AERO SUISSE

CO_2-Reduktionsmassnamen im Luftverkehr

Zusammenstellung von Massnahmen zur unmittelbaren Reduktion der CO_2-Emissionen im Luftverkehr.

Version 2

AEROSUISSE, März 2021

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 4

2. Zusammenfassung 7

3. Übersicht der Massnahmen 8

3.1 Sustainable Aviation Fuels (SAF) 8

3.2 Air Traffic Management (ATM) 11

3.3 Airport Infrastructure 13

3.4 Aircraft Operations 14

3.5 Forschung 15

3.6 CO_2-Kompensation und Direct Air Carbon Capture (DACC) 15

4. Detailinformationen 17

4.1 Sustainable Aviation Fuels 17

4.2 Air Traffic Management (ATM) 23

4.3 Airport Infrastructure 33

4.3.1 Flughafen Zürich 33

4.3.2 Aéroport de Genève 36

4.3.3 Aéroport Bâle-Mulhouse 37

4.4 Aircraft Operations 38

4.5 Forschung 42

5. Anhang 51

5.1 Synhelion «Plant installation roadmap 2022-2031» 51

5.2 Technologischer Reifegrad (TRL) 52

5.3 Informationen zu den Autoren 53

1. Einleitung

Die Schweizer Luftfahrt nimmt ihre Klimaverantwortung ernst und sucht nach Wegen, ihren absoluten CO_2-Ausstoss nachhaltig zu reduzieren. Die Luftverkehrsbranche der Schweiz bekennt sich zum Netto-Null Ziel in 2050.

Unter dem Titel «Destination 2050» [1]haben Experten des Royal Netherlands Aerospace Centre und dem SEO Amsterdam kürzlich einen Fahrplan für den Europäischen Luftverkehr zur Erreichung von Netto-Null CO2-Emissionen in 2050 veröffentlicht. Im Rahmen der Studie im Auftrag der Europäischen Fluggesellschaften, Flughäfen, Luftfahrthersteller und Flugsicherungen wurde die Wirkung von Klimamaßnahmen im Luftverkehr quantifiziert und das Potenzial unterschiedlicher Instrumente zur Senkung der Emissionen der Branche evaluiert. Die Studie kommt zum Schluss, dass bis 2050 ein Netto-Null-CO2-Ausstoß in der Luftfahrt möglich ist. Um dies zu erreichen seien jedoch umfassende Massnahmen in den Bereichen «Aircraft und Engine Technologie», «Sustainable Aviation Fuels», «Operations und im Air Traffic Management» sowie «Ökonomische Instrumente (ETS, CORSIA sowie Carbon Removal Projects)» notwendig. Der Bericht zeigt weiter auf, dass das ambitionierte Klimaziel der Luftfahrtindustrie nur mit umfassender politischer Unterstützung erreicht werden kann.

Moderne Flugzeuge reduzieren die CO_2-Emissionen deutlich. Dank innovativen Triebwerken liegt der Treibstoffverbrauch eines Airbus A320neo beispielsweise 20 Prozent unter demjenigen vergleichbarer Flugzeuge der älteren Generation. Auch das neue Kurzstreckenflugzeug A220 (vormals genannt CSeries) setzt neue Massstäbe indem es auf denselben Strecken bis zu 25 Prozent weniger Treibstoff verbraucht. Ebenfalls zu einer deutlichen Reduktion von CO_2-Emissionen führen optimierte Flugrouten und Flugverfahren wie auch eine verbesserte Flugplanung und optimierte Flugdurchführung. Der Schlüssel zum CO_2-neutralen Fliegen liegt in der Nutzung von Sustainable Aviation Fuels (SAF). Mit derzeit verfügbaren SAF (sogenannte Advanced Biofuels) können bis zu 80 Prozent der CO_2-Emissionen im Vergleich zu fossilen Brennstoffen eingespart werden. Über sogenannte Power-to-Liquid oder Sun-to-Liquid Verfahren ist es möglich praktisch vollständig CO_2-neutrale Treibstoffe zu produzieren.

[1] Destination 2050 – A Route to Net Zero European Aviation, online abrufbar unter: www.destination2050.eu

Die Studie „Destination 2050“ geht davon aus, dass SAFs bis 2050 bis zu 83% des gesamten Kerosinverbrauchs in Europa ausmachen könnten.

Luftfahrt muss CO_2-Massnahmen vorantreiben

Damit die Luftfahrt ihr Klimaziel erreicht und zeitnah die Absenkung der absoluten CO_2-Emissionen vorantreiben kann, ist eine substantielle Unterstützung bei den massiven Investitionen notwendig. Nimmt das Schweizer Stimmvolk das Totalrevidierte CO2-Gesetz an, muss dieses zwingend Massnahmen zur CO_2-Reduktion in der Luftfahrt fördern. Aus diesem Grund gilt es in der CO_2-Verordnung Finanzierungskreisläufe für den Luftverkehr zu schaffen, welche eine nachhaltige Absenkung der CO_2-Emissionen der Branche vorantreiben.

Die notwendigen Mechanismen:

1. Zielvereinbarungen: Fluggesellschaften, welche direkt in CO_2-Reduktionsmassnahmen investieren sind massgebend von der Flugticketabgabe zu entlasten. Hierdurch sollen insbesondere der Einsatz von modernen Flugzeugen sowie SAF gezielt gefördert und dadurch eine effektive und unmittelbare CO_2-Reduktion vorangetrieben werden.
2. Klimafonds: Mit den Einnahmen von Fluggesellschaften, die nicht an einer Zielvereinbarung teilnehmen, müssen CO_2-mindernde Massnahmen innerhalb der Branche unterstützt werden.

Im Einklang mit der langfristigen Klimastrategie der Schweiz gilt es im Luftverkehr insbesondere die Entwicklung und Kommerzialisierung von Sustainable Aviations Fuels (SAFs) zu fördern.

Dieser Bericht umfasst einen Massnahmenkatalog an CO_2-Reduktionsprojekten aus den Bereichen «Aircraft Operations», «Airport Infrastructure», «Air Traffic Management (ATM)» sowie «Sustainable Aviation Fuels (SAF)», welche zu einer unmittelbaren Absenkung der CO_2-Emissionen des Luftverkehrs führen. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf dem Thema SAF, das neben dem Einsatz von modernen Flugzeugen und Triebwerkstechnologien mittelfristig das grösste Potenzial zur Defossilisierung des Luftverkehrs hat. Ebenfalls werden Projekte aus dem Bereich Forschung vorgestellt, die mittelfristig einen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele des Luftverkehrs leisten können. In diesem Zusammenhang fördert das nationale Kompetenzzentrum für Aviatik-Forschung (ARCS) Projekte, um Innovationen im Bereich der Verbesserung der Effizienz, Sicherheit und Umweltfreundlichkeit der Schweizer Luftfahrt voranzutreiben.

Die Projekte wurden im Rahmen einer interdisziplinären Arbeitsgruppe bestehend aus Experten der Landesflughäfen, der Flugsicherung Skyguide, Cat Aviation, easyJet, SWISS und der Forschung zusammengetragen und evaluiert. Informationen zu den Autoren finden sich im Kapitel 5.3.

2. Zusammenfassung

Die vorliegende Zusammenstellung an CO_2-Reduktionsmassnahmen für den Schweizer Luftverkehrsstandort zeigt in den Bereichen «Aircraft Operations», «Airport Infrastructure», «Air Traffic Management (ATM)» sowie «Sustainable Aviation Fuels (SAF)» deutliche Einsparpotenziale auf. Ebenfalls werden im Bereich Forschung Projekte identifiziert, welche in der praktischen Umsetzung über signifikante CO_2-Reduktionspotenziale verfügen. Die Mehrheit der Massnahmen kann bereits ab 2022 umgesetzt werden und eine unmittelbare Reduktion der CO_2-Emissionen des Luftverkehrs einleiten. Hierfür werden jedoch umfassende Investitionsmittel benötigt. Tritt das revidierte CO_2-Gesetz in Kraft, muss dieses über den Abschluss von Zielvereinbarungen sowie einen zweckgebundenen Einsatz der Gelder aus dem Klimafonds einen Finanzierungskreislauf für die Branche schaffen und die Dekarbonisierung der Luftfahrt vorantreiben.

Übersicht der Einsparpotenziale und Kosten nach Bereichen

Bereich	**CO_2-Reduktion pro Projekt* (in t/a)**	**Kosten pro Projekt (in MCHF)**
Aircraft Operations	2'780 - 61'200	0.70 - 14.10
Airport Infrastructure	600 - 30'000	0.04 – 71.60
Air Traffic Management (ATM)	140- 44'000	0.3 - 58.75
Sustainable Aviation Fuels (SAF)	527'000 - 941'000	500.00 - 900.00

Die vorliegende Zusammenstellung zeigt, dass sämtliche Bereiche über deutliche Einsparpotenziale verfügen. Im Bereich ATM wurden rund 22 Projekte mit einem Investitionsvolumen von 156 Mio. CHF identifiziert, bei deren Umsetzung der CO_2-Ausstoss um jährlich 198'000 Tonnen reduziert werden kann. Dies entspricht 3 Prozent der CO_2-Emissionen des Luftverkehrs ab der Schweiz. Das grösste CO_2-Reduktionspotenzial bergen, abgesehen von modernen Flugzeugen, Massnahmen im Bereich Sustainable Aviation Fuels (SAF). Beim aktuellen SAF Preis könnten mit 500 Mio. CHF über die Nutzung von biogenem Treibstoff im Jahr 2022 rund 527‘000 Tonnen CO_2 bzw. 9 Prozent der jährlichen CO_2-Emissionen ab der Schweiz eingespart werden (Verfügbarkeit vorausgesetzt).

3. Übersicht der Massnahmen

3.1 Sustainable Aviation Fuels (SAF)

Der Schlüssel für CO_2-neutrales Fliegen sind nachhaltige Treibstoffe (SAF). Es ist dringend erforderlich, dass sich die weltweite Anzahl der Produzenten und Produktionstechnologien im Markt erhöht. Es gilt die heute bereits verfügbaren SAF biogenen Ursprungs voranzubringen sowie die Entwicklung und Kommerzialisierung von synthetischen Treibstoffen bestehend aus CO_2 aus der Atmosphäre und grünem Wasserstoff voranzutreiben.

Mit einer gezielten Förderung der SAF Nutzung und Entwicklung kann die Schweiz einen wesentlichen Beitrag zur Markteinführung von SAF leisten und die Dekarbonisierung des Luftverkehrs aktiv vorantreiben. Über die Instrumente im CO_2-Gesetz könnten Projekte im Bereich Infrastruktur, SAF Nutzung und Entwicklung gefördert werden. Mit jährlichen Investitionen im Umfang von 500 Mio. CHF lassen sich bei einem Preis von 1.92 CHF pro Liter SAF 11 Prozent des fossilen Kerosins ab der Schweiz ersetzen.

Projektübersicht SAF

Die Treibstoffversorgung von regionalen Flughäfen erfolgt massgebend über den LKW-Transport ab dem Flughafen Zürich. Damit Treibstoff mit einer spezifischen SAF-Beimischung, welche Mittels Zug am Flughafen Zürich eintrifft, physisch weiterverteilt werden kann, ist der Aufbau eines gesonderten Tanklagers notwendig.

SAF Infrastruktur						
Massnahme	**SAF (t/a)***	**CO_2-Reduktion (t/a)***	**SAF-Kosten (CHF/L)**	**Kosten (MCHF)**	**Effizienz (CHF/t CO_2)****	**Umsetzung**
Bau eines SAF Tanklagers am Flughafen Zürich	3'600	9'000	1.92	5.5	40	2022

*indikativ: abhängig von SAF Durchsatz.
**SAF Durchlauf 10'000 p.a., Abschreibungsdauer 15 Jahre

Mit dem Aufbau eines *Book and Claim Systems*, bei dem sich Fluggesellschaften den erworbenen anstelle des vertankten SAF anrechnen können, würde eine separate Logistik jedoch hinfällig.

SAF Vertankung						
Massnahme	**SAF (t/a)***	**CO_2-Reduktion (t/a)**	**SAF-Kosten (CHF/L)**	**Kosten (MCHF)**	**Effizienz (CHF/t CO_2)**	**Umsetzung**
Beimischung von SAF	210'000	527'000	1.92	500	950	2022
Beimischung von SAF	375'000	941'000	1.92	900	950	2022

Mit der Finanzierung des Mehrpreises von SAF gegenüber fossilem Kerosin im Umfang von 500 Mio. CHF könnte der Luftverkehr aktuell 11 Prozent des Treibstoffbedarfs ab der Schweiz mit nachhaltigem Treibstoff decken. Hierdurch würden unmittelbar 9 Prozent der CO_2-Emissionen eingespart.

