionele kerosine?

Deelvraag 3: Wat is de Life Cycle emissie in GJ/kg brandstof en massa (kg/kg brandstof) van de emissie van CO₂-equivalenten over de gehele levenscyclus voor conventionele kerosine?

Sub-vragen voor deelvraag 3	Doel
a) Wat zijn de levenscyclus stappen van conventionele kerosine?	Achtergrondinformatie
b) Welke broeikasgassen worden gevormd tijdens de levenscyclus van conventionele kerosine?	Antwoord voor onderzoek
c) Wat is de energetische waarde en massa van de emissie van broeikasgassen over	Antwoord voor onderzoek

Deelvraag 4: Wat zijn de kosten van conventionele kerosine?

Deelvraag 5: Wat is het watergebruik gedurende de Life Cycle van conventionele kerosine?

1.3. Doelstelling

Het doel van dit deelonderzoek is tweeledig:

1. De mechanismen te omschrijven van de vorming/ uitstoot van toxische stoffen en broeikasgassen bij verbranding van conventionele kerosine waarmee beoordeeld kan worden of de alternatieve kerosinesoorten een andere emissieprocessen zouden hebben.
2. De waarden van de emissies en kosten van conventionele kerosine te bepalen om een nulpunt te definiëren zodat de effecten van de verbranding van synthetische kerosine ten opzichte van de huidige situatie kunnen worden bepaald.

1.4. Kenmerken (criteria) resultaten

De resultaten van dit werkpakket rapport moet kunnen worden gebruikt om in het advies rapport te verwerken.

Het maximum aantal woorden voor de tekst vanaf inleiding tot literatuurlijst is 7500.

Het maximum aantal bladzijden voor de tekst vanaf inleiding tot literatuurlijst is 15.

1.5. Randvoorwaarden en afbakening

De randvoorwaarden voor het hier omschreven onderzoek zijn:

- Gegevens geldig voor de subsone civiele luchtvaart. Kruisvluchthoogte voor subsone vliegtuigen ligt tussen de 9 km en 14 km hoogte (Kärcher, 1999).

2. De onderzoeksmethode

De onderzoeksmethode die gehanteerd is om wetenschappelijke onderbouwing te vinden voor de antwoorden op de onderzoeksvragen is systematisch literatuuronderzoek. Systematisch literatuuronderzoek heeft de voorkeur boven intuïtief zoeken naar literatuur omdat dan de kans groter is dat meer relevante literatuur wordt gevonden (Boland, Cherry, & Dickson, 2017).

Het literatuuronderzoek is in de volgende 3 deelonderzoeken gesplitst:

1. Beperkt literatuuronderzoek voor onderbouwing van de achtergrondinformatie voor deelonderzoeksvraag 1 (zie tabellen in hoofdstuk 1.2).
2. Uitgebreid systematisch literatuuronderzoek voor onderbouwing van de emissie waarden van toxische stoffen (g/kg) en broeikasgassen (g/kg en gCO_{2e}/MJ) en watergebruik in antwoord op deelonderzoeksvragen 1, 2, 3 en 5.
3. Beperkt literatuuronderzoek voor onderbouwing van kosten van conventionele kerosine voor deelonderzoeksvraag 4.

Voor de onderbouwing van de achtergrondinformatie is intuïtief, en niet systematisch, naar recente literatuur gezocht omdat het daarvoor minder belangrijk is om alomvattend te zijn.

Databases

Een deel van het onderzoek heeft direct betrekking op de gezondheid van de mens en het andere deel is technisch van aard. Er is daarom gekozen om voor deelonderzoek 2 en 3 in de databases van ScienceDirect, Web of Science en SpringerLink met technisch georiënteerde literatuur te zoeken en ook in Pubmed database die gericht is op medisch georiënteerde literatuur. Voor deelonderzoek 1 is niet in PubMed database gezocht aangezien er geen relatie met gezondheid en ontstaan van ruwe olie wordt verondersteld.

Zoektermen

De zoektermen gebruikt voor het (systematisch) literatuuronderzoek zijn hieronder per onderzoek gerangschikt. Als controle voor de kwaliteit van de zoektermen is steeds zeker gesteld dat relevant geachte, intuïtief geselecteerde, onderzoeken in het zoekresultaat verschenen van tenminste een van de geraadpleegde databases.

Deelonderzoek 1 (Bestanddelen van kerosine)

- Kerogen AND origin
- Formation AND petroleum AND cracking
- Catagenesis AND "crude oil"
- Distillation AND "crude oil"

Deelonderzoek 2 (Vorming van emissie en waarden van toxische emissie en CO₂-eq)

- Emission AND fuel AND aviation
- Emission AND fuel AND combustion AND aviation
- Health AND Emission AND aviation
- Climate AND fuel AND aviation

Onderzoeken gebruikt voor zoektermkwaliteitscontrole: Brasseur et al. (2016), Braun-Unkhoff, Riedel, and Wahl (2017), Brunelle-Yeung et al. (2014), Starik, Savel'ev, Favorskii, and Titova (2018) en Wasiuk, Lowenberg, and Shallcross (2015).

Deelonderzoek 3 (kosten)

- Cost AND fuel AND aviation

Onderzoek gebruikt voor zoektermkwaliteitscontrole: Winchester, McConnachie, Wollersheim, and Waitz (2013).

Het streven was om alleen in de titel en samenvatting zoekvelden te zoeken, in de gevallen dat deze zoekoptie in een database niet beschikbaar was, is voor andere zoekvelden gekozen zo dicht mogelijk bij titel en samenvatting.

De zoektermen zijn toegepast in de volgende zoekvelden:

- ScienceDirect : "Title, abstract or keywords"
- Web of Science : "Topic"
- SpringerLink : "with all the words"
- PubMed : "Title/Abstract"

Selectiecriteria

Gebaseerd op de titel en samenvattingen zijn eerst de mogelijk relevante artikelen geïnventariseerd vanuit de top 50 van de zoekresultaten indien gesorteerd op "relevance" of "best match".

Een algemeen selectiecriteria voor de onderzoeken is dat de volledige tekst beschikbaar is in het Engels, Duits of Nederlands zodat de details van het onderzoek geraadpleegd kunnen worden. De SpringerLink database bevat veel hoofdstukken van boeken waarvan de tekst niet volledig beschikbaar is. Voor de SpringerLink database is daarom de optie "include Preview only content" niet aangevinkt.

Deelonderzoek 1 (bestanddelen van kerosine)

De selectie voor dit onderzoek is intuïtief via de zoektermen uitgevoerd. Zo zijn uiteindelijk 3 tekstboeken gevonden en 1 relevant artikel.

Deelonderzoek 2 (Vorming van emissie en waarden van toxische emissie en CO₂-eq)

Voor het emissie-data literatuuronderzoek is in de 4 databases gezocht met de 4 zoekterm-combinaties zoals hierboven opgesomd. Er zijn alleen onderzoeken geselecteerd niet ouder dan 10 jaar om zeker te stellen dat de recente inzichten werden meegenomen. In eerste instantie zijn op die manier 149 relevante onderzoeken geselecteerd. Bijlage B toont deze artikelen met de gevonden ranking per database. Tabel 1 geeft een overzicht hoeveel artikelen per database en zoektermcombinatie relevant zijn bevonden.

Tabel 1 Aantal geselecteerde artikelen per database en zoektermen

Zoektermen	SD	WoS	SL	PM
Emission AND fuel AND aviation	21	15	13	17
Health AND Emission AND Aviation	15	37	7	5
Emission AND fuel AND combustion AND aviation	13	24	13	5
Climate AND Emission AND Aviation	18	28	11	8

Vervolgens is gekeken welke van deze onderzoeken het meest waren geselecteerd. Het maximaal mogelijke aantal hiervoor is 16 maal (4 data base x 4 zoektermen). Het maximum aantal keer dat eenzelfde artikel als relevant was geselecteerd was 5 maal.

CONVENTIONELE KEROSINE ALS VLIEGTUIGBRANDSTOF

Tabel 2 laat de selectiefrequentie zien ten opzichte van het aantal geselecteerde artikelen.

Tabel 2 Aantal artikelen per selectiefrequentie

Geselecteerd	Aantal
1x	74
2x	51
3x	16
4x	7
5x	1
TOTAAL	149

Er is gekozen om de artikelen met selectie frequentie 5, 4 en 3 in detail te lezen om de antwoorden te vinden op de onderzoeksvragen. Van deze 24 artikelen waren er 2 artikelen waar alleen de samenvatting beschikbaar was. Een samenvatting bevatte toch nuttige informatie en is alsnog meegenomen in het onderzoek. Verder zijn nog 4 intuïtief gevonden artikelen, die minder dan 3x geselecteerd bleken maar ook gebruikt waren om de zoektermen te controleren, toegevoegd aan de resterende 23 relevante artikelen. Tijdens het lezen van de zo geselecteerde artikelen bleek dat er vanuit meerdere onderzoeken werd verwezen naar 2 onderzoeken: (Lee et al., 2009; Lee et al., 2010). Deze artikelen zijn ook toegevoegd zodat het totaal aantal artikelen geraadpleegd om de antwoorden te vinden voor deelonderzoek 2 uit kwam op 29 artikelen. In Bijlage C is een overzicht geplaatst met deze artikelen. Vanuit deze onderzoeken zijn ook weer de gerefereerde onderzoeken geraadpleegd.

Deelonderzoek 3 (kosten)

Voor dit onderzoek is op internet gezocht gezien de dagelijkse wijzigingen van olieprijs.

3. Resultaten

Conventionele kerosine voor toepassing in vliegtuig straalmotoren wordt gemaakt door ruwe olie te destilleren en te kraken en bestaat uiteindelijk uit honderden verschillende koolwaterstoffen. De precieze samenstelling is afhankelijk van de ruwe olie samenstelling en het destillatie en kraak- proces gebruikt om de kerosine te produceren (Tissot & Welte, 1984).

In de volgende paragrafen worden eerst de samenstelling en het verbrandingsproces van conventionele kerosine in kaart gebracht om de oorsprong van de emissies daarvan te kunnen doorgronden. Vervolgens wordt het ontstaansproces, de effecten en de waarden van de emissies per stof beschreven. Dan volgen beschrijvingen van de gevolgen voor land en watergebruik. Als laatste wordt een overzicht gegeven van de gevonden waarden voor de kosten van conventionele kerosine.

3.1. Oorsprong en ontstaanswijze van emissies door verbranding van conventionele kerosine

3.1.1. Van plankton naar kerosine

Er zijn theorieën over abiotische origine van ruwe olie een abiotische, maar tegenwoordig wordt algemeen geaccepteerd dat ruwe olie van biotische oorsprong is, hoewel dit niet onomstotelijk bewezen is. (Speight, 2007)

Tissot and Welte (1984) beschrijven in hun boek in detail het biotische vormingsproces van ruwe olie.

De ruwe olie is een natuurlijk gevormde brandbare vloeistof die zich bevindt tussen rotslagen en wordt gevormd als er lange tijd (miljoenen jaren) hoge druk en verhitting van organisch materialen plaatsvindt. Dit organisch materiaal komt van de resten van vooral prehistorisch zee-plankton en algen.

Speight (2001) stelt dat de samenstelling en eigenschappen van ruwe olie variëren afhankelijk van de vindlocatie, de leeftijd van het olieveld en de diepte van de oliebron. Ondanks de variatie, zo omschrijft hij in zijn boek, zit er op de verhouding van de elementen die in ruwe in ruwe olie voorkomen een kleine bandbreedte.

Elementen in ruwe olie		min %	max %
Koolstof	C	83.0	87.0
Waterstof	H	10.0	14.0
Zwavel	S	0.05	6.0
Stikstof	N	0.1	2.0
Zuurstof	O	0.05	1.5
Metals	Ni & V		1000 ppm

Tabel 3 Elementaire samenstelling van ruwe olie (data uit Speight (2001))

CONVENTIONELE KEROSINE ALS VLIEGTUIGBRANDSTOF

De moleculaire samenstelling van ruwe olie is in 5 groepen in te delen:

- (a) Koolwaterstoffen
- (b) Stikstofverbindingen
- (c) Zuurstofverbindingen
- (d) Zwavelverbindingen
- (e) Metaaldeeltjes

Via destillatie worden de verschillende koolwaterstoffen van de ruwe olie gescheiden in zogenaamde fracties. Deze fracties hebben door hun kookpuntrange ieder verschillende eigenschappen. Voor vliegtuigbrandstoffen wordt vooral de kerosine fractie gebruikt met een kookpunt van 205°C tot en met 260°C. Deze destillatie temperaturen leveren koolwaterstoffen op tussen de 8 en 21 koolstofatomen per molecuul. De kerosine fractie wordt ook gebruikt als stookolie en lampenolie (Speight, 2007).

In Nederland wordt vliegtuigbrandstof aangeduid met kerosine, in Engeland en de USA wordt de term "Jet Fuel" gebruikt. Voor de civiele luchtvaart wordt vooral Jet A en Jet A-1 ingezet (Blakey, Rye, & Wilson, 2011). In dit rapport wordt hierna met kerosine, vliegtuigbrandstof bedoeld tenzij anders aangegeven.

De uiteindelijk verkregen kerosine is een deelverzameling van de middelzware bestanddelen van de gedestilleerde ruwe olie. De bestanddelen van kerosine worden door Edwards (2004) als volgt ingedeeld en omschreven:

- *Alkanen*: verzadigde koolwaterstoffen in een rechte keten (n-alkanen) of vertakt (iso alkanen). Vanwege de stabiele structuur zijn deze stoffen weinig reactief. In kerosine varieert het aantal koolstofatomen in de n-alkanen van 8 tot 16. De alkenen hebben het grootste aandeel in kerosine.
- *Cyclo-alkanen*: verzadigde koolwaterstoffen in een ringstructuur.
- *Aromaten*: onverzadigde koolwaterstoffen met een of meer benzeen ringen. Meerdere benzeenringen kunnen aan elkaar gekoppeld zijn en ook alkanenstructuur en alkenen en alkyenen kunnen onderdeel zijn van een aromaat. Aromaten hebben de neiging om rubber en bepaalde "sealants" op te laten zwellen. Aromaten in kerosine veroorzaken rookvorming en afzettingen op de oppervlakken van de verbrandingskamers (en dragen bij aan vlammen?) waardoor voor de concentratie in specificaties een maximum wordt gesteld van 20 -25 volume%. Het gehalte van aromaten voor kerosine ligt tussen de 10 en 20 % afhankelijk van de ruwe olie.
- *Olefinen*: Onverzadigde alkanen met een of meer dubbele bindingen tussen koolstofatomen. Olefinen zijn reactiever dan de andere koolwaterstoffen. De concentratie is erg laag in gedestilleerde kerosine.
- *Hetero-Organische elementen*: koolwaterstoffen waarbij een koolstofatoom vervangen is door een ander element zoals zwavel, zuurstof en stikstof. Hoewel vaak aanwezig in concentraties van een enkele ppm (parts per million), kunnen zij acteren als smering verbeteraars, maar ook bijdragen aan neerslag vorming.
- *Zwavel*: Alle bekende ruwe olie bevat zwavel in wisselende concentraties. Zwavel kan een corrosief effect op metalen hebben en daarom wordt er een limiet gesteld aan de concentratie hiervan.
- *Metalen*

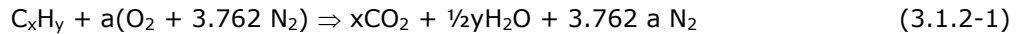
CONVENTIONELE KEROSINE ALS VLIEGTUIGBRANDSTOF

Via vestlegging van CO₂ door fotosynthese processen in plankton is zo CO₂ van miljoenen jaren vastgelegd in de kerosine.