SAF Skalierung: Förderung auf Produzenten und Abnehmerseite

Die ersten industriellen SAF Anlagen erfordern beachtliche Investitionen und bergen hohe Risiken für Anlagebetreiber sowie Abnehmer. Betreiber können sich auf dem Kapitalmarkt nur versorgen, wenn der langfristige Betrieb ihrer Anlage und damit eine Abnahme über die gesamte Betriebsdauer gesichert ist. Für Abnehmer ist es jedoch nicht rational auf frühe Anlagen zu setzen und sich langfristig zu einer Abnahme zu verpflichten. Denn nachfolgende Anlagen stellen aufgrund von Effizienzgewinnen und fortschreitender Technologiereife deutlich höhere Mengen zu signifikant günstigeren Kosten bereit. Aus diesem Grund müssen langfristig angelegte Zahlungen zum Ausgleich des Mehrpreises gegenüber fossilem Kraftstoff die Industrie bei der Abnahme aus frühen Anlangen unterstützen.

Die nachfolgende Übersicht zeigt die Skalierungs-Roadmap des Schweizer Start-ups Synhelion. Das Unternehmen Synhelion nutzt konzentriertes Sonnenlicht um per thermochemischem Verfahren synthetische Treibstoffe aus CO2 herzustellen. Der Businessplan sieht vor, dass ab 2027 jährlich ca. 91'222 Tonnen SAF (5 Prozent des benötigten Treibstoffs ab der Schweiz) produziert werden und ab 2031 fast 1/3 des Treibstoffbedarfs für Flüge ab der Schweiz gedeckt werden kann. Der Fahrplan ist sehr ambitioniert und verfügt über zahlreiche Abhängigkeiten, welche zu einer Verlangsamung der Skalierungsschritte führen könnte.

Das CO_2-Reduktionspotenzial des SAFs von Synhelion variiert mit dem Reifegrad der Technologie und ist abhängig von den verwendeten Rohstoffen (Erdgas, Biogas oder Solar-Redox). Zur Illustration und Einordnung wurden in nachfolgender Tabelle das CO_2-Reduktionspotenzial der einzelnen Anlagen Mittelwerte verwendet.

Skalierung SAF Synhelion SAF Anlagen Sun-to-Liquid Verfahren								
Massnahme	**SAF (t/a)**	**CO_2-Reduktion (t/a)**	**CAPEX –Anlage**		**OPEX – SAF Produktion**			**Umsetzung**
			Kosten (MCHF)	**Effizienz (CHF/t CO_2)**	**SAF-Kosten (CHF/L)**	**Mehr-kosten SAF* (MCHF/y)**	**Effizienz (CHF/t CO_2)**	
Synhelion Demo Plant	10	15	**8.75**	n/a	-	**-**	-	Projektstart: 2021 Inbetriebnahme: 2022
Synhelion Plant 1	358	675	**14.25**	1'117.65	3.50	**1.30**	1922.59	Projektstart: 2022 Inbetriebnahme: 2023
Synhelion Plant 2	1’075	1'750	**19.95**	760.15	2	**1.88**	1075.00	Projektstart: 2023 Inbetriebnahme: 2024/25
Synhelion Plant 3	5’082	10’000	**51.08**	340.51	1.60	**6.35**	635.25	Projektstart: 2024 Inbetriebnahme: 2026
Synhelion Plant 4	21’174	40’000	**110.22**	183.71	1.15	**14.56**	363.93	Projektstart: 2026 Inbetriebnahme: 2027
Synhelion Plant 5	63’523	110’000	**237.97**	144.23	0.85	**19.85**	180.46	Projektstart: 2027 Inbetriebnahme: 2029
Synhelion Plant 6	211’743	350’000	**597.06**	113.73	0.75	**39.70**	113.43	Projektstart: 2028 Inbetriebnahme: 2030
Synhelion Plant 7	423’486	700’000	**975.97**	92.95	0.60	**-**	-	Projektstart: 2028 Inbetriebnahme: 2031

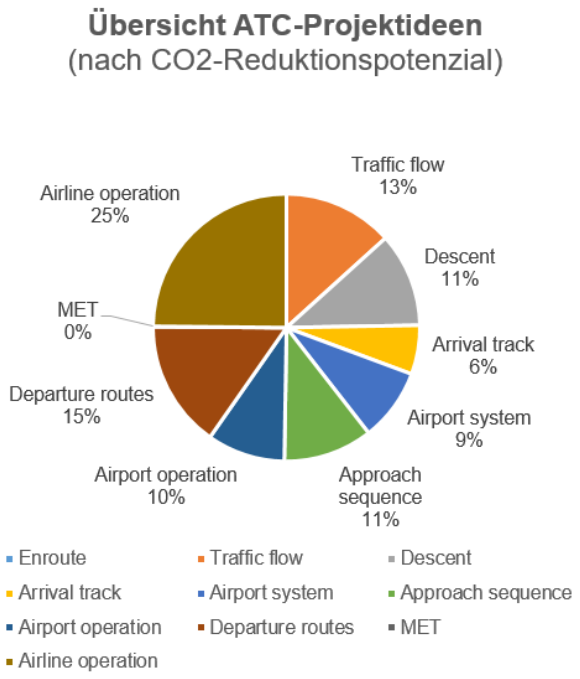
Daten-Grundlage: Mittelwerte aus der Synhelion Roadmap „Plant installation roadmap 2022-2031“. Betriebsdauer pro Anlage 15 Jahre. Ab Plant 4 Richtwerte. Weitere Angaben finden sich im Kapitel Detailinformationen.

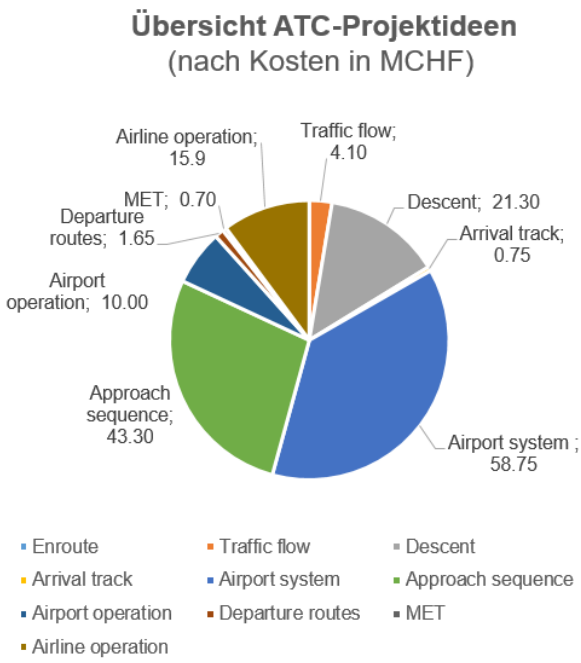
*Annahme Kosten fossiles Kerosin: CHF 0.60 / Liter

3.2 Air Traffic Management (ATM)

Die Luftfahrtbranche investiert derzeit über 80 Mio. CHF in laufende ATM-Projekte, die den CO_2-Ausstoss um jährlich rund 63'000 Tonnen reduzieren. Basierend auf den bereits angestossenen Optimierungsmassnahmen wurden 22 weitere ATM-Projektideen im Umfang von 156 Mio. CHF identifiziert, die den CO_2 Ausstoss des Luftverkehrs um jährlich rund 198'000 Tonnen reduzieren können. Die Finanzierung dieser Projektideen ist bislang noch nicht sichergestellt.

Die aktuell laufenden Projekte bilden entweder die technischen Grundlagen oder die erste Etappe für eine mögliche Weiterentwicklung.





Projektübersicht Air Traffic Management (ATM)

Massnahme	Wirkungsfeld	CO_2-Reduktion (t/a)	Kosten (MCHF)	Effizienz (CHF/t CO2)	Mögliche Umsetzung
Low Noise Augmentation System LNAS	Descent	9’000	16.10	1’788.89	2024
RECAT-EU	Approach sequence	8’626	0.8	92.74	2024
PBN - RF-leg SID	Departure routes	30’532	1.25	40.94	2024
OPS D – Tail	Airline operation	29’000	7.65	264	2024
OPS D - Speed	Airline operation	44’000	8.25	188	2024
Optimized Descent Profile - Continuous Descent Operation from Top of Descent	Descent	5’291	2.5	472.52	2024
Flexible letter of agreement	Traffic Flow	16’328	0.6	36.75	2025
Variable Profile Area VPA	Traffic Flow	14’986	3	493.80	2025
iStream+	Traffic Flow	7’842	0.5	63.76	2025
RNAV-Transitions	Descent	1’219	0.75	615.03	2025
Time-Based Separation on Final	Approach sequence	502	0.3	597.73	2025
Reduce ROT by displaced THR	Approach sequence	17’427	6.5	372.98	2025
Integrated AMAN-DMAN	Airport operation	19'452	5	257.04	2025
Weather information on ASD	MET	139	0.7	5’020.94	2025
Enhanced A-CDM by AOP/APOC **Data strategy ZRH^3** **System-Wide Information Management**	Airport system	25’848	58.75	2’272.86	2025
Dynamic Configuration Adjustment in TMA DYNCAT	Descent	18’000	1.95	108.33	2026
DMAN	Airport operation	16’730	11	57.5	2028
Improved LVP using GBAS	Approach sequence	5’228	35.7	6’828.48	2030
PBN - curved approach	Arrival track	17’427	0.75	43.04	2030
Permanent use of departure route 16 straight LSZH	Departure routes	14’696	0.4	27.22	2030

Die ausgewiesenen CO_2Reduktionspotenziale der einzelnen Projekte lassen sich wegen Überlappungseffekten nicht addieren. Die Zusammenfassung des Gesamteinsparpotenzials (Kosten von 156 MCHF, CO_2-Reduktion von 198'000 Tonnen pro Jahr) ist um diese Effekte bereinigt. Die einzelnen Initiativen sowie deren Abhängigkeit von laufenden Projekten sind im Kapitel 4.3 beschrieben.

3.3 Airport Infrastructure

Die nachfolgende Zusammenstellung umfasst Massnahmen zur Reduktion der CO_2-Emissionen an den Flughäfen Zürich, Genf und Basel. Die Landesflughäfen haben in den Bereichen Infrastruktur und Abfertigung Projekte im Umfang von 187.04 Mio. CHF identifiziert. Diese haben ein Einsparungspotenzial zwischen 600 bis 30'000 Tonnen CO_2 pro Initiative (Die Effekte aus den einzelnen Projekten sind nicht vollständig kumulierbar).

Projektübersicht Airport Infrastructure

Flughafen	Massnahme	CO2-Reduktion (t/a)	Kosten (MCHF)	Effizienz (CHF/t CO2)	Umsetzung
ZRH	**Dekarbonisierung Fahrzeuge und Maschinen**	1'500	34.7	950	2022
ZRH	**Realisierung des Solarstrompotenzials durch Erstellen von PV-Anlagen wo möglich.**	1'800	20	540	2022
ZRH	**Beschaffung Grünstrom. Kosten pro Jahr**	3'700	2.2	600	2022
ZRH	**Europäisches Biogas.** Kosten pro Jahr für Betrieb.	30'000	3	100	2022
ZRH	**Erschliessung geologischer Wärmespeicher**	9'500	47	170	2022
ZRH	**Stationäre elektrische Klimaversorgung für Flugzeuge**	830	7.6	760	2022
GVA	**Erweiterung von solarthermischen und Photovoltaik-Anlagen**	13.6	n.a.		2022
BSL	**Bezug von Grünstrom.** Kosten für Betrieb pro Jahr (Basis 2020/21)	600	0.04	66.67	2022
BSL	**Implementierung von 400 HZ-Geräten**	8'000	0.9	112.50	2022
Alle	**Dekarbonisierung Flugzeugabfertigung**	5'400	71.6	750	2022

3.4 Aircraft Operations

Moderne, treibstoffeffizientere Flugzeuge und operationelle Optimierungen sind der schnellste Weg zu Emissionsminderungen. Aktuell verbrauchen Flugzeuge der neusten Generation rund 20% weniger Treibstoff als ihre Vorgänger. Zusätzlich führen eine effiziente Flugplanung und Verbesserungen der Aerodynamik von Flugzeugen zu unmittelbaren CO_2-Einsparungen. Die nachfolgend aufgelisteten Massnahmen im Umfang von total 24.58 Mio. CHF basieren auf Berechnungen für den Einsatz auf der SWISS Flotte und generieren in der Summe jährliche CO_2-Reduktionen in der Höhe von 89'355 Tonnen pro Jahr.

Projektübersicht Aircraft Operations

Operationelle Massnahmen				
Massnahme	**CO_2-Reduktion (t/a)**	**Kosten (MCHF)**	**Effizienz (CHF/t CO_2) 5 Jahre**	**Umsetzung**
Verbesserte Pre- und Postflight Informationen für Piloten	5'200	2.3	CHF 88	2022
Boeing 777 Performance Improvement Package	3'600	2.80	CHF 156	2022-23
Optimierung der Wasserbetankung	2'780	0.8	CHF 461	2022-23
Erweiterte Inflight Informationen für Piloten	11'850	3.73	CHF 63	2022-23
Riblet-Folien zur Verbesserung der Aerodynamik	61'200	14.8	CHF 48	2022-23
Optimierung von Triebwerksreinigungen	4'725	2.70	CHF 114	2023

3.5 Forschung

Der Forschungsstandort Schweiz nimmt im internationalen Vergleich eine Spitzenposition ein. Im Themenbereich Dekarbonisierung des Luftverkehrs wurden 18 Forschungsprojekte im Umfang von 19 Mio. CHF identifiziert, welche bei einer Umsetzung signifikante CO_2-Reduktionspotenziale entfalten können. Die Forschungsgebiete spannen sich dabei von der Entwicklung von verbesserten / leichteren Materialien für Flugzeuge, über die Begleitung der Kommerzialisierung von alternativen Treibstoffen bis hin zu Policy Analysen. Die Schweiz verfügt mit dem Aviation Research Center Switzerland (ARCS) seit 2017 über ein nationales Kompetenzzentrum für Aviatik-Forschung, das sich insbesondere den Themen Effizienz, Sicherheit und Umweltfreundlichkeit verschrieben hat. Das ARCS greift dabei auf ein breites Netzwerk an renommierten Spezialisten der beteiligten Hochschulen des Zentrums für Aviatik (ZAV) der ZHAW School of Engineering, dem Center for Aviation Competence (CFAC) der Universität St. Gallen, dem Lehrstuhl Management of Network Industries der ETH Lausanne (MIR) sowie der Universität Zürich (UZH) zurück. Derzeit arbeitet das ARCS unter dem Titel «*Road Map Sustainable Aviation*» an einer Studie zur Dekarbonisierung des Luftverkehrs und geht dabei auch auf die Förderung von nachhaltigen alternativen Treibstoffen ein.

Zusätzlich verfügt die ETH Zürich über profilierte Kompetenzzentren und Fachexperten um die Forschungsvorhaben erfolgreich vorantreiben zu können.

Informationen zu möglichen Forschungsprojekten sowie deren Einsparpotenzial bei Umsetzung finden sich im Kapitel 4.5.

3.6 CO_2-Kompensation und Direct Air Carbon Capture (DACC)

Für das Klima ist es unerheblich, an welcher Stelle Treibhausgase ausgestoßen oder vermieden werden. Aus diesem Grund setzen Fluggesellschaften als ergänzende Massnahme vorübergehend auf das Instrument der freiwilligen CO_2-Kompensation. easyJet gleicht seit Ende 2019 sämtliche CO_2-Emissionen ihres Flugbetriebs aus und hat dadurch bereits mehr als 3.4 Millionen Tonnen CO_2 reduziert. Bei Kompensationsgeschäften investieren Fluggesellschaften ausschliesslich in Projekte mit höchsten Qualitätsstandards (Gold Standard, Verirfied Carbon Standard (VCS), Plan Vivo).

Neben der freiwilligen Kompensation sind Fluggesellschaften unter dem UN Instrument CORSIA zum Ausgleich von CO_2-Emissionen durch Investition in Klimaschutzprojekte verpflichtet. Ergänzend zur Finanzierung von Massnahmen in den Bereichen «Aircraft Operations», «Airport Infrastructure», «Air Traffic Management (ATM)» sowie «Sustainable Aviation Fuels (SAF)» soll es den Fluggesellschaften offenstehen, mit Geldern aus dem Klimafonds CO_2-Kompensationsmassnahmen zu finanzieren. Andererseits gilt es, den Fluggesellschaften die Emissionsminderungen aus den freiwilligen sowie gesetzlich verpflichtenden Initiativen anzurechnen.

Negativemissionstechnologien (NET) und Direct Air Carbon Capture (DACC)

Die Reduktion der CO_2-Emissionen auf Netto-Null wird im Luftverkehr nur durch einen ausgewogenen Massnahmenmix erreichbar sein. Dennoch ist bis 2050 mit verbleibenden Emissionen zu rechnen, welche durch sogenannte Negativemissionstechnologien (NET) ausgeglichen werden müssen. Über solche technologische oder biologische Vorgänge wird der Atmosphäre CO_2 entzogen und dauerhaft gespeichert. Dank den Errungenschaften der ETH Zürich zählt die Schweiz weltweit zu den Pionieren in der Direct Air Capture Technologie. Das ETH-Spin-off Climeworks betreibt weltweit die erste kommerzielle Anlage über die der Umgebungsluft durch Direct Air Capture (dAC) CO_2 entzogen wird. Zudem hat das Unternehmen 2020 ein Demonstrationsprojekt im Bereich Direct Air Capture and Storage in Island gestartet. Auch in diesem Bereich gilt es über den Klimafonds Investitionen zu tätigen und die Technologieentwicklung weiter voranzutreiben.

4. Detailinformationen

Dieses Kapitel beinhaltet weiterführende Informationen zu den einzelnen Projekten in den Bereichen «Aircraft Operations», «Airport Infrastructurer», «Air Traffic Management (ATM)», «Sustainable Aviation Fuels (SAF)» und «Forschung».

4.1 Sustainable Aviation Fuels

SAF Infrastruktur

Titel	**Ertüchtigung Tanklagerinfrastruktur Flughafen Zürich**
Emissionsquelle und Akteur	Betrieb der Flugzeuge durch Luftverkehrsgesellschaften, Geschäftsfliegerei, Privatluftfahrt und Flugzeugunterhalt auf Flugplätzen schweizweit.
Beschreibung Projekt / Massnahme	Zum Aufbau einer *Hub&Spoke*-basierten Logistik zur dezidierten Versorgung von Flugplätzen mit *Sustainable Aviation Fuel* (SAF) wird auf dem Areal der TARUBAG in Rümlang (ZH) ein zusätzlicher kleiner Tank mit einem Volumen von ca. 3‘500 m^3 inklusive Einlagerungsleitungen (ab Bahnterminal) und Anbindung an die LKW-Abfüllstation erstellt. Damit können über die etablierte LKW-Versorgung ab dem Flughafen Zürich schweizweit Flugplätze und Flugfelder mit einer spezifischen SAF-Mischung versorgt werden.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	10: Tankanlagen können ab sofort geplant und realisiert werden.
Kosten	Für einen 3‘500 m^3 Tank auf dem Tankfeld D wurden folgende Kosten abgeschätzt: - Einlagerung: 1.6 Mio CHF - Lagerung: 2.4 Mio CHF - Auslagerung: 0.8 Mio CHF - Elektro/Steuerung: 0.5 Mio CHF - Projekt Engineering: 0.2 Mio CHF Total: 5.5 Mio CHF
CO_2-Reduktion	Bei diesem Projekt im Vordergrund steht die Investition in Infrastruktur und der Aufbau der SAF-Logistik in der Schweiz. Die Massnahme generiert erst CO_2-Emissionsreduktionen, wenn der Treibstoff mit SAF-Anteil über die verschiedenen Flugplätze an die Verbraucher abgegeben wird. Bei einer Anlieferungsbeimischung von 36% und einer CO_2-Reduktion von 80% ergibt sich eine Emissionsreduktion von 0.9 t CO_2/Tonne Treibstoffdurchsatz, bei einem rechnerischen Volumen von 10‘000 t/a Treibstoff rund 9‘000 t CO_2/a. Diese Reduktion kann nicht mit anderen SAF-Reduktionen kumuliert werden.

Projekteffizienz	Die spezifischen Kosten hängen vom Durchsatz ab. Bei einem Volumen von 10‘000 t/a und einer Dauer von 15 Jahren ergeben sich Kosten von rund 40 CHF/t CO_2*a.
Umsetzungszeitplan	Die Umsetzung kann ab sofort (2022) erfolgen.
Ausblick, weitere Ausführungen	Diese Massnahme ist relevant, wenn die Endkunden über ein nationales „Book-and-Claim“-System hinaus den nachhaltigen Treibstoff in einem bestimmter Beimischmenge physisch auf dem Flugplatz haben wollen. Dies kann aus Reputations- und Verpflichtungsgründen wichtig sein.

SAF Vertankung

Titel	**Sustainable Aviation Fuel**
Emissionsquelle und Akteur	Betrieb der Flugzeuge durch Luftverkehrsgesellschaften, Geschäftsfliegerei, Privatluftfahrt und Flugzeugunterhalt
Beschreibung Projekt / Massnahme	Einsatz von *„Sustainable Aviation Fuel“* SAF, derzeit verfügbare alternative Treibstoffe der 2. Generation („*Biofuel*“, das die Nachhaltigkeitskriterien des Bundes an erneuerbare Treibstoffe erfüllt,) als Beimischung zu konventionellem, fossilen Kerosin. Sobald kommerziell verfügbar, Einsatz von *sogenannten «renewable fuels of non-biogenic origin» (*RFNBO.)
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	10: SAF ist vollständig zertifiziert als Jet-A1 und kann sofort (auch ab 1.1.2022) eingesetzt werden.
Kosten	Mit finanziellen Mitteln im Umfang von 500 Mio. CHF (Annahme: ½ der Gelder aus dem Klimafonds) können bei einem Mehrpreis von SAF gegenüber fossilem Kerosin in der Höhe von 2‘400 CHF/t pro Jahr ca. 210‘000 Tonnen SAF erworben werden. Bei einer direkten Finanzierung von SAF über die Fluggesellschaften (anstelle der Überweisung der Flugticketabgabe (FTA) an den Bund und Rückverteilung von mind. 51% an die Bevölkerung), stünden massiv höhere finanzielle Mittel zur Verfügung. Unter dem Einsatz von 900 Mio. CHF (90% der FTA) könnten aktuell ca. 375‘000 Tonnen SAF erworben werden. – Tendenz steigend. Der Branchenverband IATA geht davon aus, dass die weltweite Produktion von aktuell ca. 100 Millionen Litern pro Jahr (0.1% des Bedarfs) durch effektive Förderprogramme rasch auf ein kritisches Produktionsniveau von 6-7 Milliarden Liter (2% des Bedarfs) gesteigert werden kann. Diese Menge wird als Wendepunkt angesehen, um SAF auf ein wettbewerbsfähiges Preisniveau gegenüber fossilen Brennstoffen zu bringen[2].