3.1.2. Verbrandingsproces van kerosine

De samenstelling van de kerosine bepaalt ook de emissies van kerosine tijdens verbranding.

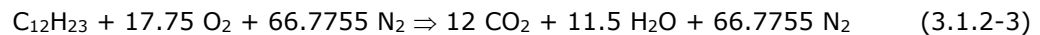
Volgens Ruijgrok and Paassen (2007) is de volledige verbranding van kerosine weer te geven met:



$$a = (x + y/4) \quad (3.1.2-2)$$

Bij verbranding in een straalmotor wordt lucht aangezogen, waarvan de samenstelling globaal bestaat uit 21% O₂ en 79% N₂ (per volume): 1 mol O₂ met 79/21=3.762 N₂ meegezogen (Ruijgrok & Paassen, 2007).

Ter illustratie: als formule (3.1.2-1) en (3.1.2-2) geschreven worden voor C₁₂H₂₃, het equivalent voor de samenstelling van kerosine volgens Ruijgrok and Paassen (2007), wordt de volledige verbrandingsreactie:



Onvolledige verbranding ontstaat bij een gebrek aan O₂ of bij een te lage temperatuur. Aangezien er in de verbrandingskamer verschillende temperaturen heersen, met een maximum rond 2400K, en het onmogelijk is dat op het juiste moment de juist hoeveelheid zuurstof bij alle verschillende koolwaterstoffen in de buurt aanwezig is, is in werkelijkheid de verbranding nooit ideaal (Ruijgrok & Paassen, 2007).

3.2. Ontstaan en effect van emissies door verbranding van kerosine

Ruijgrok and Paassen (2007) beschrijven de producten van kerosine verbranding als volgt:

- Producten van volledige verbranding : CO₂, H₂O
- Producten van onvolledige verbranding : CO, UHC (unburned HydroCarbon), BC (roet)
- Bijproducten van complete verbranding : NO_x
- Producten van brandstof inpuriteiten : NO_x SO_x

Deze emissies ondergaan onderling en met de stoffen al aanwezig in de atmosfeer complexe reacties aan (Brasseur et al., 2016). De emissies en hun secundaire producten beïnvloeden het klimaat, volgens onder andere de (IPCC, 1999) en Lee et al. (2009), en gezondheid (Brunelle-Yeung et al., 2014; Kapadia et al., 2016; Mahashabde et al., 2011).

In de paragrafen hierna wordt van de emissieproducten het ontstaansproces, de onderlinge reacties en de gevolgen van hun emissie op klimaat en gezondheid omschreven. In deze omschrijvingen worden de term aerosol en de afkortingen GWP, RF en PM_{2.5} gebruikt die hier eerst worden verklaard:

Aerosol

Een aerosol is een mengsel van kleine vaste of vloeibare deeltjes in een gas. Voorbeelden zijn: rook, mist, wolken of smog. De afmetingen van een aerosol variëren van 0.002 tot 100µm (Hinds, 1999).

Aerosolen kunnen het klimaat beïnvloeden door straling te absorberen, straling te verspreiden of door te acteren als condensatie kernen waardoor wolken worden gevormd of eigenschappen van wolken worden veranderd (IPCC, 2013).

GWP

GWP staat voor Global Warming Potential en is een coëfficiënt die aangeeft wat de impact van een massa-eenheid van een bepaalde stof is op de Radiative Forcing (RF) ten opzichte van CO₂ gedurende een bepaalde tijd; de GWP van CO₂ wordt aangenomen 1 te zijn.

PM_{2.5}

PM_{2.5} staat voor "fine Particulate Matter" met een diameter kleiner dan 2.5 µm. De Nederlandse term die gebruikt wordt voor Particulate Matter is fijnstof.

Particulate Matter (PM) in de atmosfeer bestaat uit een complexe samenstelling van organische en anorganische stoffen. De World Health Organization WHO (2003) omschrijft PM_{2.5} als:

- Secundair gevormde aerosols,
- Deeltjes ontstaan door verbranding van brandstof
- gehercondenseerde organische- en metaaldampen

Volgens WHO (2003) heeft PM_{2.5} in de atmosfeer invloed op de gezondheid; er een sterk verband aangetoond tussen PM_{2.5} in de atmosfeer en vroegtijdig overlijden en hart- en longziekten.

De diameter van de PM afkomstig van vliegtuigstraalmotoren is zeer klein met diameters vooral tussen de 30 en 100 nm; de PM uitstoot van de commerciële straalvliegtuigen kan daarom beschouwd worden als PM_{2.5} (Wayson, Fleming, & Iovinelli, 2009).

RF

Het rapport van de IPCC (1999) heeft de invloed van een broeikasgas, bepaald via metingen, uitgedrukt in Radiative Forcing (RF), Engels voor stralingsforcering. De RF drukt de verstoring of verandering uit van de energiebalans van het aardse atmosfeer systeem, ten opzichte van het jaar 1750, in Watt per vierkante meter (W/m^2). Een positieve RF heeft een netto opwarmend effect en een negatieve RF heeft een netto verkoelend effect (IPCC, 1999). De RF heeft een positieve correlatie met temperatuuroename op aarde, maar is in het geval van luchtvaart emissies niet lineair (Lee et al., 2010).

Volgens Lee et al. (2009) veroorzaakte de luchtvaart in 2005 een RF van $0.078 W/m^2$ ($38-139mW/m^2$), met een 90% waarschijnlijkheid, wat overeenkomt met 4.9% van de totale antropogene RF.

3.2.1. Volledige verbranding van kerosine

CO₂

CO₂ ontstaat bij verbranding van koolwaterstoffen zoals formules (3.1.2-1) en (3.1.2-3) laten zien. Volgens vele onderzoeken van onder andere Blakey et al. (2011), Braun-Unkhoff and Riedel (2015), Brasseur et al. (2016) is CO₂ een broeikasgas met een positieve Radiative Forcing (RF) en heeft dus een opwarmend effect.

H₂O

H₂O, als waterdamp, is een product van volledige verbranding van kerosine en heeft verschillende uitwerkingen afhankelijk van de hoogte waarop het uitgestotene wordt.

Op grote hoogten, in de stratosfeer, gedraagt H₂O zich als een broeikasgas met een opwarmend effect (Brasseur et al., 2016) en ter hoogte van de tropopauze vormt de waterdamp condenssporen (Engels: contrails) door de uitstoot van de waterdamp in de zeer lage temperaturen op die hoogte (Lee et al., 2010; Ruijgrok & Paassen, 2007). De contrails hebben ook een opwarmend effect mits lang genoeg aanwezig (Braun-Unkhoff et al., 2017; Lee et al., 2010).

Op lagere hoogten is de hoeveelheid antropogene waterdamp te verwaarlozen in vergelijking met de natuurlijk gegenereerde waterdamp. (Ruijgrok & Paassen, 2007).

N₂

N₂ is een standaard bestanddeel van de atmosferische samenstelling en heeft op directe wijze geen impact op het klimaat of gezondheid, echter bij aanzuiging van lucht in de vliegtuigmotoren komt het de verbrandingskamer binnen en kan voor NO_x uitstoot zorgen (Ruijgrok & Paassen, 2007).

3.2.2. Onvolledige verbranding van kerosine

Bij onvolledige verbranding kunnen naast de stoffen genoemd in de vorige paragraaf ook de volgende stoffen worden uitgestoten.

UHC of HC

(U)HC staat voor "(Unburned) Hydro Carbonates" en vertaalt zich naar onverbrande koolwaterstoffen. (U)HC worden gevormd tijdens de vroege fase van het verbrandingsproces van kerosine. Bij gebrek aan zuurstof of een te lage temperatuur treedt geen volledige verbranding op en reageren de UHC niet verder en worden uitgestoten. (Ruijgrok & Paassen, 2007).

Volgens Lee et al. (2010) hebben metingen uitgewezen dat de (U)HC bestaan uit de relatief lichte koolwaterstoffen met 2 tot 6 koolstofatomen. Anderson, Chen, and Blake (2006) hebben 33 verschillende koolwaterstoffen gemeten in uitlaat van een motor tijdens kerosine verbranding.

Voorbeelden van (U)HC zijn:

- *Aromaten* (Braun-Unkhoff & Riedel, 2015; Lee et al., 2010). Volgens het onderzoek van Braun-Unkhoff and Riedel (2015), vormen de aromaten zich eerst tot poly aromatische koolwaterstoffen (PAH), die acteren als voorloper voor roetdeeltjes. Deze roetdeeltjes zijn toxisch vooral als de diameter kleiner wordt dan 100nm, maar ook de PAH op zich beïnvloeden de gezondheid negatief.

De aromaten in kerosine zorgen echter ook voor goede afdichting in de motor doordat ze afdichtrubbers laten opzwellen (Stratton, Wolfe, & Hileman, 2011; Zhang et al., 2016). Romanczyk et al. (2019) hebben het zwelgedrag van gangbare O-ringen in vliegtuigbrandstofsysteem onderzocht bij 11 verschillende aromaten en 7 andere toevoegingen. De aromaten zorgden voor de grootste volume vergroting van de o-ringen, maar ook niet aromaten zoals cyclohexeen en 1.5 hexadiene veroorzaakte opzwellen. Das et al. (2017) hebben voor verschillende bestanddelen van brandstoffen de zweleigenschappen op Onitel ringen onderzocht, waarvan een vijftal ook door Romanczyk et al. (2019) de roetvorming bepaald. Bij het combineren van de resultaten van deze twee onderzoeken blijkt dat de stof die het meeste zwelgedrag veroorzaakt niet de stof is die ook de meest roet veroorzaakt. Dit impliceert dat goed zwelgedrag mogelijk niet een verhoogde roet emissie inhoudt. In Bijlage D staat een gecombineerde tabel met resultaten van beide onderzoeken.

- *Aldehyden* (Kapadia, 2015; Lee et al., 2010; Li et al., 2014). Volgens Li et al. (2014) vormen de aldehyden een gevaar voor de gezondheid omdat ze toxisch, mutageen en ook kankerverwekkend zijn en daarnaast ook voor O₃ vorming zorgen dat een irriterend gas is.
- *OC* (Kapadia, 2015). OC staat voor "Organic Carbon". De OC-aerosol verspreidt licht, met als gevolg een negatieve RF en daarom een verkoelend effect (IPCC, 2013)

CH₄

CH₄ (Methaan) komt vrij bij het winnen van fossiele brandstoffen en ook bij verbranding ervan (IPCC, 2013). CH₄ is ook een natuurlijk element van de atmosfeer en volgens Brasseur et al. (2016) heeft CH₄ een positieve RF en dus een opwarmend effect.

CONVENTIONELE KEROSINE ALS VLIEGTUIGBRANDSTOF

BC

BC staat voor het Engelse "Black Carbon". Volgens Kapadia (2015) ontstaat BC door onvolledige verbranding en is dit een aerosol die licht absorbeert. Deze deeltjes worden ook roet genoemd; de Engelse term daarvoor is soot.

Volgens Ruijgrok and Paassen (2007) wordt roet gevormd door het samenklonteren van onverbrande koolwaterstoffen die ontstaan zijn bij niet goed vernevelen van de brandstof en een tekort aan zuurstof tijdens het verbranding van de kerosine.

BC heeft een positieve RF en resulteert daarom in opwarming (Kapadia, 2015).

Naast opwarming kan BC emissie ook wolkenvorming beïnvloeden doordat de roet het aantal ijskristallen in de atmosfeer kan doen afnemen of toenemen, het bewijs voor dit mechanisme is nog onzeker en het uiteindelijk effect op RF ook (Lee et al., 2010).

CO

UHC oxideren bij de juiste omstandigheden via CO naar CO₂. Bij gebrek aan de zuurstof of te lage temperatuur kan het volledige oxidatie proces niet gevolgd worden waardoor CO en UHC vorming toeneemt. Bij te hoge temperatuur, boven 1800K kan ook CO ontstaan door dissociatie van CO₂. (Ruijgrok & Paassen, 2007).

CO ingeademd hecht zich aan hemoglobine in plaats van zuurstof en verhindert zo het zuurstof transport voor het lichaam en is daarmee een groot gevaar voor de gezondheid (Ruijgrok & Paassen, 2007).

3.2.3. Bijproducten en verontreiniging van kerosine verbranding

NO_x

NO_x staat voor NO (90%) en NO₂ (10%) en kan via verschillende processen worden gevormd, waarvan het thermische NO_x proces het belangrijkste voor vliegtuigen is. Bij dit proces wordt N₂, als onderdeel van de aangezogen lucht in de verbrandingskamer, geoxideerd door radicale O dat op zijn beurt gevormd is via dissociatie van het zuurstof molecuul als gevolg van de hoge temperatuur in de verbrandingskamer van de motor. Bij een overschot aan O₂ neemt de NO_x echter niet toe omdat dat meer lucht vraagt waardoor de temperatuur in de verbrandingskamer afneemt waardoor de dissociatie van zuurstof op zijn beurt weer afneemt. De maximale uitstoot van NO_x is bij een stochastisch mengsel van brandstof en zuurstof. Er komt ook stikstof in de brandstof als verontreiniging mee die via hetzelfde proces tot NO_x kan vormen, echter de huidige raffinage- en zuiveringstechnieken zorgen voor een minimale bijdrage van N via deze weg (Ruijgrok & Paassen, 2007).

De uitstoot van NO_x verhoogt, via complexe chemische reacties, de ozon (O₃) en OH concentraties. Deze OH zorgt op zijn beurt voor een reductie in CH₄ (Brasseur et al., 2016).

O₃ en CH₄ hebben beide een positieve RF; de reductie van CH₄ veroorzaakt daardoor een verkoelend effect. Het totale effect hiervan wordt door Lee et al. (2009) als opwarmend gerapporteerd. De IPCC (2013) rapporteren, in fig. 8.17, een netto negatieve RF hiervoor met de kanttekening dat er door grote onzekerheden in de schattingen van deze RF waarden het niet zeker is of het netto effect van NO_x een positieve of negatieve RF heeft.

NO_x uitstoot ontwikkelt zich ook naar vluchtige nitraat aerosols die een koelend effect hebben. (Brasseur et al., 2016).