[2] Quelle: https://www.iata.org/en/pressroom/pr/2020-11-25-01/

CO_2-Reduktion	Der spezifische Reduktionsanteil von heute verfügbarem SAF aus biogenen Bestanteilen beträgt bis zu 80% der CO_2-Emissionen. Mit dem derzeit verfügbaren SAF (HEFA-Verfahren) resultieren nachfolgende Einsparungen: Unmittelbare CO_2-Emissionsreduktion 210‘000 t SAF: 527‘000 Tonnen CO_2 (dies entspricht 9% der jährlichen CO_2-Emissionen ab der Schweiz) Unmittelbare CO_2-Emissionsreduktion 375‘000 Tonnen SAF: 941‘000 Tonnen CO_2 (dies entspricht 16% der jährlichen CO_2-Emissionen ab der Schweiz)
Projekteffizienz	Die spezifischen Kosten betragen beim aktuellen Preis 950 CHF/t CO_2.
Umsetzungszeitplan	SAF ist heute in Europa bereits verfügbar und kann sofort entsprechend der Verfügbarkeit der Mittel eingesetzt werden.
Ausblick, weitere Ausführungen	Um die Emissionen des Flugverkehrs abzusenken und bis 2050 neutralisieren zu können, muss die SAF Entwicklung und Markteinführung nun gezielt vorangetrieben werden. Es gilt dabei SAF aus verschiedenen Rohstoffen und Verfahren technologieoffen zu fördern. Vor dem Hintergrund der limitierten Rohstoffverfügbarkeit für SAF aus biogenen Bestandteilen werden künftig sogenannte «*renewable fuels of non-biogenic origin*» (RFNBO) aus CO_2 aus der Atmosphäre und grünem Wasserstoff von besonderer Bedeutung sein. Diese werden nach Industrieeinschätzung ab etwa 2040 in skalierten Mengen und zu konkurrenzfähigen Preisen vorliegen. Ebenfalls ab etwa 2040 sollen nach Herstellerangaben (Rolls Royce, Pratt & Whitney) alle Triebwerke mit 100% alternativem Treibstoff betrieben werden können (derzeit ist die Beimischung auf 50% begrenzt). Mit einer regulären SAF Vertankung kann die Schweiz klare Marktsignale absetzen und die Skalierung der Produktion und Versorgung vorantreiben. Ebenfalls können sich die Schweizer Fluggesellschaften als «*Early Mover*» positionieren und dadurch rechtzeitig den Zugang zu Lieferanten sichern.

Skalierung SAF Synhelion SAF Anlagen Sun-to-Liquid Verfahren

Titel	**Solare Treibstoffe – Roadmap Synhelion**
Emissionsquelle und Akteur	Verbrennen von fossilen Treibstoffen (z.B. Benzin, Diesel, Kerosin) für Mobilitätsanwendungen (Strasse, Luft, Schifffahrt) und stationäre Anwendungen (z.B. Heizen/Kühlen, Back-up Systeme).
Beschreibung Projekt / Massnahme	Synhelion (www.synhelion.com) entwickelt thermochemische Verfahren zur Herstellung von synthetischen Treibstoffen (z.B. Diesel, Kerosin oder Methanol). Die Synhelion-Prozesse sind angetrieben durch konzentriertes Sonnenlicht und erlauben, die Netto-CO_2 -Emissionen der Treibstoffe um 30–100 Prozent zu reduzieren im Vergleich mit fossilen Treibstoffen. Synhelion plant 2023/2024 die erste industrielle Treibstoffanlage (Plant 1) mit einer Produktionsmenge von ca. 358 t/a in Betrieb zu nehmen. Die Anlage mit einem Spiegelfeld von ungefähr 2000 m2 wird voraussichtlich in Spanien gebaut werden. Anschliessend soll die Produktion durch den Bau von weiteren Anlagen in den Folgejahren stark erhöht werden. Eine Herausforderung in der Entwicklung und Skalierung der Treibstofftechnologie stellt die Finanzierung der ersten Test- und Produktionsanlagen dar (hohe Investitionskosten bei hohem Technologierisiko). Die Flughafen Zürich AG unterstützt Synhelion dabei ganz entscheidend, indem sie in einer Absichtserklärung zugesichert hat, die gesamte verfügbare Produktion der ersten Testanlage (Demo Plant) zu den entstehenden Selbstkosten abzunehmen und diese für den Betrieb der Fahrzeugflotte am Flughafen Zürich einzusetzen (Link Pressemitteilung vom 27.05.2020). Abnahmevereinbarungen in dieser Art sind äusserst wertvoll für die Ausrollung der Technologie, weil sie die Finanzierungssicherheit erhöhen und gleichzeitig die Marktnachfrage für die synthetischen Treibstoffe in repräsentativen Anwendungen aufzeigen. Die Skalierung des Synhelion Solar-to-Liquid Ansatzes erfolgt modular. Entwickelte und geprüfte Standardmodule werden vervielfacht und in Anlagen zusammengefügt. Dies reduziert den Entwicklungsaufwand und die Anwendungsrisiken. Die Skalierung orientiert sich an der fortlaufenden Entwicklung der Technologie und der Investitionsbefähigung von Interessenten. Der Ausblick und die Detailkalkulation von Synhelion findet sich in der Übersicht «*Plant installation roadmap 2022–2031*» im Anhang (Kapitel 5.1). Die Roadmap von Synhelion ist äusserst ambitioniert. Die einzelnen Entwicklungsschritte sowie das CO_2 Reduktionspotenzial hängen von diversen Faktoren sowie den verwendeten Rohstoffen ab. Die nachfolgenden Ausführungen beschränken sich auf die Entwicklung bis Plant 3.
Technische Bereitschaft (TRL 1-10)	Der TRL-Level der Technologie wird in den nächsten Jahren in folgenden Schritten von heute ca. 5/6 auf 8/9 erhöht. Ab TRL 9 können grossskalige Anlagen in Betrieb genommen werden: Testanlage: TRL 6 in 2021: Demonstration des integrierten Systems auf DLR-Solarturm in Jülich, Deutschland

Demo Plant: TRL 6-7 in 2022/23: Eigene industrielle Demoanlage in Jülich, Deutschland, ca. 10 t/a

Plant 1: TRL 7 in 2023: Erste industrielle Anlage in Spanien (repräsentative Sonneneinstrahlung), ca. 358 t/a

Plant 2: TRL 8/9 in 2024/25/26: Bau und Betrieb von weiteren Anlagen mit totaler Produktionsmenge von ca. 6000 t/a

TRL 10 in 2030: Angestrebte kumulative Produktionsmenge ca. 700'000 t/a.

Kosten

Die Investitionskosten sind für die erste kommerzielle Anlage (Plant 1) aufgrund des hohen Innovationsgrades mit ca. 15 Mio. CHF hoch, reduzieren sich aber deutlich für die weiteren Anlagen. Analog verhält es sich mit den Treibstoffproduktionskosten welche sich von anfänglich 3-4 CHF/L für die erste Anlage auf ca. 0.3-0.9 CHF/L bis 2030 absenken und mit fossilen Treibstoffen kompetitiv werden.

Die Kosten variieren je nach Anlagegrösse. Folgende Roadmap wurde entwickelt (Auszug, weitere Details siehe Anhang):

Anlage	**Demo Plant 1 Tower, 250+ kW receiver**	**Plant 1: 1 Tower, 1xMW receiver**	**Plant 2: 1 Tower, 3x1MW receiver**	**Plant 3: 4 Towers, 3x1MW receiver**
Standort	Schweiz oder Deutschland	Spanien	Spanien	Tbd (Investor)
Projektstart	2021	2022	2023	2024
Inbebriebnahme	2022	2023	2024/25	2026
CAPEX (in Mio CHF)	8.75 Mio. CHF	14.25 Mio.CHF	20 Mio CHF	51 Mio CHF
Treibstoffmenge (t/y)	10	350	1‘000	5‘000
Treibstoffkosten (in CHF/L)	-	3-4	1.5-2.5	1.2-2.0

CO2-Reduktion

Abhängig von der genauen Prozessausgestaltung (z.B. Anteil Methan, Verwendung von Biogas, Erdgas oder Sun-Redox) ändert sich die CO_2-Einsparung. In der Basisausführung (konservativ) wird eine CO_2-Reduktion von ca. 1t CO_2 pro 1 t Treibstoff erreicht, was für die erste Anlage eine CO2-Reduktion von 350 t/a ergibt. Die CO_2-Einsparung kann – bis auf den Bau der Anlage - bis zur CO_2-Neutralität angepasst werden (die Treibstoffe stossen nur so viel CO_2 aus wie vorgängig aus der Luft oder anderer sinnvoller CO_2-Quelle entnommen wurde).

Es wird mit folgenden CO_2-Einsparungen gerechnet:

Anlage	**Demo Plant 1 Tower, 250+ kW receiver**	**Plant 1: 1 Tower, 1xMW receiver**	**Plant 2: 1 Tower, 3x1MW receiver**	**Plant 3: 4 Towers, 3x1MW receiver**
CO_2-Einsparung (in t/y)	10	350	2‘000 t	10‘000 t

Projekteffizienz

Den Investitionskosten entsprechend sind auch die spezifischen Kosten für die erste Anlage hoch, reduzieren sich aber auf unter 500 CHF/t CO_2 im Jahr 2025/2026 und haben das Potenzial auf 0 CHF/t CO_2 zu sinken bis 2030. Dies bedeutet, dass die umweltfreundlichen Treibstoffe wirtschaftlich kompetitiv werden mit fossilen Treibstoffen.

Bei einer Abschreibungsdauer von 15 Jahren ergeben sich folgende Effizienzen:

Anlage	**Demo Plant 1 Tower, 250+ kW receiver**	**Plant 1: 1 Tower, 1xMW receiver**	**Plant 2: 1 Tower, 3x1MW receiver**	**Plant 3: 4 Towers, 3x1MW receiver**
Effizienz	-	2714 CHF/t CO_2	670 CHF/t CO_2	340 CHF/t CO_2

Ausblick, weitere Ausführungen

Die klare Vision von Synhelion ist es den Kohlenstoffkreislauf zu schliessen und CO_2-neutrale Treibstoffe zu produzieren (wie mit der Demoanlage an der ETH aufgezeigt; Link Demoanlage). Dementsprechend werden die spezifischen CO_2-Emissionen der Treibstoffe durch die Anpassung des Herstellungsverfahrens näherungsweise bis auf Netto-Null abgesenkt. Dabei können bereits bestehende Anlagen modifiziert werden, um die Emissionen zu senken.

Zur Maximierung der Effizienz ist der Standort der Anlagen entscheidend. Entsprechend muss die Logistik diskutiert und geplant werden. Gerade bei anfänglich tiefen Produktionsmengen macht ein Verbrauch in der Nähe der Produktionsstätte Sinn (*Book and Claim*) anstelle des Transports von Kleinstmengen in die Schweiz. Die Förderung dieser innovativen Technologie muss zum einen auf Produzentenseite ansetzen und den Bau von Anlagen unterstützen und zum anderen die langfristige Abnahme des nicht wettbewerbsfähigen SAF aus frühen Anlagen sichern (Pro Anlage wird mit einer Betriebsdauer von 15 Jahren gerechnet, wobei jede nachfolgende Anlage effizienter produzieren und damit günstigeren SAF bereitstellen wird).

4.2 Air Traffic Management (ATM)

Titel	Flexible letter of agreement
Emissionsquelle und Akteur	Transit (Traffic Flow)
Beschreibung Projekt / Massnahme	The project “Flexible letter of agreement” bases on the running project “ATFCM flow based what if” (additional functionality between Geneva and Zürich ACC, analysis of flow according to LoA and adaptation for higher coordinated exit points, for better flight efficiency. 80 kg fuel saved per flight, 2% of annual 1'300'000 flights). The project “Flexible letter of agreement” aims at a generalisation of the concept and a linkage with flow tools as well as an interaction B2B with adjacent centers to increase fuel saving up to 5% of annual 1'300'000 flights
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	9
Kosten	0.6 Mio. CHF
CO_2-Reduktion	The measure reduces CO_2-emissions by approx 16’328 t/a.
Projekteffizienz	The specific costs are 36.75 CHF/t CO_2.
Umsetzungszeitplan	2025
Ausblick, weitere Ausführungen	

Titel	Variable Profile Area VPA
Emissionsquelle und Akteur	All flights (Traffic Flow)
Beschreibung Projekt / Massnahme	The project “Variable Profile Area VPA” bases on the running project “CIV-MIL airspace management tool LARA” **(**More flexible and precise allocation and deallocation of airspace using smaller increments in time and space give rise to increase in network and flight efficiency. Simultaneous activation and deactivation of airspaces in all equipment (CIV+MIL) enhance this effect. Airspace and Routes can be managed more flexibly and dynamically and allows direct and shorter routes more frequently and allow airlines to plan the route with less fuel.). “Variable Profile Area VPA”: The implementation of the CIV-MIL airspace management tool includes the procedure to limit the activation of Air Force training areas to the effectively required altitude bands. This saves an average of 5 NM for 20% of the flights during 200 days.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	3
Kosten	3 Mio. CHF
CO_2-Reduktion	The measure reduces CO_2-emissions by approx 15’000 t/a.
Projekteffizienz	The specific costs are 493.80 CHF/t CO_2.
Umsetzungszeitplan	2025
Ausblick, weitere Ausführungen	Procedure for using the technical possibilities of LARA requires close coordination with MAA, Swiss Air Force and FOCA

Titel	iStream+
Emissionsquelle und Akteur	Anfliegende Flugzeuge (Traffic Flow)
Beschreibung Projekt / Massnahme	Mit der frühzeitigen Setzung von Target Time of Arrival für die anfliegenden Flugzeuge wird die Anflugsequenz festgelegt. Das Sinkprofil wird optimiert, der Flugweg verkürzt und Warteschleifen werden vermieden. Dadurch wird unnötiger Kerosinverbrauch verhindert, wodurch sich eine CO_2 Reduktion erzielen lässt. Pro Tag wird für 20 Flugzeuge (20% Code C und 80% Code E) 4 Minuten Flugzeit reduziert.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	9
Kosten	0.5 Mio. CHF
CO_2-Reduktion	Die Massnahme reduziert die Emissionen um rund 7'842 t CO_2.
Projekteffizienz	Die spezifischen Kosten betragen 63.76 CHF/t CO_2.
Umsetzungszeitplan	Ab 2025
Ausblick, weitere Ausführungen	Das Projekt iStream+ ergänzt das Konzept der Anflugsteuerung – Arrival Manager AMAN – bzw. der erweiterten Anflugsteuerung XMAN.

Titel	Optimized Descent Profile - Continuous Descent Operation from Top of Descent
Emissionsquelle und Akteur	Anfliegende Flugzeuge (Descent)
Beschreibung Projekt / Massnahme	Mit der Publikation eines Flugwegs mit einem Höhenband können die Piloten ihr optimales Absinkprofil ab der Reiseflughöhe wählen. Versuche haben gezeigt, dass dadurch pro Flug durchschnittlich 20 kg Treibstoff gespart werden kann. Die Freigabe für das vertikale Flugprofil kann geschätzt für 30% des anfliegenden Verkehrs zugeteilt werden.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	5
Kosten	2.5 Mio. CHF
CO_2-Reduktion	Die Massnahme reduziert die Emissionen um rund 5’291 t CO_2.
Projekteffizienz	Die spezifischen Kosten betragen 472.52 CHF/t CO_2.
Umsetzungszeitplan	Ab 2024
Ausblick, weitere Ausführungen	Der publizierte Flugweg entspricht der infrastrukturellen Anforderung an das bordseitige Unterstützungssystem LNAS und DYNCAT, bei dem der Pilot beim Energiemanagement des Fluges optimal unterstützt wird.

Titel	RNAV-Transitions
Emissionsquelle und Akteur	Anfliegende Flugzeuge (Descent)
Beschreibung Projekt / Massnahme	Publizierte Flugwege mit Höhenprofil ab den Warteräumen auf den Endanflug, um die Piloten beim Energie-Management - Absinken und Geschwindigkeit reduzieren - in Relation zum Flugweg für ein kontinuierliches Absinken transparenter zu unterstützen. Unwirtschaftliches Halten von Zwischenhöhen kann ausserhalb von Spitzenzeiten reduziert werden. Pro Tag können für 10 Flüge 2 Minuten Horizontalflug vermieden werden..
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	10
Kosten	0.75 Mio. CHF
CO_2-Reduktion	Die Massnahme reduziert die Emissionen um rund 1'219 t CO_2.
Projekteffizienz	Die spezifischen Kosten betragen 615.03 CHF/t CO_2.
Umsetzungszeitplan	Ab 2025
Ausblick, weitere Ausführungen	Die RNAV-Transitions sind die Weiterführung der publizierten Flugwege des *Optimized Descent Profile* in der TMA. Zur Zeit ist die Einführung der RNAV-Transitions auf die Pisten 14 und 16 des Flughafens Zürich über deutschem Hoheitsgebiet durch den Ministervorbehalt blockiert.

Titel	Low Noise Augmentation System LNAS
Emissionsquelle und Akteur	Anfliegende Flugzeuge (Descent)
Beschreibung Projekt / Massnahme	Ein bordseitiges Assistenzsystem via Display im Cockpit unterstützt die Piloten bei der Durchführung eines kontinuierlichen Sinkflugs und eines umweltfreundlichen Landeanflugs. Das System LNAS berechnet die optimale Höhe, Sinkrate, die ideale Geschwindigkeit und Konfiguration des Flugzeugs und korrigiert die Empfehlungen während des Anflugs dynamisch. Der optimale Zeitpunkt für das Ausfahren von Klappen und Fahrwerk wird angezeigt, was eine lärm- und verbrauchsoptimierte Bremsphase während des Anflugs ermöglicht. Auf den letzten 50 Kilometern vor der Landebahn brauchen die Pilotinnen und Piloten mit LNAS im Mittel 8,9 Kilogramm weniger Kerosin als ohne LNAS. Hochgerechnet auf alle A320 Flüge der Swiss (Flugbewegungen 2017) könnte LNAS rund 500 Tonnen Kerosin pro Jahr einsparen. Da das Assistenzsystem bereits ab der Reiseflughöhe, also ab rund 200 Kilometern vor der Piste eingesetzt werden kann, ist das Sparpotential noch deutlich grösser. Konservativ gerechnet ergibt sich eine jährliche Einsparung von 3'000 Tonnen Kerosin, was rund 9'000 Tonnen CO_2 entspricht, wenn lediglich die A320-Flotte der Swiss mit LNAS ausgerüstet werden würde.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	3
Kosten	16.1 Mio. CHF
CO_2-Reduktion	Die Massnahme reduziert die Emissionen um rund 9'000 t CO_2.
Projekteffizienz	Die spezifischen Kosten betragen 1'788.89 CHF/t CO_2.
Umsetzungszeitplan	Ab 2024
Ausblick, weitere Ausführungen	Erste Testversuche in Zürich durchgeführt. Einbau in die Avionik erfordert Zertifizierung. Die Anwendung steht idealerweise in Zusammenhang mit dem *Optimized Descent Profile* und den RNAV-Transitions.

Titel	Dynamic Configuration Adjustment in TMA DYNCAT
Emissionsquelle und Akteur	Anfliegende Flugzeuge (Descent)
Beschreibung Projekt / Massnahme	Das LNAS soll weiterentwickelt und in die zentralen Navigationscomputer von kommerziell genutzten Flugzeugen integriert werden. Damit kann das Anflugprofil für jeden Anflug optimal gewählt werden. Dadurch lässt sich sowohl Lärm reduzieren als auch Treibstoff sparen. Eine Reduktion von jährlich 18'000 t CO_2 könnte eingespart werden, wenn die Ausbreitung des Systems auf sämtliche kommerziell genutzten Flugzeuge vorausgesetzt würde (Annahme A320 = 50% Anteil an Flottenmix).
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	2
Kosten	1.95 Mio. CHF
CO_2-Reduktion	Die Massnahme reduziert die Emissionen um rund 18’000 t CO_2.
Projekteffizienz	Die spezifischen Kosten betragen 108.33 CHF/t CO_2.
Umsetzungszeitplan	Ab 2026
Ausblick, weitere Ausführungen	DYNCAT ist die Weiterentwicklung des LNAS.

Titel	PBN – curved approach
Emissionsquelle und Akteur	Anfliegende Flugzeuge (Arrival Track)
Beschreibung Projekt / Massnahme	Die Einführung von satellitengestützten Anflugverfahren ermöglicht einen geführten Kurvenflug. Dadurch wird nicht nur die Streuung der effektiven Flugwege verringert, sondern die Anflugrouten können um 10% reduziert werden (durchschnittliche Einsparung von 5 NM). Voraussetzung ist die Ausrüstung und Fähigkeiten der Flugzeuge.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	8
Kosten	0.75 Mio. CHF
CO_2-Reduktion	Die Massnahme reduziert die Emissionen um rund 17’427 t CO_2.
Projekteffizienz	Die spezifischen Kosten betragen 43.04 CHF/t CO_2.
Umsetzungszeitplan	Ab 2030
Ausblick, weitere Ausführungen	Die SIL-Objektblätter und die Betriebsreglemente der Flughäfen müssen wegen Lärmrelevanz erst einen curved approach erlauben.

Titel	**Enhanced A-CDM by AOP/APOC** **Data strategy ZRH^3** **System-Wide Information Management**
Emissionsquelle und Akteur	An- und abfliegende Flugzeuge (Airport system)
Beschreibung Projekt / Massnahme	Die drei nachfolgenden Projekte sind direkt voneinander abhängig und erzielen erst eine Reduktion, wenn die technische Voraussetzung geschaffen ist, um die Verfahren zu bestimmen, die in den entsprechenden Räumlichkeiten erbracht werden. **P1: Enhanced A-CDM by AOP/APOC** Die Einführung eines *Airport Operating Plans (AOP)* in einem zentralen und gemeinsam betriebenen *Airport Operation Cell (APOC)* verbessert die Planung, Steuerung und Durchführung des Flughafensystems. Dadurch können die Abfertigungs- und Verkehrssteuerungsprozesse mit einem systematischen Austausch von relevanten Daten besser aufeinander abgestimmt werden. An 20 Tagen werden 10 Flüge präventiv gestrichen, die sonst Warteschlaufen fliegen müssten. Zusätzlich können an 250 Tagen 300 Kurzstreckenflüge Highspeed geflogen werden, was pro Flug 100kg Treibstoff einspart. **P2: Data strategy ZRH^3** Durch einen systematischen Austausch der operationellen Daten auf einer gemeinsamen Plattform zwischen den Fluggesellschaften, Flughäfen und Flugsicherung lassen sich die Flugplanung, den Verkehrsfluss und die Planungsprozesse auf Stufe Routennetzwerk und Flughafensystemen optimieren. **P3: System-Wide Information Management** Durch einen systematischen Europa-weiten Austausch der relevanten Daten in kompatiblen Formaten zwischen den Fluggesellschaften, Flughäfen und Flugsicherung lassen sich die Flugplanung, den Verkehrsfluss und die Planungsprozesse auf Stufe Routennetzwerk und Flughafensystemen optimieren.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	P1 = 9, P2 = 7, P3 = 5
Kosten	Total: 58.75 Mio. CHF (P1=3.75, P2 = 21.5, P3 = 33.5)
CO_2-Reduktion	Die Massnahmen reduzieren die Emissionen um rund 25’848 t CO_2.
Projekteffizienz	Die spezifischen Kosten betragen 2'272.86 CHF/t CO_2.
Umsetzungszeitplan	Ab 2025
Ausblick, weitere Ausführungen	Die Umsetzung setzt die enge Zusammenarbeit und gemeinsame Zielsetzung der beteiligten Organisationen eines Flughafensystems voraus und kann nur gemeinsam realisiert werden.

Titel	RECAT-EU
Emissionsquelle und Akteur	Anfliegende Flugzeuge (Approach sequence)
Beschreibung Projekt / Massnahme	Die Nachlaufturbulenzen der ICAO werden in 4 Kategorien eingeteilt. Die neusten Erkenntnisse führen zu einer feineren Unterteilung mit 6 Kategorien. Die minimalen Abstände können zwischen den Kategorien um 1 NM verringert werden. Dies führt zu einer Reduktion des Flugweges um 1 NM für 150 Flüge an 250 Tagen.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	9
Kosten	0.8 Mio. CHF
CO_2-Reduktion	Die Massnahme reduziert die Emissionen um rund 8'626 t CO_2.
Projekteffizienz	Die spezifischen Kosten betragen 92.74 CHF/t CO_2.
Umsetzungszeitplan	Ab 2024
Ausblick, weitere Ausführungen	Um den Fluglotsen die entsprechenden minimalen Abstände je nach Konstellation der anfliegenden Flugzeuge anzuzeigen, wird die Verfügbarkeit eines technischen Unterstützungssystems in der Anflugkontrolle vorausgesetzt, das sich in der Beschaffung befindet.