NO₂ is schadelijk voor ons ademhalingsstelsel (Ruijgrok & Paassen, 2007)

CONVENTIONELE KEROSINE ALS VLIEGTUIGBRANDSTOF

SO_x

SO_x staat voor SO₂ en SO₃. De zwavel oxiden ontstaan vanuit de zwavel verontreiniging die zich in kerosine bevindt, hoewel het gehalte hiervan tegenwoordig erg laag ligt (Ruijgrok & Paassen, 2007). Brasseur et al. (2016) omschrijven dat SO₂ uitstoot zich ontwikkelt naar vluchtige sulfaat aerosols.

Kapadia et al. (2016) voegen hieraan toe dat meer dan de helft van vliegtuig sulfaat emissies op lage hoogte indirect wordt gevormd door oxidatie van SO₂ van andere oorsprong via de OH geproduceerd vanuit de luchtvaart gerelateerde NO_x emissie.

De sulfaat aerosols hebben een koelend effect hebben, tenzij ze een BC aerosol bedekken dan vergroten ze het opwarmend effect van die aerosol (Brasseur et al., 2016; Lee et al., 2010).

SO_x is schadelijk voor ons ademhalingsstelsel (Ruijgrok & Paassen, 2007). Wanneer SO₂ in de troposfeer terecht komt, kan het via oxidatie tot H₂SO₄ leiden en via aerosolvorming uiteindelijk tot ontwikkeling van wolken, die op hun beurt het klimaat beïnvloeden (Kapadia et al., 2016). Barrett, Britter, and Waitz (2010) hebben gevonden dat de H₂SO₄ aerosol een van de belangrijke veroorzakers is van mortaliteit door vliegtuig gerelateerde emissie.

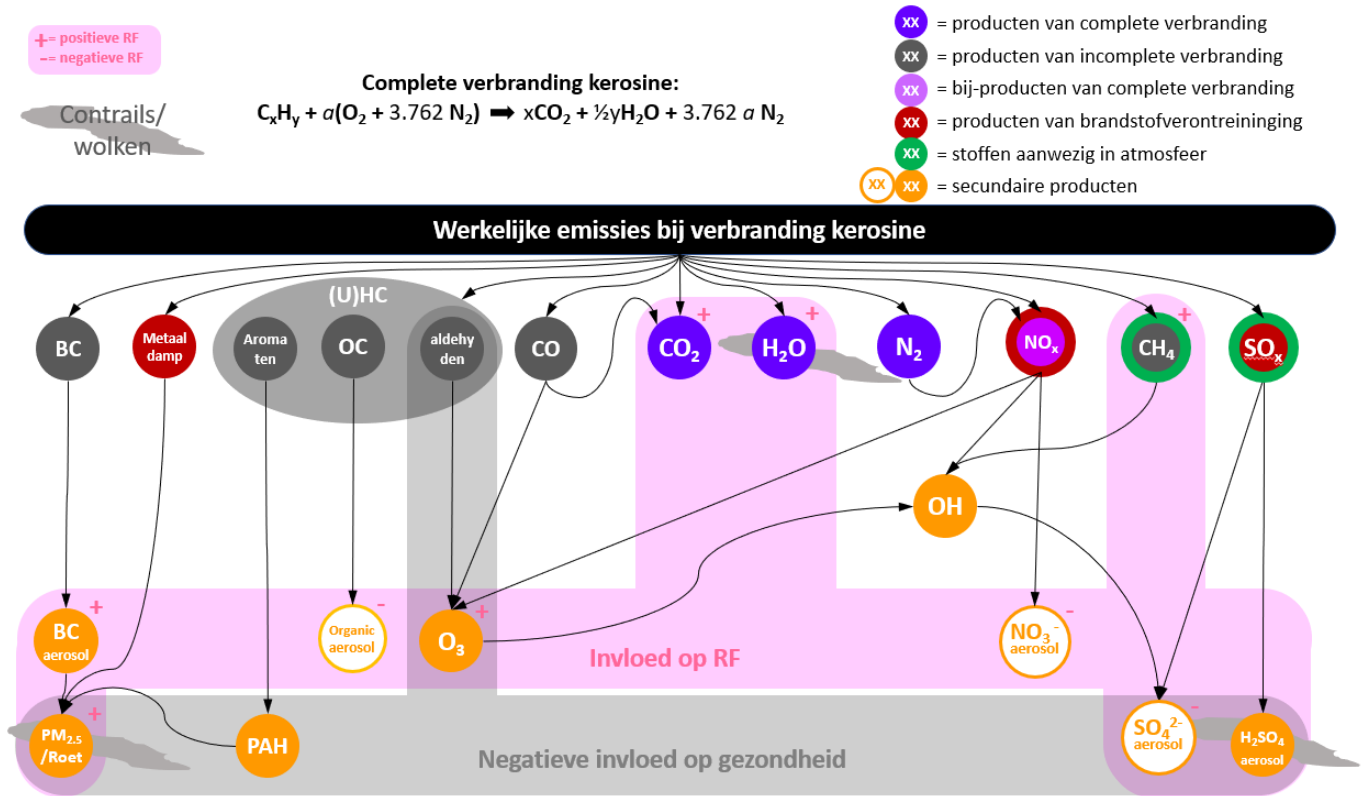
Kapadia et al. (2016) hebben met hun onderzoek aangetoond dat een afname van het gebruikelijke zwavelgehalte in kerosine van 600ppm naar 15 ppm, resulteert in een afname van 17 % van vroegtijdig sterfte (gerelateerd aan vliegverkeer), maar tegelijkertijd een toename van de RF met 7.0 mW/m².

Zware metalen

Metalen zoals bijvoorbeeld Fe, Cu en Zn kunnen als sporelement aanwezig zijn in kerosine, via de ruwe olie, en bij onvolledige verbranding met roetdeeltjes worden uitgestoten als PM_{2.5} (Masiol & Harrison, 2014).

Figuur 1 laat in een diagram de emissies zoals hiervoor omschreven en de onderlinge relaties daarvan zien.

CONVENTIONELE KEROSINE ALS VLIEGTUIGBRANDSTOF



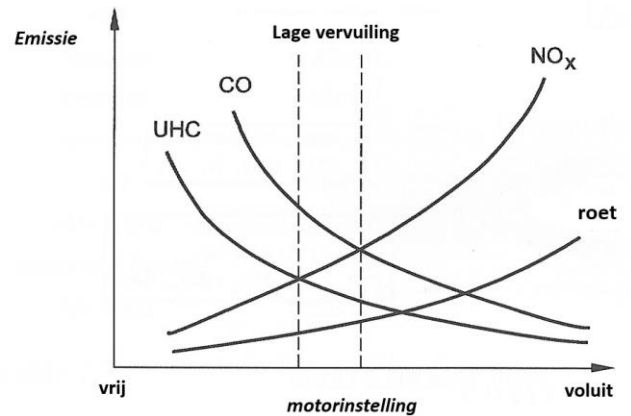
Figuur 1 Oorsprong van emissies bij kerosine verbranding en de gevolgen daarvan

3.2.4. Invloed van de vluchtfase op emissies

De vluchtfase heeft invloed op de emissies omdat de verhouding lucht/brandstof en temperaturen verschillen in die fasen (Braun-Unkhoff et al., 2017; Kapadia, 2015; Ruijgrok & Paassen, 2007). Bij lage temperaturen en onvolledige verbranding zijn UHC en CO emissie hoog, bij hoge temperaturen en rijke brandstof mengsels wordt de roet- en NO_x-uitstoot hoog.

Volgens Braun-Unkhoff et al. (2017) is emissie bij kerosineverbranding als volgt afhankelijk van vluchtfases:

- CO₂ in verhouding met hoeveelheid kerosine
- H₂O in verhouding met hoeveelheid kerosine
- SO_x in verhouding met hoeveelheid S in kerosine
- CO hoog bij lage thrust settings: taxi en idle
- UHC hoog bij lage thrust settings: taxi en idle
- NO_x hoog bij hoge thrust settings: start en klim
- PM hoog bij hoge thrust settings: start en klim
- Roet hoog bij hoge thrust settings: start en klim



Figuur 2 Emissie niveau vs motor instelling
(vertaald uit Ruijgrok and Paassen (2007))

3.2.5. Emissiewaarden van verbranding van conventionele kerosine

Uitgaande van de afgeronde molaire massa, volgt uit formule (3.1.2-3), dat bij volledige verbranding van 1 kg kerosine, 3.16 kg CO₂ en 1.24 kg H₂O wordt geproduceerd (Ruijgrok & Paassen, 2007).

Tabel 4 en

Tabel 5 tonen de gevonden emissiewaarden in de geraadpleegde onderzoeken per uitgestoten stof (primair en secundair) respectievelijk in g/kg en W/m².

Tabel 4 Overzicht Emissie per massa kerosine (g/kg)

Stof	extremen		uitstoot waarden vanuit onderzoek						
	min g/kg	max g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
CO ₂	3149	3160	3158 ^a	3150 ^b	3160 ^c	3154 ^d	3150 ^e	3149 ^f	
H ₂ O	1230	1240	1233 ^a	1240 ^b	1240 ^c	1240 ^d	1230 ^f		
CO	0.7	4.87	3.59 ^a	0.7-2.5 ^b	3.61 ^e	2-3 ^c	2-3 ^d	4.87 ^f	
SO _{2/x}	0.6	1.17	1.17 ^a	1 ^b	1.18 ^e	0.6-1.0 ^c	0.6-1.0 ^d	1 ^e	0.84 ^f
NO _x	4.32	23.11	4.32 ^a	6-20 ^b	13.89 ^e	12-17 ^c	12-17 ^d	23.11 ^f	
PM _{2.5}	40	1830	100-700 ^b	40-1830 ^h					
(U)HC	0.1	0.6	0.1-0.6 ^c	0.1-0.6 ^d					
Black Carbon (BC)	0.025	0.032	0.032 ^a	0.025 ^e					
soot	0.01	0.2	0.01-0.2 ^b	0.01-0.05 ^c	0.01-0.05 ^d				
CH ₄	0.01	0.33	0.010-0.330 ⁱ						
Formaldehyden HCHO	1.24	4.3	1.24 ^e	1.5-4.3 ^j					
Acetaldehyd _e CH ₃ CHO	0.1	0.7	0.33 ^e	0.1-0.7 ^j					
Acrolein C ₃ H ₄ O	0.85	1.8	0.85-1.8 ^j						
ethane C ₂ H ₆	0.0394	0.0394	0.0394 ^e						
propane C ₃ H ₈	0.03	0.03	0.03 ^e						
Methanol CH ₃ OH	0.22	0.22	0.22 ^e						
acetone (CH ₃) ₂ CO	0.18	0.18	0.18 ^e						
Organic Carbon (OC)	0.0021	0.0352	0.0352 ^a	0.0062 ^e	0.0021-0.0054 ^h				
N ₂ O	0.06	0.16	0.060-0.160 ⁱ						

^aBrasseur et al. (2016), ^bBraun-Unkhoff et al. (2017), ^cLee et al. (2009), ^dLee et al. (2010), ^eLiu et al. (2019), ^fWasiuk et al. (2015), ^gKapadia et al. (2016), ^hWayson et al. (2009), ⁱSantoni et al. (2011), ^jLi et al. (2014).

Tabel 5 RF-waarden als gevolg van kerosine verbranding

	W/m ²	W/m ²	W/m ²
CO ₂	0.028 ^a	0.028 ^b	
H ₂ O	0.0028 ^a	0.0028 ^b	
SO _{2/x}	-0.0048 ^a	-0.0009 to -0.007 ^c	-0.0048 ^b
NO _x	0.0138 ^a	0.0138 ^b	0.004 to 0.007 ^c
Black Carbon (BC)	0.0001-0.0003 ^c		
soot	0.0034 ^a	0.0034 ^b	
O ₃	0.006 to 0.0365 ^c		
Lineair contrails	0.0118 ^a	0.0118 ^b	
Induce cirrus cloudiness	0.033 ^a	0.033 ^b	

^aBlakey et al. (2011), ^bMahashabde et al. (2011), ^cKapadia et al. (2016).

CONVENTIONELE KEROSINE ALS VLIEGTUIGBRANDSTOF

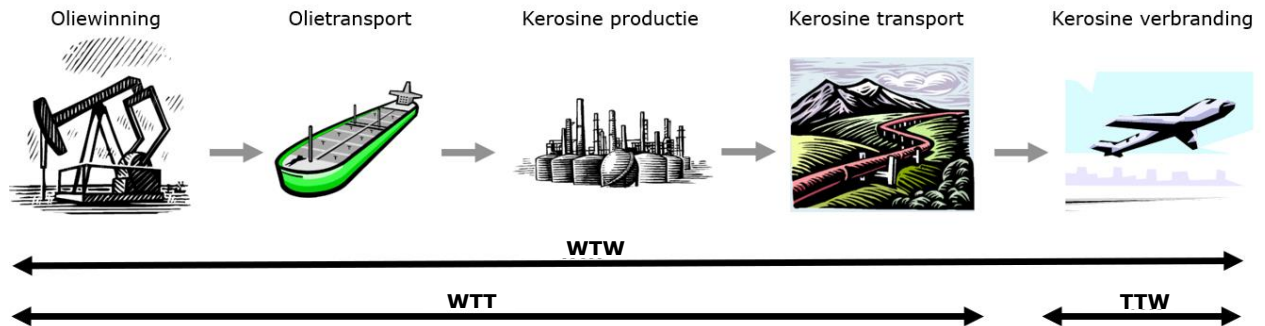
Volgens Lee et al. (2009) was de luchtvaart gerelateerde emissie in 2005 verantwoordelijk voor 2-14% van de antropogene RF. Uit

Tabel 5 is af te lezen dat de non-CO₂ uitstoot (exclusief de wolken vorming) verantwoordelijk is voor de helft van de RF van de totale uitstoot als gevolg van kerosine verbranding.

De variatie die gevonden is voor de emissies binnen een onderzoek wordt toegeschreven aan de emissievariatie als gevolg van de vliegfase.

3.3. Life Cycle emissies van conventionele kerosine

Naast emissies tijdens verbranding van kerosine vindt er ook emissie plaats tijdens de winning van de ruwe olie, het transport van bron naar raffinaderij, het raffineren van olie naar kerosine en transport van kerosine van raffinaderij naar vliegvelden. De emissies van deze hele levenscyclus (Life Cycle) van verschillende kerosinesoorten zijn bepaald door Stratton, Wong, and Hileman (2010). De Engelse term die voor de Life Cycle van brandstof gebruikelijk gebezigd wordt is "Well-to-Wake" (WTW). Voor kerosine wordt ook wel het toepasselijker Well-to-Wing gebruikt (WTW). WTW wordt onderverdeeld in "Well-to-Tank" (WTT) en "Tank-to-Wing" (TTW) (Figuur 3).