Titel	Time-Based Separation on Final
Emissionsquelle und Akteur	Anfliegende Flugzeuge (Approach sequence)
Beschreibung Projekt / Massnahme	Bei starkem Gegenwind können die minimalen Landeabstände um 0.5 NM verringert werden. Das führt zu einer Reduktion des Flugweges von 0.5 NM für 150 Flugzeuge an 30 Tagen
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	9
Kosten	0.3 Mio. CHF
CO_2-Reduktion	Die Massnahme reduziert die Emissionen um rund 502 t CO_2.
Projekteffizienz	Die spezifischen Kosten betragen 597.73 CHF/t CO_2.
Umsetzungszeitplan	Ab 2025
Ausblick, weitere Ausführungen	Um den Fluglotsen die entsprechenden minimalen Abstände der anfliegenden Flugzeuge je nach Windverhältnisse anzuzeigen, wird die Verfügbarkeit eines technischen Unterstützungssystems in der Anflugkontrolle vorausgesetzt, das sich in der Beschaffung befindet.-

Titel	Reduce ROT by displaced THR
Emissionsquelle und Akteur	Anfliegende Flugzeuge (Approach sequence)
Beschreibung Projekt / Massnahme	Mit der Einführung eines zusätzlichen Anflugverfahrens auf eine versetzte Pistenschwelle lässt sich die Pistenbelegungszeit auf unter 50 Sek reduzieren, so dass der Minimalabstand im Endanflug von 3 NM auf 2.5 NM reduziert werden kann. Bei hoher Nachfrage werden so die Anzahl zu fliegender Warteschleifen verringert, was zu einer geschätzten Reduktion von 5 Minuten für 10 Flugzeuge (80% Code C, 20% Code E) während 250 Tagen pro Jahr führt.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	7
Kosten	6.5 Mio. CHF
CO_2-Reduktion	Die Massnahme reduziert die Emissionen um rund 17'427 t CO_2.

Projekteffizienz	Die spezifischen Kosten betragen 372.98 CHF/t CO_2.
Umsetzungszeitplan	Ab 2025
Ausblick, weitere Ausführungen	Um den Fluglotsen die entsprechenden minimalen Abstände je nach verwendeter Anflugverfahren der anfliegenden Flugzeuge anzuzeigen, wird die Verfügbarkeit eines technischen Unterstützungssystems in der Anflugkontrolle vorausgesetzt, das sich in der Beschaffung befindet.-

Titel	**Improved LVP using GBAS**
Emissionsquelle und Akteur	Anfliegende Flugzeuge (Approach sequence)
Beschreibung Projekt / Massnahme	Das Ground-Based Augmentation System GBAS benötigt im Gegensatz zu einem ILS keine sensitive Schutzzone, die einen erhöhten Landeabstand erfordert. Dadurch müssen die Landeabstände bei eingeschränkten Sichtbedingungen und Nebel nicht mehr so drastisch erhöht werden. Dies führt zu einer Reduktion der Flugzeit von 5 Minuten für 100 Flugzeuge während 30 Tagen.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	2
Kosten	35.7 Mio. CHF
CO_2-Reduktion	Die Massnahme reduziert die Emissionen um rund 5’228 t CO_2.
Projekteffizienz	Die spezifischen Kosten betragen 6'828.48 CHF/t CO_2.
Umsetzungszeitplan	Ab 2030
Ausblick, weitere Ausführungen	Die Flugzeuge müssen über die entsprechende Ausrüstung verfügen, um einen GBAS-Anflug durchführen zu können, was entsprechende Investitionen erfordert.

Titel	**DMAN**
Emissionsquelle und Akteur	Anfliegende Flugzeuge (Airport operation)
Beschreibung Projekt / Massnahme	Beschaffung des *Tools* DMAN, welches zu einer optimierten Verkehrsführung der abfliegenden Flugzeuge führt. Annahme: durchschnittlich 5 Minuten weniger Rollzeit für 100 Flüge an 300 Tagen
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	8
Kosten	11 Mio. CHF
CO_2-Reduktion	Die Massnahme reduziert die Emissionen um rund 16’729.92 t CO_2.
Projekteffizienz	Die spezifischen Kosten betragen 657.5 CHF/t CO_2.
Umsetzungszeitplan	Ab 2028
Ausblick, weitere Ausführungen	-

Titel	Integrated AMAN-DMAN
Emissionsquelle und Akteur	An- und abfliegende Flugzeuge (Airport operation)
Beschreibung Projekt / Massnahme	Durch eine Schnittstelle zwischen dem *Arrival-Managementsystem* (Flugsicherung) und dem *Departure-Managementsystem* (Flughafen) können die Zeitfenster für Starts und Landungen aufeinander abgestimmt und unnötige Wartezeiten vermieden werden. Dies führt zu einer Reduktion von 10 Minuten Wartezeit vor der Piste für 5 Code E Flugzeuge während 250 Tagen pro Jahr und einer Reduktion der Warteschleifen um je 5 Minuten für 5 Code C Flugzeuge pro Tag über die gleich Anzahl Tage pro Jahr.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	5
Kosten	5 Mio. CHF
CO_2-Reduktion	Die Massnahme reduziert die Emissionen um rund 19'452.30 t CO_2.
Projekteffizienz	Die spezifischen Kosten betragen 257.04 CHF/t CO_2.
Umsetzungszeitplan	Ab 2025
Ausblick, weitere Ausführungen	Setzt ein modernes AMAN und DMAN System voraus, das miteinander verbunden werden kann.

Titel	PBN - RF-leg SID
Emissionsquelle und Akteur	Abfliegende Flugzeuge (Departure routes)
Beschreibung Projekt / Massnahme	Die Einführung von satellitengestützten Abflugverfahren ermöglicht einen geführten Kurvenflug. Dadurch wird nicht nur die Streuung der effektiven Flugwege verringert, sondern die Abflugrouten können um durchschnittlich 1 NM reduziert werden.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	8
Kosten	1.25 Mio. CHF
CO_2-Reduktion	Die Massnahme reduziert die Emissionen um rund 30'532.10 t CO_2.
Projekteffizienz	Die spezifischen Kosten betragen 40.94 CHF/t CO_2.
Umsetzungszeitplan	Ab 2024
Ausblick, weitere Ausführungen	Voraussetzung ist die Ausrüstung und Fähigkeiten der Flugzeuge

Titel	Permanent use of departure route 16 straight LSZH
Emissionsquelle und Akteur	Abfliegende Flugzeuge (Departure routes)
Beschreibung Projekt / Massnahme	Die Abflugroute ab Piste 16 mit Linkskurve wird mit der Abflugroute ab Piste 16 straight ersetzt. Der Flugweg für Abflüge in den Süden und in den Westen reduziert sich um durchschnittlich 5 NM für jährlich 6'600 Abflüge ab Piste 16. Durch den Wegfall der Abhängigkeiten zwischen Landepiste 14 und Startpiste 16 entfallen die erhöhten Landeabstände, die einen Start auf Piste 16 ermöglichen. Pro Abflug ab Piste 16 können zusätzlich für täglich 100 Flüge an 250 Tagen durchschnittlich 4 NM Weg eingespart werden.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	10
Kosten	0.4 Mio. CHF
CO_2-Reduktion	Die Massnahme reduziert die Emissionen um rund 14'696.46 t CO_2.
Projekteffizienz	Die spezifischen Kosten betragen 27.22 CHF/t CO_2.
Umsetzungszeitplan	Ab 2030
Ausblick, weitere Ausführungen	Voraussetzung: Anpassung des SIL Objektblattes Flughafen Zürich und des Betriebsreglements

Titel	Weather information on ASD
Emissionsquelle und Akteur	Alle Flüge (Meteo)
Beschreibung Projekt / Massnahme	Durch die Integration von Wetterdaten, insbesondere über Gewitterzellen, können die Fluglotsen den an- und abfliegenden Verkehr effizienter leiten. Unnötige Umwege können für 10 Flugzeuge an 20 Tagen um 5 NM reduziert werden.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	8
Kosten	0.7 Mio. CHF
CO_2-Reduktion	Die Massnahme reduziert die Emissionen um rund 139.42 t CO_2.
Projekteffizienz	Die spezifischen Kosten betragen 5'020.94CHF/t CO_2.
Umsetzungszeitplan	Ab 2025
Ausblick, weitere Ausführungen	Die Beschaffung der Wetterdaten ist nicht Bestandteil des Projekts.

Titel	OPS D - Tail
Emissionsquelle und Akteur	Flugzeuge / NOC-Operation (*Airline operation*)
Beschreibung Projekt / Massnahme	Einführung einer "*Learing Machine*", welche die bestmögliche Nutzung von Flugzeugen unter Berücksichtigung mehrerer Parameter ermöglicht: Flugzeug, Passagierinformationen und -entwicklung, Frachtinformationen und -entwicklung, aktuellste Wetterprognose, Situation in ATM und Flughafen
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	8
Kosten	7.65 Mio. CHF
CO_2-Reduktion	Die Massnahme reduziert die Emissionen um rund 29'000 t CO_2.
Projekteffizienz	Die spezifischen Kosten betragen 264 CHF/t CO_2.
Umsetzungszeitplan	Ab 2024
Ausblick, weitere Ausführungen	

Titel	OPS D - Speed
Emissionsquelle und Akteur	Flugzeuge / NOC-Operation (*Airline operation*)
Beschreibung Projekt / Massnahme	Einführung einer "*Learning Machine*", die als Entscheidungsunterstützung für die Fluggeschwindigkeit unter Verwendung der bestmöglichen Vorhersage von: ETA (geschätzte Ankunftszeit), Flugzeuginformationen, Passagierverbindung und -entwicklung, Fracht, tatsächliche Wettersituation, ATM und Flughafen zur Anwendung kommt.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	8
Kosten	8.25 Mio. CHF
CO_2-Reduktion	Die Massnahme reduziert die Emissionen um rund 44'000 t CO_2.
Projekteffizienz	Die spezifischen Kosten betragen 188 CHF/t CO_2.
Umsetzungszeitplan	Ab 2024
Ausblick, weitere Ausführungen	.

4.3 Airport Infrastructure

4.3.1 Flughafen Zürich

Titel	Dekarbonisierung Fahrzeuge und Maschinen Flughafenunterhalt
Emissionsquelle und Akteur	Emissionen der Fahrzeuge, Maschinen und Geräte der Flughafen Zürich AG für den Betrieb und Unterhalt des Flughafens.
Beschreibung Projekt / Massnahme	Ersatzbeschaffungen und Umrüstungen der Fahrzeuge und Maschinen auf emissionsfreie Antriebe. Dies umfasst einerseits Elektroantriebe für verschiedene Gruppen von Fahrzeugen und Maschinen und andererseits Wasserstoffantriebe insbesondere für schwere Nutzfahrzeuge. Es können rund 95% aller Fahrzeuge und Geräte innerhalb etwa 5 Jahren (2022-2027) dekarbonisiert werden.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	8: Die rein elektrisch betriebenen Fahrzeuge und Geräte sind grundsätzlich auf dem Markt verfügbar. Wasserstoff-Fahrzeuge sind erst als Prototypen verfügbar.
Kosten	Die Kosten umfassen Umrüstungen, Neubeschaffungen und die notwendigen Lade-/Betankungsinfrastruktur über einen Zeitraum von 2022-2027. Dies ergibt geschätzte Kosten von: - Fahrzeuge und Geräte: 32.2 Mio. CHF - Betankungsinfrastruktur: 2.5 Mio. CHF Total: 34.7 Mio. CHF Investitionskosten,
CO_2-Reduktion	Die Massnahme reduziert den jährlichen Dieselverbrauch und damit die Emissionen um rund 1‘500 t CO_2/a.
Projekteffizienz	Die spezifischen Kosten betragen 950 CHF/t CO_2.
Umsetzungszeitplan	Entsprechende (elektrische) Fahrzeuge und Geräte sind verfügbar und eine Umsetzung kann schrittweise ab 2022 über eine Zeitdauer von 5 Jahren erfolgen.
Ausblick, weitere Ausführungen	Diese mögliche Massnahme kann sich überschneiden mit der Verfügbarkeit von nicht-fossilen Treibstoffen; es ist also keine Kumulation möglich.

Titel	Stationäre elektrische Klimaversorgung Flugzeuge
Emissionsquelle und Akteur	Emissionen der APU von Luftfahrzeugen auf offenen Standplätzen am Flughafen Zürich.
Beschreibung Projekt / Massnahme	Zusätzliche Ausrüstung von 25 offenen Standplätzen (Stands C, G, P) mit stationären, elektrisch betriebenen Klimatisierungsanlagen als Ergänzung zu den Stromversorgungsanlagen.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	10: Entsprechende Anlagen sind kommerziell verfügbar und wurden in Europe schon ausgeliefert.
Kosten	Die Kosten umfassen die mobilen Klimageräte, die Ertüchtigung von Trafostationen und die Versorgung der einzelnen Standplätze mit Strom: 1. Klimageräte: 2‘500‘000 CHF 2. Ertüchtigung Stromversorgung: 5‘125‘000 CHF Total: 7‘625‘000 CHF
CO_2-Reduktion	Die Massnahme reduziert den jährlichen Kerosinverbrauch und damit die Emissionen um rund 830 t CO_2/a.
Projekteffizienz	Die spezifischen Kosten betragen 760 CHF/t CO_2 für eine Abschreibungsdauer von 12 Jahren
Umsetzungszeitplan	Entsprechende (elektrische) Geräte sind verfügbar und eine Umsetzung kann schrittweise ab 2022 über eine Zeitdauer von 5 Jahren erfolgen.