Figuur 3 Life Cycle stappen van kerosine naar strsttie

Stratton et al. (2010) hebben de broeikasgasemissie voor elke Life Cycle stap van kerosine uitgedrukt in gram per energie verbruikt door het vliegtuig i.e. g/MJ. Daarbij hebben zij voor de WTT fase de emissies van CO₂, CH₄ en N₂O meegenomen en voor de TTW fase alleen van CO₂. Via de Global Warming Potential (GWP), een maat voor warmte vasthouden ten opzichte van CO₂, worden de CH₄ en N₂O massa omgerekend naar een CO₂ massa die hetzelfde opwarmende effect zou hebben. De eenheid die hiervoor gebruikt wordt is gCO₂eq/MJ. Waarbij gCO₂eq staat voor gram equivalent CO₂.

Stratton et al. (2010) hebben voor conventionele kerosine op basis van ruwe aardolie, olie zanden en schalieolie, Life Cycle emissies bepaald van respectievelijk 87.6, 103.4 en 121.6 gCO₂e/MJ.

Tabel 6. Life Cycle emissie voor conventionele kerosine naar olie type (naar Stratton et al. (2010)) laat de opbouw per Life Cycle stap van deze emissies zien.

Grondstof kerosine	WtT						TtW	Total
	CO ₂				N ₂ O	CH ₄	CO ₂	
	Winning	Olie Transport	Kerosine Productie	Kerosine Transport			Verbranding	
	gCO ₂ /MJ	gCO ₂ /MJ	gCO ₂ /MJ	gCO ₂ /MJ	gCO ₂ e/MJ	gCO ₂ e/MJ	gCO ₂ /MJ	gCO ₂ e/MJ
Ruwe olie	4.2	1.5	5.5	0.8	0.1	2.3	73.2	87.6
Oliezanden	19.7	1.3	5.5	0.5	0.1	3.0	73.2	103.3
Schalie olie	41.2	0.6	3.3	0.6	0.2	2.5	73.2	121.6

Tabel 6. Life Cycle emissie voor conventionele kerosine naar olie type (naar Stratton et al. (2010))

Voor de Life Cycle emissie van kerosine rapporteren, op basis van ruwe olie, de Jong et al. (2017) 83.8 gCO₂e/MJ, Blakey et al. (2011) 90 gCO₂e/MJ en Zhang et al. (2016) 88 gCO₂e/MJ. Hileman and Stratton (2014) hebben de Life Cycle emissie bepaald inclusief emissie van niet-CO₂ tijdens de

CONVENTIONELE KEROSINE ALS VLIEGTUIGBRANDSTOF

verbranding en vonden waarden van 180 gCO₂e/MJ voor ruwe olie naar conventionele kerosine en 200 gCO₂e/MJ voor Oliezanden naar conventionele kerosine.

3.4. Gevolgen voor land/watergebruik en voedselproductie

Het benodigd land voor oliewinning en raffinage tot kerosine beperkt zich tot het oppervlakte benodigd voor de winning en raffinage. In het Life Cycle onderzoek van alternatieve brandstoffen versus conventionele kerosine van Stratton et al. (2010) wordt het landgebruik ten behoeve van conventionele kerosine vervaardiging niet meegenomen. In dit onderzoek wordt daarom aangenomen dat de gevolgen voor landgebruik en voedselproductie te verwaarlozen zijn bij gebruik van conventionele kerosine.

Het watergebruik voor olieraffinage ligt tussen de 1 en 2.5 liter water per liter olie (King & Webber, 2008). Het winnen van olie uit schalie vraagt tussen de 2 en 5 liter water per liter olie en winning van olie uit teerzanden vraagt 3 tot 7 liter water per liter olie (King & Webber, 2008). Gecombineerd met een energie dichtheid van 42.3 MJ/kg en een volume dichtheid van gemiddeld 805 kg/m³ (Edwards, 2004) ligt het watergebruik voor conventionele kerosine dan tussen de 0.03 en 0.27 m³/GJ. Tabel 7 laat de opbouw en details van dit waterverbruik zien.

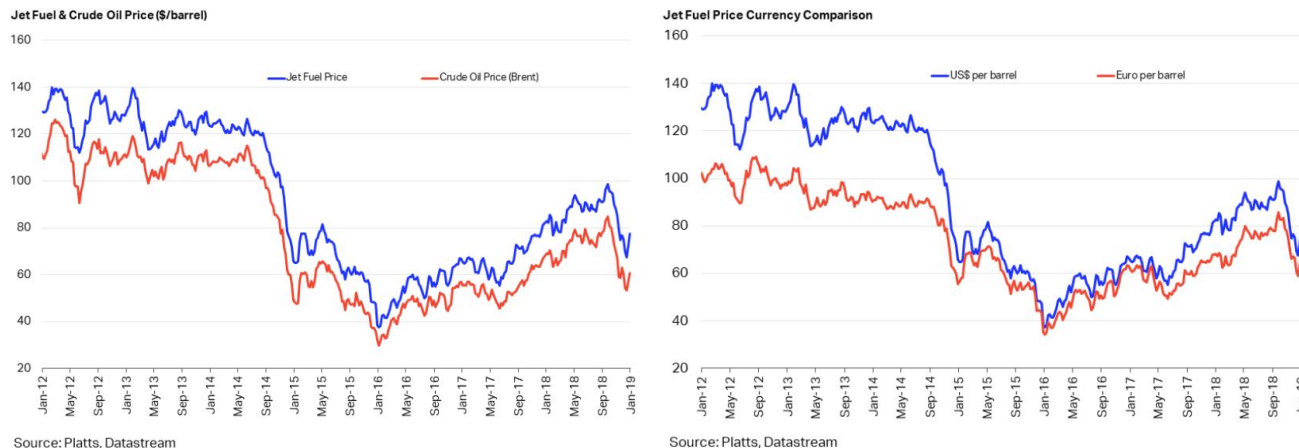
Tabel 7. Waterverbruik voor productie conventionele kerosine (data uit King and Webber (2008))

Grondstof	Winning		Raffinage		Totaal		Totaal	
	min	max	min	max	min	max	min	max
kerosine	l_w/l_o	l_w/l_o	l_w/l_o	l_w/l_o	l_w/l_o	l_w/l_o	m ³ /GJ	m ³ /GJ
Ruwe olie	0	0	1	2.5	1	2.5	0.03	0.07
Oliezanden	3	7	1	2.5	4	9.5	0.12	0.27
Schalie olie	2	5	1	2.5	3	7.5	0.09	0.22

l_w = liter water l_o = liter olie

3.5. Kosten van gebruik van conventionele kerosine

De kosten van kerosine zijn direct afhankelijk van de olieprijs (Figuur 4).



Figuur 4 Kerosine prijs versus ruwe olie prijs en \$ en euro per vat (barrel) (IATA, 2019).

De kerosineprijs lag de afgelopen 4 jaar tussen de 35 en 85 euro/barrel.

De gemiddelde kerosineprijs over de afgelopen 4 jaar/barrel = 60 euro/barrel

1 barrel = 159 liter

De dichtheid van kerosine bij 15°C = 804 - 808 kg/m³ (Edwards, 2004)

De gemiddelde kerosineprijs over de afgelopen 4 jaar/kg = 0.468 euro/kg

4. Discussie en Conclusie

4.1. Discussie

Bij het systematisch onderzoek zijn er zeer veel relevante onderzoeken gevonden, die toxiciteit en/of klimaat effecten beschrijven van verschillende stoffen. De terminologie die gehanteerd wordt voor emissies in deze onderzoeken varieert en overlapt ook vooral voor BC, roet, soot, OC. In dit onderzoek is een poging gedaan deze emissies goed te definiëren.

Alleen bij onderzoeken van Russische oorsprong werd N₂O emissie waarden gevonden (Dmitrieva & Grabar, 2017; Grabar et al., 2011; Santoni et al., 2011). Uit de tekst van deze onderzoeken is niet op te maken of het hier om uitstoot tijdens verbranding gaat of uitstoot tijdens de WTT fase. Volgens Lee et al. (2009) is N₂O een broeikasgas maar zij rapporteren N₂O alleen als onderdeel van de totale antropogene emissie en niet bij de vliegverkeer gerelateerde emissies. Stratton et al. (2011) rapporteren N₂O als onder deel van de WTT fase.

Het geschatte aantal vroegtijdige sterfgevallen als gevolg van emissies van vliegverkeer varieert van 160 tot 32000 op mondiaal niveau. De onzekerheid is weliswaar groot (<±50%) maar verklaart niet het verschil. De methoden en modellen die gebruikt waren verschilde ook, waarom die methoden en modellen op zo'n groot verschil uitkwamen is niet duidelijk.

4.2. Conclusies

De schadelijkheid voor het klimaat van de uitstoot van CO₂ door verbranding van conventionele kerosine komt voort uit het verhogen van de atmosferische CO₂ met CO₂ miljoenen jaren geleden vastgelegd vanuit de atmosfeer door plankton. Dit effect kan verminderd worden indien er een brandstof verbrand wordt die atmosferische CO₂ recent heeft vastgelegd, zodat CO₂ vastlegging en uitstoot tezamen als neutraal beschouwd kunnen worden.

De aromaten hebben een goede en een slechte kant; zij zorgen voor een goede afdichting in de brandstofsysteem maar ook voor een verminderde volksgezondheid via uitstoot van PM_{2.5}. De hoeveelheden die in conventionele kerosine voorkomen zijn hoger dan nodig voor goede afdichting en mogen verminderd worden tot 8% vol. Helemaal elimineren lukt op korte termijn niet vanwege de eisen voor afdichting van het brandstofsysteem; op langere termijn wellicht wel als er een alternatief voor de afdichting wordt gevonden.

SO_x uitstoot kan verminderen door het reinigen brandstof, dit zou lucht kwaliteit verbeteren door minder PM_{2.5}, maar vermindert ook het koelend effect van de sulfaat aerosolen.

NO_x uitstoot is onvermijdelijk door N₂ aanwezig in atmosfeer.

De luchtvaart is met verbranding van conventionele kerosine verantwoordelijk voor 3.5% RF van broeikasgassen en zorgt mondiaal tussen de 182 en 32000 vroegtijdige sterfgevallen per jaar.

De CO₂-emissie index voor conventionele kerosine = 3.16 kg/kg brandstof

Life Cycle broeikasgasemissie voor conv. kerosine van ruwe olie = 87.6 gCO₂eq/MJ

De RF als gevolg van CO₂ uitstoot via conv. kerosine = 28 mW/m²

Prijs van conventionele kerosine gemiddeld over laatste 4 jaar = 0.468 euro/kg

Het waterverbruik gedurende levenscyclus van conv. kerosine = 0.03 – 0.27 m³/GJ

Het landgebruik is minimaal

5. Aanbevelingen

De eerste aanbeveling voor BVM2 is om voor een alternatieve brandstof te lobbyen die de luchtkwaliteit minder aantast zodat de omwonenden van vliegveld Eindhoven zo snel mogelijk daarvan kunnen profiteren. Daarvoor zou vooral op een laag aromaat- en zwavelgehalte gelet moeten worden. Uitstoot van een brandstof zonder zwavel resulteert weliswaar in hogere de RF maar verhoogt wel de luchtkwaliteit (§3.2.3).

Er wordt aanbevolen om meer onderzoek te doen naar de oorzaak van de grote spreiding van die gevonden aantal vroegtijdige sterfgevallen als gevolg van toxische emissies van luchtvaart (§1.1). Als het aantal vroegtijdige sterfgevallen en ziekten een grotere zekerheid heeft is, wordt mogelijk het draagvlak groter om van conventionele kerosine over te stappen naar synthetische kerosine.

Om ooit de aromaten te kunnen elimineren in kerosine wordt aanbevolen om aan te sturen op onderzoek naar zweleigenschappen van niet roetvormend bestanddelen die kunnen worden toegevoegd aan kerosine of naar een ander type afdichting voor brandstofsysteem die niet afhankelijk is van aromaten (§ 3.2.2)

Er wordt geadviseerd om aan te sturen om uiteindelijk in te zetten op gebruik van alternatieve kerosinesoorten die recent CO₂ hebben vastgelegd of helemaal geen CO₂ uitstoten, zodat de broeikasgassen uitstoot als gevolg van het vliegverkeer naar beneden gaat.

Om duidelijkheid te krijgen over het moment van NO_x emissies wordt aanbevolen om verder onderzoek hier naar uit te voeren (§3.2.3.).

6. Literatuur

- Anderson, B. E., Chen, G., & Blake, D. R. (2006). Hydrocarbon emissions from a modern commercial airliner. *Atmospheric Environment*, 40(19), 3601-3612. doi:10.1016/j.atmosenv.2005.09.072
- Barrett, S. R. H., Britter, R. E., & Waitz, I. A. (2010). Global Mortality Attributable to Aircraft Cruise Emissions. *Environ Sci Technol*, 44(19), 7736-7742. doi:10.1021/es101325r
- Blakey, S., Rye, L., & Wilson, C. W. (2011). Aviation gas turbine alternative fuels: A review. *Proceedings of the Combustion Institute*, 33, 2863-2885. doi:10.1016/j.proci.2010.09.011
- Boland, A., Cherry, M. G., & Dickson, R. (2017). *Doing a systematic review*. London: SAGE Publications Ltd.
- Brasseur, G. P., Gupta, M., Anderson, B. E., Balasubramanian, S., Barrett, S., Duda, D., . . . Zhou, C. (2016). IMPACT OF AVIATION ON CLIMATE FAA's Aviation Climate Change Research Initiative (ACCRI) Phase II. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 97(4), 561-583. doi:10.1175/bams-d-13-00089.1
- Braun-Unkhoff, M., & Riedel, U. (2015). Alternative fuels in aviation. *CEAS Aeronautical Journal*, 6(1), 83-93. doi:10.1007/s13272-014-0131-2
- Braun-Unkhoff, M., Riedel, U., & Wahl, C. (2017). About the emissions of alternative jet fuels. *CEAS Aeronautical Journal*, 8(1), 167-180. doi:10.1007/s13272-016-0230-3
- Brunelle-Yeung, E., Masek, T., Rojo, J. J., Levy, J. I., Arunachalam, S., Miller, S. M., . . . Waitz, I. A. (2014). Assessing the impact of aviation environmental policies on public health. *Transport Policy*, 34, 21-28. doi:10.1016/j.tranpol.2014.02.015
- Das, D. D., McEnally, C. S., Kwan, T. A., Zimmerman, J. B., Cannella, W. J., Mueller, C. J., & Pfefferle, L. D. (2017). Sooting tendencies of diesel fuels, jet fuels, and their surrogates in diffusion flames. *Fuel*, 197, 445-458. doi:10.1016/j.fuel.2017.01.099
- de Jong, S., Antonissen, K., Hoefnagels, R., Lonza, L., Wang, M., Faaij, A., & Junginger, M. (2017). Life-cycle analysis of greenhouse gas emissions from renewable jet fuel production. *Biotechnol Biofuels*, 10, 64. doi:10.1186/s13068-017-0739-7
- Dmitrieva, T. M., & Grabar, V. A. (2017). Emissions from Russian domestic civil aviation in 2000-2012 and integrated assessment of their impact on the climate system. *Russian Meteorology and Hydrology*, 42(8), 538-543. doi:10.3103/s1068373917080076
- Edwards, T. (2004). *Handbook of Aviation Fuel Properties - 2004 Third Edition*. Retrieved from Alpharetta, Georgia, USA:
- Grabar, V. A., Gitarskii, M. L., Dmitrieva, T. M., Glukhovskaya, E. P., Khor'kova, N. I., & Kirichkov, S. V. (2011). Assessment of greenhouse gases emission from civil aviation in Russia. *Russian Meteorology and Hydrology*, 36(1), 18-24. doi:10.3103/S1068373911010031
- Hileman, J. I., & Stratton, R. W. (2014). Alternative jet fuel feasibility. *Transport Policy*, 34, 52-62. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.02.018>
- Hinds, W. C. (1999). *Aerosol Technology. Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles. Second Edition*. New York, USA: John Wiley & Sons, INC.
- IATA. (2019). Fuel monitor.
- IPCC. (1999). *Aviation and the Global Atmosphere. Summary for Policymakers*. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/av-en-1.pdf>

- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/284695835_Climate_Change_2013_The_Physical_Science_Basis_Contribution_of_Working_Group_I_to_the_Fifth_Assessment_Report_of_the_Intergovernmental_Panel_on_Climate_Change:
- Kapadia, Z. Z. (2015). *Quantifying the climate and air quality impacts of non-CO2 species from the combustion of standard and alternative fuels in aviation*. (PhD), University of Leeds,
- Kapadia, Z. Z., Spracklen, D. V., Arnold, S. R., Borman, D. J., Mann, G. W., Pringle, K. J., . . . Yoshioka, M. (2016). Impacts of aviation fuel sulfur content on climate and human health. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(16), 10521-10541. doi:10.5194/acp-16-10521-2016
- Kärcher, B. (1999). Aviation-Produced Aerosols and Contrails. *Surveys in Geophysics*, 20(2), 113-167. doi:10.1023/a:1006600107117
- King, C. W., & Webber, M. E. (2008). Water Intensity of Transportation. *Environ Sci Technol*, 42(21), 7866-7872. doi:10.1021/es800367m
- Lee, D. S., Fahey, D. W., Forster, P. M., Newton, P. J., Wit, R. C. N., Lim, L. L., . . . Sausen, R. (2009). Aviation and global climate change in the 21st century. *Atmospheric Environment*, 43(22-23), 3520-3537. doi:10.1016/j.atmosenv.2009.04.024
- Lee, D. S., Pitari, G., Grewe, V., Gierens, K., Penner, J. E., Petzold, A., . . . Sausen, R. (2010). Transport impacts on atmosphere and climate: Aviation. *Atmospheric Environment*, 44(37), 4678-4734. doi:<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.06.005>
- Li, H., Altaher, M. A., Wilson, C. W., Blakey, S., Chung, W., & Rye, L. (2014). Quantification of aldehydes emissions from alternative and renewable aviation fuels using a gas turbine engine. *Atmospheric Environment*, 84, 373-379. doi:10.1016/j.atmosenv.2013.11.058
- Liu, G., Yan, B., & Chen, G. (2013). Technical review on jet fuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 59-70. doi:10.1016/j.rser.2013.03.025
- Liu, H., Tian, H., Hao, Y., Liu, S., Liu, X., Zhu, C., . . . Wu, B. (2019). Atmospheric emission inventory of multiple pollutants from civil aviation in China: Temporal trend, spatial distribution characteristics and emission features analysis. *Sci Total Environ*, 648, 871-879. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.07.407
- Mahashabde, A., Wolfe, P., Ashok, A., Dorbian, C., He, Q. X., Fan, A., . . . Waitz, I. A. (2011). Assessing the environmental impacts of aircraft noise and emissions. *Progress in Aerospace Sciences*, 47(1), 15-52. doi:10.1016/j.paerosci.2010.04.003
- Masiol, M., & Harrison, R. M. (2014). Aircraft engine exhaust emissions and other airport-related contributions to ambient air pollution: A review. *Atmospheric Environment*, 95, 409-455. doi:10.1016/j.atmosenv.2014.05.070
- Morita, H., Yang, S., Unger, N., & Kinney, P. L. (2014). Global health impacts of future aviation emissions under alternative control scenarios. *Environ Sci Technol*, 48(24), 14659-14667. doi:10.1021/es5055379
- Romanczyk, M., Ramirez Velasco, J. H., Xu, L., Vozka, P., Dissanayake, P., Wehde, K. E., . . . Kenttämää, H. (2019). The capability of organic compounds to swell acrylonitrile butadiene O-rings and their effects on O-ring mechanical properties. *Fuel*, 238, 483-492. doi:10.1016/j.fuel.2018.10.103
- Ruijgrok, G. J. J., & Paassen, D. M. v. (2007). Elements of aircraft pollution. In. Delft, Netherlands: VSSD.

CONVENTIONELE KEROSINE ALS VLIEGTUIGBRANDSTOF

- Santoni, G. W., Lee, B. H., Wood, E. C., Herndon, S. C., Miake-Lye, R. C., Wofsy, S. C., . . . Zahniser, M. S. (2011). Aircraft Emissions of Methane and Nitrous Oxide during the Alternative Aviation Fuel Experiment. *Environ Sci Technol*, 45(16), 7075-7082. doi:10.1021/es200897h
- Speight, J. G. (2001). *Handbook of Petroleum Analysis*. Wyoming, USA: Wiley-Interscience.
- Speight, J. G. (2007). *The Chemistry and Technology of Petroleum. Fourth Edition*. Florida, USA: CRC Press.
- Staples, M. D., Malina, R., Suresh, P., Hileman, J. I., & Barrett, S. R. H. (2018). Aviation CO₂ emissions reductions from the use of alternative jet fuels. *Energy Policy*, 114, 342-354. doi:10.1016/j.enpol.2017.12.007
- Starik, A. M., Savel'ev, A. M., Favorskii, O. N., & Titova, N. S. (2018). Analysis of emission characteristics of gas turbine engines with some alternative fuels. *International Journal of Green Energy*, 15(3), 161-168. doi:10.1080/15435075.2017.1324790
- Stratton, R. W., Wolfe, P. J., & Hileman, J. I. (2011). Impact of Aviation Non-CO₂ Combustion Effects on the Environmental Feasibility of Alternative Jet Fuels. *Environ Sci Technol*, 45(24), 10736-10743. doi:10.1021/es2017522
- Stratton, R. W., Wong, H. M., & Hileman, J. I. (2010). *Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Alternative Jet Fuels*. Retrieved from <http://web.mit.edu/aeroastro/partner/reports/proj28/partner-proj28-2010-001.pdf>
- Tissot, B. P., & Welte, D. H. (1984). *Petroleum Formation and Occurrence. Second Revised and Enlarged Edition*. Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Wasiuk, D. K., Lowenberg, M. H., & Shallcross, D. E. (2015). An aircraft performance model implementation for the estimation of global and regional commercial aviation fuel burn and emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 35, 142-159. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.11.022>
- Wayson, R. L., Fleming, G. G., & Iovinelli, R. (2009). Methodology to Estimate Particulate Matter Emissions from Certified Commercial Aircraft Engines. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 59(1), 91-100. doi:10.3155/1047-3289.59.1.91
- WHO. (2003). *Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide*. Retrieved from http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/112199/E79097.pdf:
- Winchester, N., McConnachie, D., Wollersheim, C., & Waitz, I. A. (2013). Economic and emissions impacts of renewable fuel goals for aviation in the US. *Transportation Research Part a-Policy and Practice*, 58, 116-128. doi:10.1016/j.tra.2013.10.001
- Yim, S. H. L., Lee, G. L., Lee, I. H., Allroggen, F., Ashok, A., Caiazzo, F., . . . Barrett, S. R. H. (2015). Global, regional and local health impacts of civil aviation emissions. *Environmental Research Letters*, 10(3). doi:10.1088/1748-9326/10/3/034001
- Zhang, C., Hui, X., Lin, Y. Z., & Sung, C. J. (2016). Recent development in studies of alternative jet fuel combustion: Progress, challenges, and opportunities. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 54, 120-138. doi:10.1016/j.rser.2015.09.056

Bijlage A Onderzoeksvragen voor het complete onderzoek

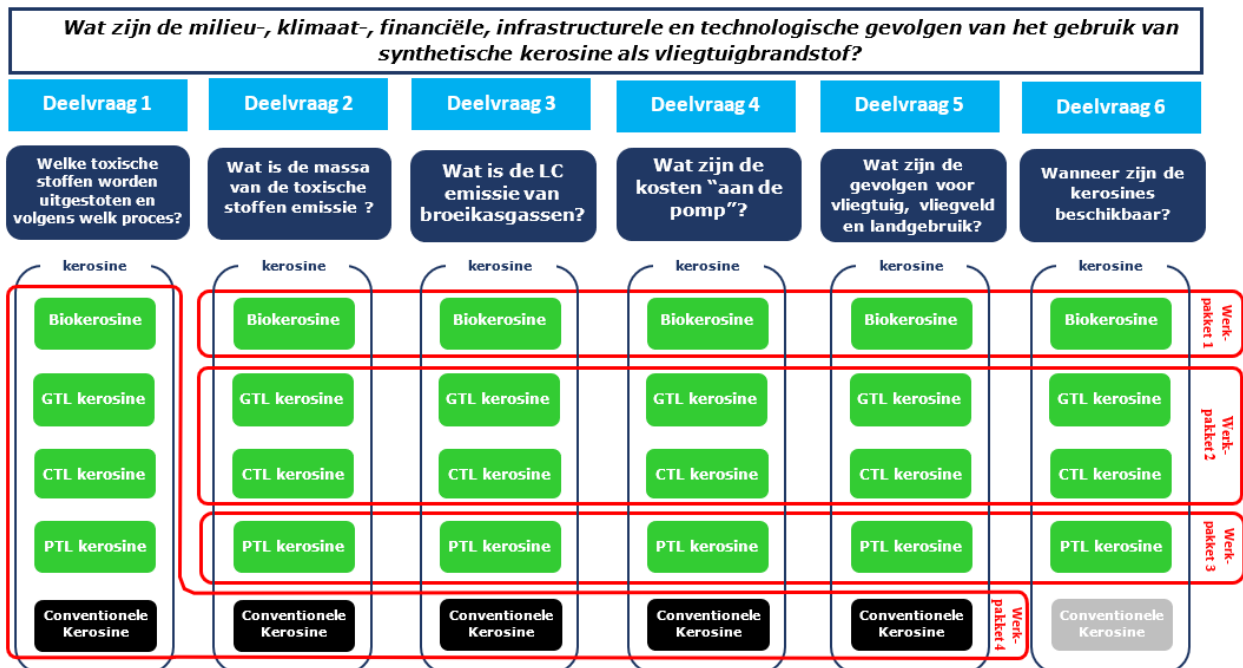
Onderzoeksvraag

Wat zijn de milieu-, klimaat-, financiële, infrastructurele en technologische gevolgen van het gebruik van synthetische kerosine als vliegtuigbrandstof?

Deelonderzoeksvragen

1. Welke toxische stoffen worden door verbranding van conventionele kerosine uitgestoten of gevormd en volgens welk proces verloopt dat?
2. Wat is de massa (kg/kg brandstof) van de emissie van toxische stoffen voor elke kerosinesoort (synthetisch en conventioneel), indien ingezet als vliegtuigbrandstof?
3. Wat is de broeikasgas emissie over de gehele levenscyclus voor elke kerosinesoort (synthetisch en conventioneel), indien ingezet als vliegtuigbrandstof (GJ/kg brandstof) en massa (kg/kg brandstof)?
4. Wat zijn de fabricage- en implementatiekosten van elke kerosinesoort (synthetisch en conventioneel)?
5. Wat zijn de gevolgen bij ingebruikname als vliegtuigbrandstof van elk type synthetische kerosine:
 - a) Voor de vliegtuig(motor)en?
 - b) Voor de infrastructuur van vliegvelden?
 - c) Voor het (agrarisch) landgebruik?
 - d) Voor de voedselproductie?
6. Wat is de realistisch haalbare schaal en het realistisch haalbare tijdstip van invoering van elke synthetische kerosinesoort als vliegtuigbrandstof?

Figuur A1 Relatie onderzoeksvragen met werkpakketten.



CONVENTIONELE KEROSINE ALS VLIEGTUIGBRANDSTOF

Bijlage B Initieel geselecteerde artikelen voor deelonderzoek 2 Emissies

SD = Science Direct all fields
WoS = Web of Science in
Topic
SL = SpringerLink
PM = PubMed

				sorted by: relevanc relevanc relevanc best match				sorted by: relevanc relevanc relevanc best match				sorted by: relevanc relevanc relevanc best match				sorted by: relevanc relevanc relevanc best match				149
				Emission AND fuel AND aviation				Health AND Emission AND Aviation				Emission AND fuel AND combustion AND aviation				Climate AND Emission AND Aviation				Selected
Author(s)	Datum	Journal	Article title	Ranking SD	Ranking WoS	Ranking SL	Ranking PM	Ranking SD	Ranking WoS	Ranking SL	Ranking PM	Ranking SD	Ranking WoS	Ranking SL	Ranking PM	Ranking SD	Ranking WoS	Ranking SL	Ranking PM	#
Abrahamson et al	Nov-2016	ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY Volume: 50 Issue: 21 Pages: 12048-12055 Published: NOV 1 2016	Predictive Model Development for Aviation Black Carbon Mass Emissions from Alternative and Conventional Fuels at Ground and Cruise									30								1
Ali et al.	Jan-2017	International Journal of Environmental Science and Technology (2017)	Performance and environmental impact of a turbojet engine fueled by blends of biodiesels			50								32						2
Arunchalem et al	Jun-2011	ATMOSPHERIC ENVIRONMENT Volume: 45 Issue: 19 Pages: 3294-3300 Published: JUN	Effect of chemistry-transport model scale and resolution on population exposure to PM2.5				2	6												2
Ashok et al.	Oct-2013	Atmospheric Environment, Volume 77, October 2013, Pages 445-452	Development of a response surface model of aviation's air quality impacts in the United	33				3	2											3
Azar et al.	Jan-2012	Climatic Change (2012)	Valuing the non-CO2 climate impacts of aviation			49												1		2
Barret et al.	Oct-2010	ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY Volume: 44 Issue: 19 Special Issue: SI	Global Mortality Attributable to Aircraft Cruise Emissions						14											1
Barret et al.	Apr-2012	ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY Volume: 46 Issue: 8 Pages: 4275-4282	Public Health, Climate, and Economic Impacts of Desulfurizing Jet Fuel				28	27												2
Bayindir et al.	Mar-2017	ENERGY Volume: 123 Pages: 241-251 Published: MAR 15 2016	Combustion, performance and emissions of a diesel power generator fueled with biodiesel									40								1
Bayindir et al.	Mar-2017	APPLIED THERMAL ENGINEERING Volume: 114 Pages: 234-244 Published: MAR 5 2017	Evaluation of combustion, performance and emission indicators of canola oil-kerosene blends in a power generator diesel engine									48								1
Benosa et al.	Jul-2018	Atmospheric Environment, Volume 185, July 2018, Pages 121-127	Air quality impacts of implementing emission reduction strategies at southern California airports				8	7												2
Bhagwan et al.	Jan-2014	Flow, Turbulence and Combustion (2014)	An Experimental Comparison of the Emissions Characteristics of Standard Jet A-1 and Synthetic Fuels											37						1
Blakey et al.	Jan-2011	PROCEEDINGS OF THE COMBUSTION INSTITUTE Volume: 33 Pages: 2863-2885 Part: 2 Published: 2011	Aviation gas turbine alternative fuels: A review	43								29	9							3