Ausblick, weitere Ausführungen	

Titel	**Photovoltaikanlagen Flughafen Zürich**
Emissionsquelle und Akteur	Elektrischer Strom der Flughafen Zürich AG für das Areal und alle Nutzer des Flughafens Zürich
Beschreibung Projekt / Massnahme	Erstellen von Photovoltaikanlagen auf den Hochbauten der Flughafen Zürich AG: Auf den dafür geeigneten Dachflächen der Flughafengebäude werden Photovoltaikanlagen erstellt, deren Stromertrag direkt in das Mittelspannungsnetz des Flughafens eingespeist wird. Die total installierbare Leistung der Anlagen beträgt etwa 11.5 MWh auf einer Dachfläche von rund 99‘000 m^2. Der durchschnittliche Energieertrag liegt bei etwa 10‘000 MWh Strom pro Jahr (oder ca. 8% des Bedarfs).
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	10: Eine Potenzialstudie von 2016 zeigt über das gesamte Areal alle Möglichkeiten auf; zudem sind Photovoltaikanlagen heute breit verfügbar.
Kosten	Die reinen Investitionskosten liegen bei rund 20 Mio. CHF; mit Betriebs- und Finanzkosten ergeben sich so rund 37 Mio. CHF Gesamtkosten. Dem stehen vermiedene Stromeinkaufskosten (Graustromqualität) von knapp 13 Mio. CHF gegenüber, was Nettokosten von rund 24 Mio. CHF über 25 Jahre ergibt.
CO_2-Reduktion	Je nach anwendbarem Emissionsfaktor des bezogenen Strommixes variiert die CO_2-Reduktion. Beim Einsetzen des schweizerischen Verbrauchermixes von 0.182 kg/kWh (Webseite BAFU) resultieren rund 1‘800 t CO_2 Reduktion pro Jahr.
Projekteffizienz	Die spezifischen Kosten betragen unter dieser Annahme 540 CHF/t CO_2.
Umsetzungszeitplan	Grundsätzlich kann sofort mit der Umsetzung begonnen werden. Allerdings wird eine Umsetzung aus gebäudetechnischen Überlegungen eher gestaffelt stattfinden, damit Gebäudesanierungen oder Umbauten mitberücksichtig werden können. Es muss mit einer Umsetzungsdauer von 10 Jahren gerechnet werden.
Ausblick, weitere Ausführungen	Selbstproduzierter Strom aus PV-Anlagen vermag nur einen kleinen Anteil des Strombedarfs zu decken. Alternativ oder ergänzend kann vollständig erneuerbarer Strom beschafft werden.

Titel	**Beschaffung erneuerbarer Strom Flughafen Zürich**
Emissionsquelle und Akteur	Elektrischer Strom der Flughafen Zürich AG für das Areal und alle Nutzer des Flughafens Zürich
Beschreibung Projekt / Massnahme	Beschaffung von erneuerbarem Strom (z.B. Naturmade Star) auf dem Strommarkt für alle Nutzer des Flughafens Zürich.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	10: Erneuerbarer Strom ist auf dem Markt verfügbar.
Kosten	Es ergeben sich zusätzliche Betriebskosten von rund 2.2 Mio CHF/a bei einer Strommenge von 140‘000 MWh/a und einem Aufpreis von 1.6 Rp/kWh.
CO_2-Reduktion	Je nach anwendbarem Emissionsfaktor des bezogenen Strommixes variiert die CO_2-Reduktion. Ein nach Stromzusammensetzung (HKN) aufgeteilter Faktor von 0.0266 kg/kWh nach SIA ergibt eine Reduktion von 3‘700 t CO_2/a. Beim Einsetzen des schweizerischen Verbrauchermixes von 0.182 kg/kWh (Webseite BAFU) resultieren rund 25‘500 t CO_2 Reduktion.
Projekteffizienz	Die spezifischen Kosten betragen 600 CHF/t CO_2 oder 90 CHF/t CO_2.
Umsetzungszeitplan	Diese Massnahme kann sofort umgesetzt werden.
Ausblick, weitere Ausführungen	Ein Anteil von maximal etwa 8% kann über PV-Anlagen auf dem Areal erbracht werden; diese spezifischen Kosten sind allerdings höher (s. dort).

Titel	Europäisches Biogas für Heizzentrale
Emissionsquelle und Akteur	Blockheizkraftwerk der FZAG zur Versorgung der gesamten Gebäudeinfrastruktur des Flughafens Zürich.
Beschreibung Projekt / Massnahme	Für den Betrieb des Blockheizkraftwerks wird von bisher fossilem Erdgas auf Biogas europäischer Herkunft gewechselt.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	10: Biogas europäischer Herkunft ist verfügbar und kann in das europäische Gasnetz eingespeist werden, an dem schlussendlich auch die Flughafen Zürich AG angeschlossen ist.
Kosten	Die Betriebskosten für den vollständigen Ersatz des Erdgasbedarfs von rund 125‘000 MWh betragen rund 3 Mio CHF/a (Basis Erdgasbedarf 2019).
CO_2-Reduktion	Bei der Verbrennung von Biogas entstehen keine fossilen CO_2-Emissionen. Somit, beträgt die Emissionsreduktion knapp 30‘000 t CO_2/a, respektive die gesamten Emissionen der Heizzentrale.
Projekteffizienz	Die spezifischen Kosten betragen 100 CHF/t CO_2.
Umsetzungszeitplan	Biogas ist heute in Europa bereits verfügbar und kann sofort entsprechend der Verfügbarkeit der Mittel eingesetzt werden.
Ausblick, weitere Ausführungen	Es wird angenommen, dass Biogas nicht langfristig in sehr hohen Mengen verfügbar sein wird. Deshalb wird längerfristig auf synthetische Brennstoffe umzustellen sein. Darauf zielt auch das MoU zwischen dem Flughafen Zürich und der Firma Synhelion ab, die an der Entwicklung und Produktion von synthetisiertem Gas forscht und arbeitet.

Titel	Erschliessung geologischer Wärmespeicher
Emissionsquelle und Akteur	Blockheizkraftwerk der FZAG zur Versorgung der gesamten Gebäudeinfrastruktur des Flughafens Zürich.
Beschreibung Projekt / Massnahme	Zur saisonalen Energiespeicherung von Wärme wird die geologische Rinne unter Flughafen erschlossen und die Energiezentrale zusammen mit dem Wärmverteilnetz entsprechend umgebaut.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	6: Probebohrungen sollen den Umfang der Machbarkeit und die effektive Wärmespeicherkapazität aufzeigen
Kosten	Die Kosten für die Bohrungen, die Nutzbarmachung des Untergrunds, der Umbau der Energiezentrale sowie der Fernleitungen ergeben Gesamtkosten von rund 47 Mio. CHF.
CO_2-Reduktion	Durch die Nutzbarmachung dieser geologischen Rinne und den notwendigen Anpassungen können ab 2030 jährlich rund 45‘000 MWh fossiler Erdgasbedarf eingespart werden. Dies führt zu einer Emissionsreduktion von knapp 9‘500 t CO_2/a.
Projekteffizienz	Die spezifischen Kosten betragen rund 170 CHF/t CO_2 pro Jahr über 30 Jahre.
Umsetzungszeitplan	Probebohrungen können je nach verfügbarer Mittel 2022-2023 erfolgen und die weiteren Anpassungen im Zeitraum 2025-2030.
Ausblick, weitere Ausführungen	Die Gewissheit über die Nutzbarmachung der geologischen Rinne ist erst nach den Probebohrungen vorhanden. Alternativ und in Kombination dazu ist die Versorgung der Energiezentrale mit Biogas möglich.

Titel	Dekarbonisierung Flugzeugabfertigung
Emissionsquelle und Akteur	Flugzeugabfertigung mit Fahrzeugen und Geräten (*GSE: Ground Support Equipment*) durch einen *Airport Service Provider*, Swissport International.
Beschreibung Projekt / Massnahme	An den Landesflughäfen Zürich, Genf und Basel werden soweit möglich die Abfertigungsgeräte entweder elektrifiziert oder auf Wasserstoffantrieb umgerüstet, respektive neu beschafft. Die betrifft bspw. *Ground Power* Units (GPU), Flugzeugschlepper, Traktoren, Lieferwagen, Treppen, Förderbänder. Es können rund 95% aller Fahrzeuge und Geräte bezüglich CO_2 Emissionen in der Schweiz innerhalb etwa 8 Jahren (2022-2030) dekarbonisiert werden.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	8: Die rein elektrisch betriebenen Fahrzeuge und Geräte sind grundsätzlich auf dem Markt verfügbar. Allerdings werden sie nur auf Bestellung gefertigt. Wasserstoff-Fahrzeuge sind erst als Prototypen verfügbar.
Kosten	Die Kosten umfassen Umrüstungen, Neubeschaffungen und die notwendigen Lade-/Betankungsinfrastruktur.* Dies ergibt geschätzte Kosten von: - Flughafen Zürich: 41.5 Mio. CHF - Flughafen Genf: 15.0 Mio. CHF - Flughafen Basel: 15.1 Mio. CHF Total: 71.6 Mio. CHF Investitionskosten
CO_2-Reduktion	Die Massnahme reduziert den jährlichen Dieselverbrauch und damit die Emissionen für das Schweizer Treibhausgasinventar um rund: - Flughafen Zürich: 3‘200 t CO2/a - Flughafen Genf: 1‘100 t CO2/a - Flughafen Basel: 1‘100 t CO2/a Total: 5‘400 t CO2/a
Projekteffizienz	Die spezifischen Kosten betragen bei einer durchschnittlichen Abschreibedauer von 17 Jahren rund 750 CHF/t CO_2.
Umsetzungszeitplan	Entsprechende (elektrische) Fahrzeuge und Geräte sind verfügbar und eine Umsetzung kann schrittweise ab 2022 über eine Zeitdauer von 8 Jahren erfolgen.
Ausblick, weitere Ausführungen	Die spezifischen Kosten können durch Skaleneffekte und Nutzung von Synergien in der Infrastruktur noch etwas gesenkt werden.

4.3.2 Aéroport de Genève

Titre	Extension des installations solaires thermiques et photovoltaïques
Source et acteur des émissions	Aéroport de Genève
Description du projet	Jusqu’à présent 10'000 m^2 ont déjà été installés sur les différents bâtiments de l’aéroport
Disponibilité technique (TRL1-10)	Sans objet
Coûts	
CO_2-Réduction	13,6 tonnes/ an
Efficacité du projet	Important
Calendrier d'application	Extension des installations disponibles

Perspectives, explications complémentaires	Accord avec les Services Industriels de Genève (SIG) pour poursuivre le déploiement d'installations photovoltaïques et solaires thermiques

4.3.3 Aéroport Bâle-Mulhouse

Titre	**Électricité certifiée verte**
Source et acteur des émissions	Aéroport infrastructure
Description du projet	achat de certificats d'électricité verte
Disponibilité technique (TRL1-10)	10
Coûts	Coûts supplémentaires d'environ 40'000 €
CO_2-Réduction	600t CO^2-eq
Efficacité du projet	n/a
Calendrier d'application	2022
Perspectives, explications complémentaires	

Titre	**Mise en œuvre équipement 400 Hz**
Source et acteur des émissions	Aéroport infrastructure
Description du projet	Mise en œuvre équipement 400 Hz
Disponibilité technique (TRL1-10)	10
Coûts	Coût par unité environ 150'000 € plus infrastructure de recharge
CO_2-Réduction	Gain potentiel important par rapport aux émissions de CO_2 environ 8000 tonnes par année.
Efficacité du projet	n/a
Calendrier d'application	2022
Perspectives, explications complémentaires	

4.4 Aircraft Operations

Titel	Flottenerneuerung
Emissionsquelle und Akteur	Flugzeuge
Beschreibung Projekt / Massnahme	Moderne Flugzeuge emittieren gegenüber ihren Vorgängermodellen zwischen 10 bis 20 Prozent weniger CO_2. Ende 2019 zählten nur etwa 12% der Einsatz befindlichen Flugzeuge zur neuesten (4.) Generation.
Technische Bereitschaft (TRL 1-10)	10
Kosten	n/a
CO_2-Reduktion	Mit einer Flottenerneuerung von 100 Flugzeugen, welche ab der Schweiz im Einsatz sind, könnte jährlich eine CO_2-Reduktion von ca. 1 Milliarde Tonnen CO_2 erzielt werden.
Projekteffizienz	Mit einer Kostenbeteiligung an modernen Flugzeugen im Umfang von CHF 7 Millionen würden für ein Kurzstreckenflugzeug beispielsweise CO_2-Reduktionskosten von CHF 172 pro Tonne CO_2 resultieren.
Umsetzungszeitplan	Ab 2022
Ausblick, weitere Ausführungen	Aufgrund der massiven Einsparpotenziale gilt es den Einsatz von modernsten Flugzeugen zu fördern. Während die Flugzeuge vorerst mit fossilem Kerosin betrieben werden, können sie – sobald verfügbar – mit alternativem Treibstoff betankt werden. Langfristig können technologische Innovationen wie beispielsweise Hybrid-antriebe und elektrisch angetriebene Triebwerke zu einer massgebenden CO_2-Reduktion beitragen, doch eine breite kommerzielle Markteinführung wird noch Jahre beanspruchen.