CONVENTIONELE KEROSINE ALS VLIEGTUIGBRANDSTOF

SD = Science Direct all fields
WoS = Web of Science in
Topic
SL = SpringerLink
PM = PubMed

				sorted by: relevanc relevanc relevancjest match				sorted by: relevanc relevanc relevancjest match				sorted by: relevanc relevanc relevancjest match				sorted by: relevanc relevanc relevancjest match				149	
				Emission AND fuel AND aviation				Health AND Emission AND Aviation				Emission AND fuel AND combustion AND aviation				Climate AND Emission AND Aviation					Selected
Author(s)	Datum	Journal	Article title	SD	WoS	SL	PM	SD	WoS	SL	PM	SD	WoS	SL	PM	SD	WoS	SL	PM	#	
Christie et al.	Jun-2012	Environ Sci Technol. 2012 Jun 5;46(11):6393-400. doi: 10.1021/es300301k. Epub 2012 May 11. PMID: 22534092	Polycyclic aromatic hydrocarbon emissions from the combustion of alternative fuels in a gas turbine engine.				14														2
Connely et al.	Mar-2015	ENERGY & FUELS Volume: 29 Issue: 3 Pages: 1653-1661 Published: MAR 2015	Life Cycle Assessment of Biofuels from Algae Hydrothermal Liquefaction: The Upstream and Downstream Factors Affecting Regulatory													32					1
Dahlmann et al.	Jul-2016	TRANSPORTATION RESEARCH PART D-TRANSPORT AND ENVIRONMENT Volume: 46 Pages: 40-55 Published: JUL 2016	Can we reliably assess climate mitigation options for air traffic scenarios despite large uncertainties in atmospheric processes?														25	38			2
de Jong et al.	Mar-2017	Biotechnol Biofuels. 2017 Mar 14;10:64. doi: 10.1186/s13068-017-0739-7. eCollection 2017.	Life-cycle analysis of greenhouse gas emissions from renewable jet fuel production.			21	3				22				24					1	5
Dessens et al.	Jul-2014	Transport Policy, Volume 34, July 2014, Pages 14-20	Aviation and climate change														1	10			2
Dessens et al.	Dec-2014	Environmental Science & Policy, Volume 44, December 2014, Pages 1-10	Effects of decarbonising international shipping and aviation on climate mitigation														17				1
Dmitrieva et al.	Jan-2014	Russian Meteorology and Hydrology (2014)	Assessment of atmospheric emissions of pollutants and greenhouse gases from the civil aviation of Russia			10										27			15		3
Dmitrieva et al.	Jan-2017	Russian Meteorology and Hydrology (2017)	Emissions from Russian domestic civil aviation in 2000-2012 and integrated assessment of their impact on				15									20			3	2	4
Dorbian et al.	May-2011	Atmospheric Environment, Volume 45, Issue 16, May 2011, Pages 2750-2759	Estimating the climate and air quality benefits of aviation fuel and emissions reductions	46													19				2
Durdina et al.	Mar-2017	Environ Sci Technol. 2017 Mar 21;51(6):3534-3541. doi: 10.1021/acs.est.6b05801. Epub 2017 Mar 6. PMID: 28230356	Assessment of Particle Pollution from Jetliners: from Smoke Visibility to Nanoparticle Counting.				4													3	2
Eastham et al.	Nov-2016	Atmospheric Environment, Volume 144, November 2016, Pages 17-23	Aviation-attributable ozone as a driver for changes in mortality related to air quality and skin cancer					1	4												2
Ekici et al.	Jan-2013	INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENT AND POLLUTION Volume: 53 Issue: 3-4 Pages: 232-244 Published: 2013	Calculation of HC, CO and NOx from civil aviation in Turkey in 2012								21										1

CONVENTIONELE KEROSINE ALS VLIEGTUIGBRANDSTOF

SD = Science Direct all fields
WoS = Web of Science in
Topic
SL = SpringerLink
PM = PubMed

				sorted by: relevanc relevanc relevanc best match				sorted by: relevanc relevanc relevanc best match				sorted by: relevanc relevanc relevanc best match				149					
				Emission AND fuel AND aviation				Health AND Emission AND Aviation				Emission AND fuel AND combustion AND aviation				Climate AND Emission AND Aviation				Selected	
Author(s)	Datum	Journal	Article title	SD	WoS	SL	PM	SD	WoS	SL	PM	SD	WoS	SL	PM	SD	WoS	SL	PM	#	
Fan et al.	Sep-2012	ATMOSPHERIC ENVIRONMENT Volume: 56 Pages: 52-57 Published: SEP 2012	Emissions of HC, CO, NOx, CO2, and SO2 from civil aviation in China in 2010		12							21									2
Feinberg et al.	Jan-2016	TRANSPORTATION RESEARCH RECORD Issue: 2569 Pages: 80-87 Published: 2016	Modeling of Lead Concentrations and Hot Spots at General Aviation Airports					25													1
Fischer et al.	Jan-2009	GAIA-ECOLOGICAL PERSPECTIVES FOR SCIENCE AND SOCIETY Volume: 18 Issue: 1 Pages: 32-40 Published: 2009	Aviation and Climate Protection													4					1
Freeman et al.	Mar-2018	Environ Sci Technol. 2018 Mar 6;52(5):2498-2505. doi: 10.1021/acs.est.7b05719. Epub 2018 Feb 20. PMID: 29419283	Trading off Aircraft Fuel Burn and NO x Emissions for Optimal Climate Policy.																5		1
Gettleman et al.	Jul-2016	GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS Volume: 40 Issue: 11 Pages: 2785-2789 Published: JUN 16 2013	The climate impact of aviation aerosols													25					1
Gilmore et al.	Sep-2013	ENVIRONMENTAL RESEARCH LETTERS Volume: 8 Issue: 3 Article Number: 034027 Published: JUL-SEP 2013	Temporal and spatial variability in the aviation NOx-related O-3 impact					9													1
Goldmann et al.	Feb-2018	ENERGIES Volume: 11 Issue: 2 Article Number: 392 Published: FEB 2018	A Study on Electrofuels in Aviation									34									1
Grabar et al.	Jul-1905	Russian Meteorology and Hydrology (2011)	Assessment of greenhouse gases emission from civil aviation in Russia			1								7				4			3
Grewe et al.	Sep-2017	AEROSPACE Volume: 4 Issue: 3 Article Number: 34 Published: SEP 2017	Mitigating the Climate Impact from Aviation: Achievements and Results of the DLR WeCare													36					1
Gudmunson et al	Jan-2012	Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 17, Issue 1, January 2012, Pages	Global carbon dioxide emissions scenarios for aviation derived from IPCC storylines: A meta-analysis													20	11				2
Gupta et al.	Dec-2010	RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS Volume: 14 Issue: 9 Pages: 2946-2955 Published: DEC 2010	Bio-fuels for the gas turbine: A review									26	21								2
Han et al.	Nov-2018	Fuel, Volume 232, 15 November 2018, Pages 724- 728	Ignition delay time and sooting propensity of a kerosene aviation jet fuel and its derivative blended with a bio-													33					1
Harrison et al.	Apr-2015	ENVIRONMENTAL RESEARCH LETTERS Volume: 10 Issue: 4 Article Number: 041001 Published: APR 2015	Civil aviation, air pollution and human health					3													1

CONVENTIONELE KEROSINE ALS VLIEGTUIGBRANDSTOF

SD = Science Direct all fields
WoS = Web of Science in Topic
SL = SpringerLink
PM = PubMed

				sorted by: relevanc relevanc relevanc best match				sorted by: relevanc relevanc relevanc best match				sorted by: relevanc relevanc relevanc best match				sorted by: relevanc relevanc relevanc best match				149
				Emission AND fuel AND aviation				Health AND Emission AND Aviation				Emission AND fuel AND combustion AND aviation				Climate AND Emission AND Aviation				Selected
Author(s)	Datum	Journal	Article title	Ranking SD	Ranking WoS	Ranking SL	Ranking PM	Ranking SD	Ranking WoS	Ranking SL	Ranking PM	Ranking SD	Ranking WoS	Ranking SL	Ranking PM	Ranking SD	Ranking WoS	Ranking SL	Ranking PM	#
He et al.	Nov-2018	Science of The Total Environment, Volumes 640-641, 1 November 2018, Pages 997-1003	Pro-inflammatory responses to PM _{0.25} from airport and urban traffic emissions					11	43		5									3
Herndon et al.	Mar-2009	Environ Sci Technol. 2009 Mar 15;43(6):1730-6. PMID: 19368164	Aircraft hydrocarbon emissions at Oakland International Airport.				24													1
Higham et al.	Jan-2016	Journal of Cleaner Production, Volume 111, Part B, 16 January 2016, Pages 336-	Climate change, tourist air travel and radical emissions reduction					9	22							49				3
Hihara et al.	Jan-2017	Handbook of Climate Change Mitigation and Adaptation	The Role of Aviation in Climate Change Mitigation			8													1	2
Hileman et al.	Nov-2013	Progress in Aerospace Sciences, Volume 63,	The carbon dioxide challenge facing aviation	12												40				2
Hu et al.	Nov-2009	Environ Sci Technol. 2009 Nov 1;43(21):8039-45. doi: 10.1021/es900975f. PMID: 19924920	Aircraft emission impacts in a neighborhood adjacent to a general aviation airport in southern California.				19				6									2
Hudda et al.	Aug-2016	ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY Volume: 50 Issue: 16 Pages: 8514-8521 Published: AUG 16 2016	Aviation Emissions Impact Ambient Ultrafine Particle Concentrations in the Greater Boston Area						35											1
Huzsar et al.	Jan-2013	ATMOSPHERIC CHEMISTRY AND PHYSICS Volume: 13 Issue: 19 Pages: 10027-10048 Published: 2013	CHEMISTRY AND PHYSICS Volume: 13 Issue: 19 Pages: 10027-10048 Published: 2013													35				1
Jacobson et al.	01 2012	Climatic Change (2012)	The effects of rerouting aircraft around the arctic circle on arctic and global climate															40		1
Jasinski et al.	Jan-2017	SCIENTIFIC JOURNAL OF SILESIA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY-SERIES TRANSPORT Volume: 94 Pages: 57-64 Published: 2017	EVALUATION OF THE IMPACT OF OIL PRESENCE IN THE AVIATION FUEL ON PARTICLE SIZE DISTRIBUTION						28											1
Kapadia et al.	Aug-2016	ATMOSPHERIC CHEMISTRY AND PHYSICS Volume: 16 Issue: 16 Pages: 10521-10541 Published: AUG 24 2016	Impacts of aviation fuel sulfur content on climate and human health		17				5							23				3
Karcher	Apr-2016	JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH-ATMOSPHERES Volume: 121 Issue: 7 Pages: 3497-3505 Published: APR 16 2016	The importance of contrail ice formation for mitigating the climate impact of aviation									41				42				2
Karcher et al.	Jan-1999	Surveys in Geophysics (1999)	Aviation-Produced Aerosols and Contrails			9								5				12		3
Khodayari et al.	Aug-2013	Atmospheric Environment, Volume 75, August 2013, Pages 321-328	Intercomparison of the capabilities of simplified climate models to project the effects of aviation CO ₂ on													10				1

CONVENTIONELE KEROSINE ALS VLIEGTUIGBRANDSTOF

SD = Science Direct all fields
WoS = Web of Science in
Topic
SL = SpringerLink
PM = PubMed

				sorted by: relevanc relevanc relevanc best match				sorted by: relevanc relevanc relevanc best match				sorted by: relevanc relevanc relevanc best match				sorted by: relevanc relevanc relevanc best match				149	
				Emission AND fuel AND aviation				Health AND Emission AND Aviation				Emission AND fuel AND combustion AND aviation				Climate AND Emission AND Aviation					
Author(s)	Datum	Journal	Article title	Ranking SD	Ranking WoS	Ranking SL	Ranking PM	Ranking SD	Ranking WoS	Ranking SL	Ranking PM	Ranking SD	Ranking WoS	Ranking SL	Ranking PM	Ranking SD	Ranking WoS	Ranking SL	Ranking PM	Selected #	
Levy et al.	Sep-2013	RISK ANALYSIS Volume: 32 Issue: 2 Pages: 237-249 Published: FEB 2012	Current and Future Particulate- Matter-Related Mortality Risks in the United States from Aviation Emissions During Landing and Takeoff					15													1
Li et al.	Feb-2014	Atmospheric Environment, Volume 48, February 2014, Pages 373-379	Quantification of aldehydes emissions from alternative and renewable aviation fuels using a gas turbine engine	14	6								11								3
Liu et al.	Jan-2019	Science of The Total Environment, Volume 648, 15 January 2019, Pages 871-879	Atmospheric emission inventory of multiple pollutants from civil aviation in China: Temporal trend, spatial distribution characteristics and emission	10			8					9					5				4
Liu et al.	Oct-2017	Progress in Aerospace Sciences, Volume 94, October 2017, Pages 12-45	Review of modern low emissions combustion technologies for aero gas					17													1
Liu et al.	Jan-2014	Science China Technological Sciences (2014)	Numerical and experimental investigation on emission performance of a fuel staged combustor								27						4				2
Liu et al.	Jan-2015	Natural Hazards (2015)	Investigating the CO2 emission differences among China's transport sectors and their influencing factors								?								31		1
Lobo et al.	Dec-2011	ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY Volume: 45 Issue: 24 Pages: 10744-10749 Published: DEC 15 2011	Comparison of PM Emissions from a Commercial Jet Engine Burning Conventional, Biomass, and Fischer-Tropsch Fuels								39						26				2
Lokesh et al.	Jun-2015	BIOMASS & BIOENERGY Volume: 77 Pages: 26-44 Published: JUN 2015	Life cycle greenhouse gas analysis of biojet fuels with a technical investigation into their impact on jet engine														43				1
Macintosh et al.	Jan-2009	Energy Policy, Volume 37, Issue 1, January 2009, Pages 264-273	International aviation emissions to 2025: Can emissions be stabilised without restricting demand?														18	2			2
Mahashabde et a	Jan-2011	PROGRESS IN AEROSPACE SCIENCES Volume: 47 Issue: 1 Pages: 15-52 Published: JAN 2011	Assessing the environmental impacts of aircraft noise and emissions					13	17								35				3
Mangus et al.	Jan-2015	COMBUSTION SCIENCE AND TECHNOLOGY Volume: 187 Issue: 6 Pages: 857-873 Published: 2015	PERFORMANCE AND EMISSIONS CHARACTERISTICS OF HYDROPROCESSED RENEWABLE JET FUEL BLENDS IN A SINGLE- CYLINDER COMPRESSION IGNITION ENGINE WITH ELECTRONICALLY CONTROLLED														22				1

CONVENTIONELE KEROSINE ALS VLIEGTUIGBRANDSTOF

SD = Science Direct all fields
WoS = Web of Science in
Topic
SL = SpringerLink
PM = PubMed

				sorted by: relevanc relevance best match				sorted by: relevanc relevance best match				sorted by: relevanc relevance best match				sorted by: relevanc relevance best match				149
				Emission AND fuel AND aviation				Health AND Emission AND Aviation				Emission AND fuel AND combustion AND aviation				Climate AND Emission AND Aviation				Selected
Author(s)	Datum	Journal	Article title	Ranking SD	Ranking WoS	Ranking SL	Ranking PM	Ranking SD	Ranking WoS	Ranking SL	Ranking PM	Ranking SD	Ranking WoS	Ranking SL	Ranking PM	Ranking SD	Ranking WoS	Ranking SL	Ranking PM	#
Masoil et al.	Oct-2014	ATMOSPHERIC ENVIRONMENT Volume: 95 Pages: 409-455 Published: OCT 2014	Aircraft engine exhaust emissions and other airport- related contributions to ambient air pollution: A review					18	26											2
Mazlan et al.	Apr-2017	PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS PART G-JOURNAL OF AEROSPACE ENGINEERING	Evaluating NOx and CO emissions of bio-SPK fuel using a simplified engine combustion model: A preliminary study										36							1
Miras et al.	Feb-2018	IRANIAN JOURNAL OF CHEMISTRY & CHEMICAL ENGINEERING-INTERNATIONAL ENGLISH EDITION Volume: 37	Preliminary Experimental Analysis of Alcohol-Kerosene Blend for Commercial Aviation										19							1
Mokkaled et al.	Aug-2018	ATMOSPHERIC ENVIRONMENT Volume: 187 Pages: 435-444 Published: AUG 2018	Identifying the impact of Beirut Airport's activities on local air quality - Part I: Emissions inventory of NO2 and VOCs						42											1
Morita et al.	Dec-2014	Environ Sci Technol. 2014 Dec 16;48(24):14659-67. doi: 10.1021/es5055379. Epub 2014 Dec 4. PMID: 25412200	Global health impacts of future aviation emissions under alternative control scenarios.				5		13		2								2	4
Nikolris et al.	Jun-2011	TRANSPORTATION RESEARCH PART D-TRANSPORT AND ENVIRONMENT Volume: 16 Issue: 4 Pages: 302-308 Published: JUN 2011	Detailed estimation of fuel consumption and emissions during aircraft taxi operations at Dallas/Fort Worth International Airport	17	36															2
Olsen et al.	Jan-2013	ATMOSPHERIC CHEMISTRY AND PHYSICS Volume: 13 Issue: 1 Pages: 429-441 Published:	Comparison of global 3-D aviation emissions datasets													12				1
Olsen et al.	Nov-2013	GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS Volume: 40 Issue: 22 Pages: 6004-6009 Published: NOV 28 2013	Comparison of model estimates of the effects of aviation emissions on atmospheric ozone and methane													20				1
Owen et al.	Apr-2010	Environ Sci Technol. 2010 Apr 1;44(7):2255-60. doi: 10.1021/es902530z. PMID: 20225840	Flying into the future: aviation emissions scenarios to 2050.				18												4	2
Park et al.	Oct-2013	AVIATION SPACE AND ENVIRONMENTAL MEDICINE Volume: 84 Issue: 10 Pages: 1087-1091 Published: OCT	Blood Lead Level and Types of Aviation Fuel in Aircraft Maintenance Crew						31											1

CONVENTIONELE KEROSINE ALS VLIEGTUIGBRANDSTOF

SD = Science Direct all fields
WoS = Web of Science in Topic
SL = SpringerLink
PM = PubMed

				sorted by: relevanc relevanc relevanc best match				sorted by: relevanc relevanc relevanc best match				sorted by: relevanc relevanc relevanc best match				sorted by: relevanc relevanc relevanc best match				149	
				Emission AND fuel AND aviation				Health AND Emission AND Aviation				Emission AND fuel AND combustion AND aviation				Climate AND Emission AND Aviation					
Author(s)	Datum	Journal	Article title	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Selected
				SD	WoS	SL	PM	SD	WoS	SL	PM	SD	WoS	SL	PM	SD	WoS	SL	PM	#	
Park et al.	Oct-2013	AVIATION SPACE AND ENVIRONMENTAL MEDICINE Volume: 84 Issue: 10 Pages: 1087-1091 Published: OCT	Blood Lead Level and Types of Aviation Fuel in Aircraft Maintenance Crew					31													1
Parker	Jan-2009	TECHNOLOGY ANALYSIS & STRATEGIC MANAGEMENT Volume: 21 Issue: 1 Pages: 61-78 Article Number: PII 906728318 Published: 2009	From blue skies to green skies: engine technology to reduce the climate-change impacts of aviation		37												26				2
Parker et al.	Jan-2010	PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS PART C-JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING SCIENCE Volume: 224 Issue: C3 Pages: 529-538	Green aero-engines: technology to mitigate aviation impact on environment														22				1
Peck et al.	Mar-2013	J Air Waste Manag Assoc	An algorithm to estimate aircraft cruise black carbon emissions for use in developing a cruise emissions inventory				23													7	2
Penn et al.	Jul-2017	Environmental Research, Volume 156, July 2017, Pages 791-800	Modeling variability in air pollution-related health damages from individual					6	32												2
Penn et al.	Sep-2015	Sci Total Environ. 2015 Sep 15;527-528:47-55. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.03.147 . Epub 2015 May 14. PMID: 25956147	A comparison between monitoring and dispersion modeling approaches to assess the impact of aviation on concentrations of black carbon and nitrogen oxides at Los Angeles International Airport.								6										1
Phoenix et al.	Jan-2019	Atmospheric Environment, Volume 196, January 2019, Pages 125-132	Aviation impact on air quality present day and mid-century simulated in the Community Atmosphere Model (CAM)	47												5					2
Popovicheva et al.	Jan-2010	n Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics (2010)	Carbonaceous aerosols of aviation and shipping			17								14					14		3
Pucher et al.	Jul-2013	JOURNAL OF ENGINEERING FOR GAS TURBINES AND POWER-TRANSACTIONS OF THE ASME Volume: 135 Issue: 7 Article Number: 071502 Published: JUL 2013	Characteristics of Deposits in Gas Turbine Combustion Chambers Using Synthetic and Conventional Jet Fuels										25								1
Pucher et al.	Nov-2011	JOURNAL OF ENGINEERING FOR GAS TURBINES AND POWER-TRANSACTIONS OF THE ASME Volume: 133 Issue: 11 Article Number: 111502 Published: NOV 2011	Emissions From a Gas Turbine Sector Rig Operated With Synthetic Aviation and Biodiesel Fuel										28								1

CONVENTIONELE KEROSINE ALS VLIEGTUIGBRANDSTOF

SD = Science Direct all fields
WoS = Web of Science in Topic
SL = SpringerLink
PM = PubMed

				sorted by: relevanc relevanc relevanc'est match				sorted by: relevanc relevanc relevanc'est match				sorted by: relevanc relevanc relevanc'est match				sorted by: relevanc relevanc relevanc'est match				149
				Emission AND fuel AND aviation				Health AND Emission AND Aviation				Emission AND fuel AND combustion AND aviation				Climate AND Emission AND Aviation				Selected
Author(s)	Datum	Journal	Article title	Ranking SD	Ranking WoS	Ranking SL	Ranking PM	Ranking SD	Ranking WoS	Ranking SL	Ranking PM	Ranking SD	Ranking WoS	Ranking SL	Ranking PM	Ranking SD	Ranking WoS	Ranking SL	Ranking PM	#
Ramchandran et al.	Jan-2017	AI & SOCIETY (2017)	Assessing environmental impacts of aviation on connected cities using environmental vulnerability studies and fluid dynamics: an Indian case study							23										1
Ramos et al.	Aug-2014	International Journal of Hydrogen Energy, Volume 39, Issue 25, 22 August 2014, Pages 13266-13275	Can hydrogen or natural gas be alternatives for aviation? – A life cycle assessment	41																1
Ravi et al.	Apr-2018	ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY Volume: 52 Issue: 7 Pages: 4154-4162 Published: APR 3 2018	Air Quality and Health Impacts of an Aviation Biofuel Supply Chain Using Forest Residue in the Northwestern United States					30												1
Richter et al.	Jan-2018	CEAS Aeronautical Journal (2018)	Paths to alternative fuels for aviation			12									11					2
Riebl et al.	Aug-2017	JOURNAL OF ENGINEERING FOR GAS TURBINES AND POWER-TRANSACTIONS OF THE ASME Volume: 139 Issue: 8 Article Number: 081503 Published: AUG 2017	A Study on the Emissions of Alternative Aviation Fuels									20								1
Righi et al.	Jan-2016	ATMOSPHERIC CHEMISTRY AND PHYSICS Volume: 16 Issue: 7 Pages: 4481-4495 Published: 2016	The global impact of the transport sectors on atmospheric aerosol in 2030- Part 2: Aviation													39				1
Santoni et al.	Aug-2015	ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY Volume: 45 Issue: 16 Pages: 7075-7082 Published: AUG 15 2011	Aircraft Emissions of Methane and Nitrous Oxide during the Alternative Aviation Fuel Experiment		9		1					13			3					4
Schripp et al.	Apr-2018	Environ Sci Technol. 2018 Apr 17;52(8):4969-4978. doi: 10.1021/acs.est.7b06244. Epub 2018 Apr 6.PMID: 29601722	Impact of Alternative Jet Fuels on Engine Exhaust Composition During the 2015 ECLIF Ground-Based Measurements				22								6				6	3
Simone et al.	Dec-2013	Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 25, December 2013, Pages 33-41	Rapid estimation of global civil aviation emissions with uncertainty quantification	35	2															2
Speth et al.	Mar-2015	Atmospheric Environment, Volume 105, March 2015, Pages 37-42	Black carbon emissions reductions from combustion of alternative jet fuels	22								42								2
Staples et al.	Mar-2018	Energy Policy, Volume 114, March 2018, Pages 342-354	Aviation CO2 emissions reductions from the use of alternative jet fuels	23	33															2
Starik et al.	Jan-2013	Combustion, Explosion, and Shock Waves (2013)	Kinetics of oxidation and combustion of complex hydrocarbon fuels: Aviation kerosene												1					1

CONVENTIONELE KEROSINE ALS VLIEGTUIGBRANDSTOF

SD = Science Direct all fields
WoS = Web of Science in
Topic
SL = SpringerLink
PM = PubMed

				sorted by: relevanc relevance relevance best match				sorted by: relevanc relevance relevance best match				sorted by: relevanc relevance relevance best match				sorted by: relevanc relevance relevance best match				149	
				Emission AND fuel AND aviation				Health AND Emission AND Aviation				Emission AND fuel AND combustion AND aviation				Climate AND Emission AND Aviation				Selected	
Author(s)	Datum	Journal	Article title	SD	WoS	SL	PM	SD	WoS	SL	PM	SD	WoS	SL	PM	SD	WoS	SL	PM	#	
Starik et al.	Jan-2018	INTERNATIONAL JOURNAL OF GREEN ENERGY Volume: 15 Issue: 3 Pages: 161-168 Published: 2018	Analysis of emission characteristics of gas turbine engines with some alternative fuels										18								1
Stettler et al.	Jun-2013	ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY Volume: 47 Issue: 18 Pages: 10397-10404 Published: SEP 17 2013	Global Civil Aviation Black Carbon Emissions					16													1
Stettler et al.	Oct-2011	ATMOSPHERIC ENVIRONMENT Volume: 45 Issue: 31 Pages: 5415-5424 Published: OCT	Air quality and public health impacts of UK airports. Part I: Emissions					30	40												2
Stratton et al.	Dec-2011	ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY Volume: 45 Issue: 24 Pages: 10736-10743 Published: DEC 15 2011	Impact of Aviation Non-CO2 Combustion Effects on the Environmental Feasibility of Alternative Jet Fuels										1				17				2
Teoh et al.	Jan-2016	KSCE Journal of Civil Engineering (2016)	Green air transport system: An overview of issues, strategies and challenges								7								48		2
Timko et al.	Apr-2013	Environ Sci Technol. 2013 Apr 2;47(7):3513-20. doi: 10.1021/es304349c. Epub 2013 Mar 8 PMID: 23356965	Atmospheric measurements of the physical evolution of aircraft exhaust plumes.				16														1
Turgut et al.	May-2018	Environ Pollut. 2018 May;236:226-235. doi: 10.1016/j.envpol.2018.01.084.	Empirical analysis of the effect of descent flight path angle on primary gaseous emissions of commercial aircraft.				15														1
Uddin et al.	Jan-2017	Handbook of Climate Change Mitigation and Adaptation (2017)	Mobile and Area Sources of Greenhouse Gases and Abatement Strategies								29										1
Unger et al.	Oct-2011	GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS Volume: 38 Article Number: L20803 Published: OCT 22 2011	Global climate impact of civil aviation for standard and desulfurized jet fuel														15				1
Uyumaz et al,	Dec-2014	Fuel Processing Technology, Volume 128, December 2014, Pages 158-165	Experimental examination of the effects of military aviation fuel JP-8 and biodiesel fuel blends on the engine performance, exhaust emissions and combustion in a	44									6								2
Vennam et al.	Oct-2015	ATMOSPHERIC ENVIRONMENT Volume: 119 Pages: 107-117 Published: OCT 2015	Evaluation of model-predicted hazardous air pollutants (HAPs) near a mid-sized US airport					16	36												2
Wadud et al.	Jan-2011	TRANSPORTATION RESEARCH RECORD Issue: 2233 Pages: 99-109 Published: 2011	Comparison of Air Quality-Related Mortality Impacts of Different Transportation Modes in the United States								38										1
Warshay et al.	Jan-2017	The International Journal of Life Cycle As... (2017)	Life cycle assessment of integrated seawater agriculture in the Arabian (Persian) Gulf as a potential food and aviation								8										1

CONVENTIONELE KEROSINE ALS VLIEGTUIGBRANDSTOF

				sorted by: relevanc relevanc relevanc best match				sorted by: relevanc relevanc relevanc best match				sorted by: relevanc relevanc relevanc best match				sorted by: relevanc relevanc relevanc best match				149		
				Emission AND fuel AND aviation				Health AND Emission AND Aviation				Emission AND fuel AND combustion AND aviation				Climate AND Emission AND Aviation						
Author(s)	Datum	Journal	Article title	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Selected		
				SD	WoS	SL	PM	SD	WoS	SL	PM	SD	WoS	SL	PM	SD	WoS	SL	PM	#		
Wasiuk et al.	Mar-2015	Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 35, March 2015,	An aircraft performance model implementation for the estimation of global and regional commercial aviation fuel burn and emissions	5	5															2		
Wayson et al.	Jan-2009	JOURNAL OF THE AIR & WASTE MANAGEMENT ASSOCIATION Volume: 59 Issue: 1 Pages: 91-100 Published: JAN 2009	Methodology to Estimate Particulate Matter Emissions from Certified Commercial Aircraft Engines					19			9									9	3	
Winchester et al.	May-2015	Energy Economics, Volume 49, May 2015, Pages 482-491	The impact of advanced biofuels on aviation emissions and operations in the U.S.																		4	1
Winchester et al.	Dec-2013	TRANSPORTATION RESEARCH PART A-POLICY AND PRACTICE Volume: 58 Pages: 116-128 Published: DEC 2013	Economic and emissions impacts of renewable fuel goals for aviation in the US	34		7														48	3	
Winchester et al.	Jan-2013	JOURNAL OF TRANSPORT ECONOMICS AND POLICY Volume: 47 Pages: 1-15 Part: 1 Published: JAN 2013	The Impact of Climate Policy on US Aviation																	6	1	
Wise et al.	May-2017	Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 52, Part A, May 2017, Pages 244-253	Biojet fuels and emissions mitigation in aviation: An integrated assessment modeling analysis	7		15										16				41	4	
Wolfe et al.	Jul-2014	Transport Policy, Volume 34, July 2014, Pages 102-108	Near-airport distribution of the environmental costs of aviation								23					33					2	
Woody et al.	Dec-2016	Atmospheric Environment, Volume 147, December 2016, Pages 384-394	Multiscale predictions of aviation-attributable PM2.5 for U.S. airports modeled using CMAQ with plume-in-grid and an aircraft-specific 1-D								24										1	
Yamamoto et al.	Mar-2013	J Eng Gas Turbine Power. 2013 Mar;135(3):0315021-315028. Epub 2013 Feb 21. PMID: 25805912	Emission Reduction of Fuel-Staged Aircraft Engine Combustor Using an Additional Premixed Fuel Nozzle.Y																	11	1	2
Yamik et al.	Aug-2014	INDIAN JOURNAL OF ENGINEERING AND MATERIALS SCIENCES Volume: 21 Issue: 4 Pages: 438-444 Published: AUG 2014	A comparative study on engine performance and emissions of biodiesel and JP-8 aviation fuel in a direct injection diesel engine																	31	1	
Yilmaz et al.	Dec-2017	Energy, Volume 140, Part 2, 1 December 2017, Pages 1378-1386	Sustainable alternative fuels in aviation	2		8															2	
Yilmaz et al.	Jun-2012	JOURNAL OF THE FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE OF GAZI UNIVERSITY Volume: 27 Issue: 2 Pages: 343-351 Published: JUN 2012	INVESTIGATION OF POLLUTANT EMISSIONS IN AIRCRAFT GAS TURBINE ENGINES																	44	1	

CONVENTIONELE KEROSINE ALS VLIEGTUIGBRANDSTOF

				sorted by: relevanc relevanc relevanccest match				sorted by: relevanc relevanc relevanccest match				sorted by: relevanc relevanc relevanccest match				sorted by: relevanc relevanc relevanccest match				149	
				Emission AND fuel AND aviation				Health AND Emission AND Aviation				Emission AND fuel AND combustion AND aviation				Climate AND Emission AND Aviation				Selected	
Author(s)	Datum	Journal	Article title	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	#	
				SD	WoS	SL	PM	SD	WoS	SL	PM	SD	WoS	SL	PM	SD	WoS	SL	PM		
Yim et al.	Mar-2015	ENVIRONMENTAL RESEARCH LETTERS Volume: 10 Issue: 3 Article Number: 034001 Published: MAR 2015	Global, regional and local health impacts of civil aviation emissions					1													2
Yim et al.	Mar-2005	ATMOSPHERIC ENVIRONMENT Volume: 67 Pages: 184-192 Published: MAR 2013	Air quality and public health impacts of UK airports. Part II: Impacts and policy assessment					11													1
Zapata et al.	Apr-2018	GEOSCIENTIFIC MODEL DEVELOPMENT Volume: 11 Issue: 4 Pages: 1293-1320 Published: APR 11 2018	Estimating criteria pollutant emissions using the California Regional Multisector Air Quality Emissions (CA-REMARQUE) model v1.0					47													1
Zeng et al.	Feb-2019	Fuel, Volume 237, 1 February 2019, Pages 352-360	Reaction kinetic simulation of the combustion and emission characteristics of a dual-fuel aero-engine	40								4									2
Zhang et al.	Feb-2016	RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS Volume: 54 Pages: 120-138 Published: FEB 2016	Recent development in studies of alternative jet fuel combustion: Progress, challenges, and opportunities	42	45							5	3								4
Zhenhong et al.	Jul-2017	Atmospheric Environment, Volume 160, July 2017, Pages 9-18	Evaluation of PM emissions from two in-service gas turbine general aviation aircraft									24									1
Zhou et al.	Aug-2016	Applied Energy, Volume 175, 1 August 2016, Pages 100-108	Scenario analysis of CO2 emissions from China's civil aviation industry through 2030	24	16																2

SD = Science Direct all fields
WoS = Web of Science in Topic
SL = SpringerLink
PM = PubMed

CONVENTIONELE KEROSINE ALS VLIEGTUIGBRANDSTOF

Bijlage C Geselecteerde artikelen voor deelonderzoek 2 Emissies

SD = Science Direct all fields
WoS = Web of Science in Topic
SL = SpringerLink
PM = PubMed

Author(s)	Datum	Journal	Article title	sorted by:				sorted by:				sorted by:				sorted by:				Count #
				relevance	relevance	relevance	best match	relevance	relevance	relevance	best match	relevance	relevance	relevance	best match	relevance	relevance	relevance	best match	
				Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	
Ashok et al.	Oct-2013	Atmospheric Environment, Volume 77, October 2013, Pages 445-452	Development of a response surface model of aviation's air quality impacts in the United States	33				3	2											3
Blakey et al.	Jan-2011	PROCEEDINGS OF THE COMBUSTION INSTITUTE Volume: 33 Pages: 2863-2885 Part: 2 Published: 2011	Aviation gas turbine alternative fuels: A review	43						29	9									3
Brasseur et al.	Apr-2016	BULLETIN OF THE AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY Volume: 97 Issue: 4 Pages: 561-583 Published: APR 2016	IMPACT OF AVIATION ON CLIMATE FAA's Aviation Climate Change Research Initiative (ACCRI) Phase II													7				1
Braun-Unkhoff et al.	Jan-2015	CEAS Aeronautical Journal (2015)	Alternative fuels in aviation			7			49			2								3
Braun-Unkhoff et al.	Jan-2017	CEAS Aeronautical Journal (2017)	About the emissions of alternative jet fuels			35			15			21				46				4
Brunelle-Yeung et al.	Jul-2014	Transport Policy, Volume 34, July 2014, Pages 21-28	Assessing the impact of aviation environmental policies on public health					5	12											2
Chen et al.	Aug-2017	Fuel, Volume 202, 15 August 2017, Pages 520-528	Sensitivity analysis of fuel types and operational parameters on the particulate matter emissions from an aviation piston engine burning heavy fuels	11						10	12									3
de Jong et al.	Mar-2017	Biotechnol Biofuels. 2017 Mar 14;10:64. doi: 10.1186/s13068-017-0739-7. eCollection 2017.	Life-cycle analysis of greenhouse gas emissions from renewable jet fuel production.			21	3		22			24						1		5
Dmitrieva et al.	Jan-2014	Russian Meteorology and Hydrology (2014)	Assessment of atmospheric emissions of pollutants and greenhouse gases from the civil aviation of Russia			10						27				15				3
Dmitrieva et al.	Jan-2017	Russian Meteorology and Hydrology (2017)	Emissions from Russian domestic civil aviation in 2000-2012 and integrated assessment of their impact on the climate system			15						20			3	2				4
Grabar et al.	Jul-1905	Russian Meteorology and Hydrology (2011)	Assessment of greenhouse gases emission from civil aviation in Russia			1						7				4				3
He et al.	Nov-2018	Science of The Total Environment, Volumes 640-641, 1 November 2018, Pages 997-1003	Pro-inflammatory responses to PM0.25 from airport and urban traffic emissions					11	43		5									3
Higham et al.	Jan-2016	Journal of Cleaner Production, Volume 111, Part B, 16 January 2016, Pages 336-347	Climate change, tourist air travel and radical emissions reduction					9	22						49					3
Kapadia et al.	Aug-2016	ATMOSPHERIC CHEMISTRY AND PHYSICS Volume: 16 Issue: 16 Pages: 10521-10541 Published: AUG 24 2016	Impacts of aviation fuel sulfur content on climate and human health			17			5							23				3

CONVENTIONELE KEROSINE ALS VLIEGTUIGBRANDSTOF

SD = Science Direct all fields
WoS = Web of Science in Topic
SL = SpringerLink
PM = PubMed

			sorted by:				sorted by:				sorted by:				Count			
			relevance	relevance	relevance	best match	relevance	relevance	relevance	best match	relevance	relevance	relevance	best match				
			Emission AND fuel AND aviation				Health AND Emission AND Aviation				Emission AND fuel AND combustion AND aviation				Climate AND Emission AND Aviation			
			Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	
Karcher et al.	Jan-1999	Surveys in Geophysics (1999)															3	
Lee et al.	Sep-2011	Environ. Sci. Technol., 2011, 45 (18), pp 7648-7654 DOI: 10.1021/es200921t Publication Date (Web): August 2, 2011															1	
Lee et al.	Jul-2009	Atmospheric Environment, Volume 43, Issues 22-23, July 2009, Pages 3520-3537												21	31		2	
Li et al.	Feb-2014	Atmospheric Environment, Volume 84, February 2014, Pages 373-379	14		6							11					3	
Liu et al.	Jan-2019	Science of The Total Environment, Volume 648, 15 January 2019, Pages 871-879	10								9				5		4	
Mahashabde et al.	Jan-2011	PROGRESS IN AEROSPACE SCIENCES Volume: 47 Issue: 1 Pages: 15-52 Published: JAN 2011														35	3	
Morita et al.	Dec-2014	Environ Sci Technol. 2014 Dec 16;48(24):14659-67. doi: 10.1021/es5055379. Epub 2014 Dec 4. PMID: 25412200															4	
Popovicheva et al.	Jan-2010	n Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics (2010)														17	3	
Santoni et al.	Aug-2015	ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY Volume: 45 Issue: 16 Pages: 7075-7082 Published: AUG 15 2011															4	
Starik et al.	Jan-2013	Combustion, Explosion, and Shock Waves (2013)															1	
Wasiuk et al.	Mar-2015	Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 35, March 2015,	5		5												2	
Wayson et al.	Jan-2009	JOURNAL OF THE AIR & WASTE MANAGEMENT ASSOCIATION Volume: 59 Issue: 1 Pages: 91-100 Published: JAN 2009															3	
Winchester et al.	Dec-2013	TRANSPORTATION RESEARCH PART A-POLICY AND PRACTICE Volume: 58 Pages: 116-128 Published: DEC 2013	34		7											48	3	

CONVENTIONELE KEROSINE ALS VLIEGTUIGBRANDSTOF



















SD = Science Direct all fields
WoS = Web of Science in Topic
SL = SpringerLink
PM = PubMed

Author(s)	Datum	Journal	Article title	sorted by:				sorted by:				sorted by:				sorted by:				Count #				
				relevance	relevance	relevance	best match	relevance	relevance	relevance	best match	relevance	relevance	relevance	best match	relevance	relevance	relevance	best match					
				Emission AND fuel AND aviation				Health AND Emission AND Aviation				Emission AND fuel AND combustion AND aviation				Climate AND Emission AND Aviation								
				Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Count
				SD	WoS	SL	PM	SD	WoS	SL	PM	SD	WoS	SL	PM	SD	WoS	SL	PM	SD	WoS	SL	PM	#
Wise et al.	May-2017	Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 52, Part A, May 2017, Pages 244-253	Biojet fuels and emissions mitigation in aviation: An integrated assessment modeling analysis	7	15											16	41							4
Zhang et al.	Feb-2016	RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS Volume: 54 Pages: 120-138 Published: FEB 2016	Recent development in studies of alternative jet fuel combustion: Progress, challenges, and opportunities	42	45							5	3											4

Vetgedrukte namen: intuïtief gevonden artikelen gebruikt als controle voor zoekterm kwaliteit.

Bijlage D Invloed op zwelgedrag en roetvorming van verschillende brandstoftoevoegingen

Gegevens van zwelgedrag zijn verzameld uit Romanczyk et al. (2019). De YSI-data komt uit het onderzoek van Das et al. (2017), waarin de YSI voor benzeen op 100 is gesteld en de YSI voor n-hexaan op 0.

Organische blends/componenten gebruikt voor opzwellen o-ring seals	getest volume percentage in Sasol IPK	Volume zwel-percentage	structuur	Yield Sooting Index (YSI)
<i>Kerosine</i>				
Jet A/HEFA		2.2 ± 0.20%		
Sasol IPK		0.05 ± 0.04%		
<i>Aromatische toevoegingen aan Sasol IPK</i>				
ethylbenzene	8%	3.1 ± 0.20%		203.4
indane	8%	2.8 ± 0.10%		
tetralin	8%	2.1 ± 0.10%		264.4
n-propylbenzene	8%	1.9 ± 0.20%		181.0
naphthalene	1%	1.6 ± 0.20%		
isopropylbenzene	8%	1.6 ± 0.10%		
n-butylbenzene	8%	1.4 ± 0.10%		
1,3,5-trimethylbenzene	8%	1.0 ± 0.10%		243.3
sec-butylbenzene	8%	0.9 ± 0.10%		
tert-butylbenzene	8%	0.7 ± 0.10%		
1,2,4,5-tetramethylbenzene	8%	0.29 ± 0.02%		
<i>Niet aromatische toevoegingen</i>				
cyclohexene	8%	1.7 ± 0.10%		
1,5-hexadiene	8%	1.5 ± 0.20%		
1-methylcyclohexene	8%	0.6 ± 0.10%		
cyclohexane	8%	0.4 ± 0.10%		
n-hexane	8%	0.02 ± 0.03%		0
<i>Hetero-atoom toevoegingen</i>				
Phenol	0.02%	1.5 ± 0.20%		
2,6-di(tert-butyl)-4-methylphenol	0.02%	0.04 ± 0.07%		



InCompany ■■■■ **Milieuadvies**

faculteit Management, Science & Technology,

Vakgroep Science

Open Universiteit

Postbus 2960

6401 DL Heerlen, NL

tel. +31 45 576 2877

secretariaat.mst@ou.nl

www.ou.nl/nw

www.Incompany-milieuadvies.nl