Titel	Verbesserte Pre- und Postflight Informationen für Piloten
Emissionsquelle und Akteur	SWISS
Beschreibung Projekt / Massnahme	Die Einführung eines neuen Tools mittels dem Piloten noch umfassendere Pre- und *Postflight* Informationen zum erwarteten Fuelverbrauch und Streckenverlauf erhalten, hilft Piloten ihre Flüge besser zu planen und somit einen optimierteren Tankentscheid zu treffen. Durch die Einbindung von *Safety Themen* wird zudem die *Situational Awareness* verbessert.
Technische Bereitschaft (TRL 1-10)	8: Entsprechende Tools sind auf dem Markt verfügbar, können jedoch noch nicht auf allen Endgeräten eingesetzt werden.
Kosten	Inbetriebnahme: CHF 100’000 Jährliche Lizenz-und Betriebskosten: CHF 450’000 5-Jahrestotal: CHF 2'300’000
CO_2-Reduktion	Basierend auf Produktionszahlen von 2019 hat die Umsetzung des Projekts ein CO_2-Reduktionspotenzial von 5'200 Tonnen CO_2 pro Jahr.
Projekteffizienz	Über eine Abschreibungsdauer von 5 Jahren resultiert eine Projekteffizienz von CHF 88 pro Tonne CO_2.
Umsetzungszeitplan	Die Einführung des *Tools* und die Entwicklung der notwendigen Schnittstellen kann ab 2022 erfolgen.
Ausblick, weitere Ausführungen	Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz des Planungs-*Tools* für Piloten ist eine umfassende Schulung und damit einhergehend eine ganzheitliche Einführung im täglichen Betrieb.

Titel	Boeing 777 Performance Improvement Package
Emissionsquelle und Akteur	SWISS
Beschreibung Projekt / Massnahme	Einbau eines *Performance Improvement Package* (PIP) in sechs Boeing 777 der ersten Generation, welches den Treibstoffverbrauch pro Flugzeug um 0.5% reduziert. Das PIP beinhaltet aerodynamische Modifikationen an den Flugzeugen, u.a. verbesserte *Slats, Flaps* und *Trailing Edges*.
Technische Bereitschaft (TRL 1-10)	9: Eine Potentialstudie wurde schon durchgeführt. Allenfalls fehlende Standzeiten könnten den Einbau verzögern.
Kosten	Einkauf des PIP von Boeing: CHF 2'200'000 Umbau von Flugzeugen: CHF 620’000 5-Jahrestotal: CHF 2'800’000
CO_2-Reduktion	Basierend auf Produktionszahlen von 2019 hat die Umsetzung des Projekts ein CO_2-Reduktionspotential von 3'600 Tonnen CO2 pro Jahr.
Projekteffizienz	Über eine Abschreibungsdauer von 5 Jahren resultiert eine Projekteffizienz von CHF 156 pro Tonne CO_2.
Umsetzungszeitplan	Eine Umrüstung der Boeing 777 kann ab 2022 erfolgen und würde, je nach Standzeiten, 2023 fertiggestellt sein.
Ausblick, weitere Ausführungen	Ein Umbau der Flugzeuge macht Sinn, da diese noch viele Jahre im Einsatz sein werden.

Titel	Optimierung Wasserbetankung
Emissionsquelle und Akteur	SWISS
Beschreibung Projekt / Massnahme	Durch optimierte Prozesse und Tools kann die Wasserbetankungsmenge der Langstreckenflugzeuge optimiert werden. Durch die Gewichtseinsparung reduziert sich der Kerosinverbrauch.
Technische Bereitschaft (TRL 1-10)	8: Entsprechende Projekte wurden bei anderen Airlines schon durchgeführt. Eine Herausforderung bei der Umsetzung ist die Anpassungsfähigkeit der Schnittstellen der *Ground* und *Load Systeme*.
Kosten	Einführung neues Tool: CHF 750’000 Jährliche Betriebskosten: CHF 25’000 5-Jahrestotal: 850’000
CO_2-Reduktion	Basierend auf Produktionszahlen von 2019 hätte die Umsetzung des Projekts ein CO_2-Reduktionspotential von 2'780 Tonnen CO^2 pro Jahr.
Projekteffizienz	Über eine Abschreibungsdauer von 5 Jahren resultiert eine Projekteffizienz von CHF 61 pro Tonne CO_2.
Umsetzungszeitplan	2022-2023
Ausblick, weitere Ausführungen	-

Titel	Erweiterte Inflight Informationen für Piloten
Emissionsquelle und Akteur	SWISS
Beschreibung Projekt / Massnahme	Verbesserte *Inflight* Informationen zu Wetter und Flugprofil führen zu einer optimierten Durchführung des Fluges und somit zu einer Reduktion des Treibstoffverbrauchs.
Technische Bereitschaft (TRL 1-10)	9: Entsprechende Tools sind auf dem Markt verfügbar, jedoch nur teilweise mit den Endgeräten kompatibel. Cockpits müssen hierfür mit einer besseren Internetverbindung ausgerüstet werden.
Kosten	Umrüstung diverser Flotten: CHF 2'500’000 Jährliche Betriebs- und Lizenzkosten: CHF 245’000 5-Jahrestotal: CHF 3'725’000
CO_2-Reduktion	Basierend auf Produktionszahlen von 2019 hätte die Umsetzung des Projekts ein CO_2-Reduktionspotential von 11'850 Tonnen CO2 pro Jahr.
Projekteffizienz	Über eine Abschreibungsdauer von 5 Jahren resultiert eine Projekteffizienz von CHF 63 pro Tonne CO_2.
Umsetzungszeitplan	2022-2023
Ausblick, weitere Ausführungen	Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz des Planungs-Tools ist eine umfassende Schulung und damit einhergehend eine ganzheitliche Einführung im täglichen Betrieb

Titel	Riblet-Folien zur Verbesserung der Aerodynamik
Emissionsquelle und Akteur	SWISS
Beschreibung Projekt / Massnahme	Durch das Anbringen von Riblet-Folien (auch genannt *Sharkskin*) auf dem Flugzeugrumpf reduziert sich der Luftwiederstand der Flugzeuge. Durch die Folie kann der Kerosinverbrauch auf dem Airbus A330 um bis zu 3%, auf der Boeing 777 um bis zu 1.3% reduziert werden.
Technische Bereitschaft (TRL 1-10)	8: Entsprechende Produkte sind schon entwickelt, die Zertifizierung für die Luftfahrt soll noch in diesem Jahr angegangen werden.
Kosten	Modifikation Airbus A330 Flotte: CHF 7'750’000 Modifikation Boeing 777 Flotte. CHF 4’650’000 Jährliche Betriebskosten: CHF 100’000 5-Jahrestotal: CHF 14'800’000
CO_2-Reduktion	Basierend auf Produktionszahlen von 2019 hätte die Umsetzung des Projekts ein CO_2-Reduktionspotential von 61'200 Tonnen CO2 pro Jahr.
Projekteffizienz	Über eine Abschreibungsdauer von 5 Jahren resultiert eine Projekteffizienz von CHF 48 pro Tonne CO_2.
Umsetzungszeitplan	2022-2023
Ausblick, weitere Ausführungen	Riblets sind vor allem auf Langstreckenflugzeugen eine sinnvolle Modifikation.

Titel	Optimierung von Triebwerksreinigungen
Emissionsquelle und Akteur	SWISS
Beschreibung Projekt / Massnahme	Neue Technologien erlauben Triebwerke mit Trockeneis (CO_2) zu reinigen. Mit dem Einsatz dieser Technologie können Triebwerke nicht nur häufiger, sondern auch an mehr Standorten gereinigt werden. Mit optimierten Reinigungszyklen arbeiten Triebwerke effizienter und verbrauchen weniger Kerosin.
Technische Bereitschaft (TRL 1-10)	8: Produkte zur CO_2-Triebwerksreinigung und Methoden zur Optimierung von Waschzyklen sind vorhanden. Langzeitstudien sind noch ausstehend.
Kosten	Projektkosten: CHF 2'500’000 Jährliche Betriebskosten: CHF 50’000 5-Jahrestotal: 2'700’000
CO_2-Reduktion	Basierend auf Produktionszahlen von 2019 hätte die Umsetzung des Projekts ein CO_2-Reduktionspotential von 4'725 Tonnen CO_2 pro Jahr.
Projekteffizienz	Über eine Abschreibungsdauer von 5 Jahren resultiert eine Projekteffizienz von CHF 114 pro Tonne CO_2.
Umsetzungszeitplan	2022-2023
Ausblick, weitere Ausführungen	Verbesserung der Triebwerksreinigungen zeigen als Ergänzung zu traditionelle Reinigungsmethoden ein hohes Potential.

4.5 Forschung

Titel	**New Materials**
Emissionsquelle und Akteur	Flugzeuge /Fluggesellschaften
Beschreibung Projekt / Massnahme	Forschung bezüglich Gewichtsreduktionen bei der Innenausstattung von Flugzeugen (Verwendung von optimierten und leichteren Materialien)
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	1
Kosten	0.8 Mio. CHF (Basis: Doktorarbeit 3 Jahre/ 1 FTE/ Materialeinkauf/ Tests – Umsetzungskosten nicht inklusive)
CO_2-Reduktion	Bei einer Umsetzung bei den Schweizer Airlines (Easyjet, Helvetic, SWISS) haben diese Massnahmen ein jährliches CO_2-Reduktions-Potenzial von 43'000 Tonnen.
Frühester Abschluss der Studie	2025
Institut	ETHZ

Titel	**Aerodynamic Drag Survey**
Emissionsquelle und Akteur	Flugzeuge /Fluggesellschaften
Beschreibung Projekt / Massnahme	Mit zunehmendem Alter verschlechtert sich die Aerodynamik von Flugzeugen. Im Rahmen der «*Aerodynamic Drag Survey*» soll die Entwicklung des Widerstandes der Flugzeuge überwacht und darauf basierend Gegenmassnahmen entwickelt werden.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	5
Kosten	0.96 Mio. CHF (Basis: 2 Jahre Begleitung/ 1 FTE/ 3 Lizenzierte Flugzeugtechniker)
CO_2-Reduktion	Bei einer Umsetzung bei den Schweizer Airlines (Easyjet, Helvetic, SWISS) wird von dieser Massnahme ein jährliches CO_2-Reduktions-Potenzial von 95'600 Tonnen CO^2 erwartet.
Frühester Abschluss der Studie	2024
Institut	ETHZ

Titel	**Robot Tugs**
Emissionsquelle und Akteur	Flugzeuge /Fluggesellschaften
Beschreibung Projekt / Massnahme	Studie bezüglich Anwendung und Einsatzgebiet von *Robot Tugs* (Schlepper zur Einsparung des *Taxi-Fuels* und Reduktion von Lärm). Analysen und *Testing* an Schweizer Flughäfen und anschliessende Implementationsbegleitung.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	6
Kosten	0.3 Mio. CHF (Basis: Miete von 2 Fahrzeugen für 3 Monate / 1 Jahr Studie / 1 FTE)
CO_2-Reduktion	Bei einer Umsetzung bei den Schweizer Airlines (Easyjet, Helvetic, SWISS) wird von dieser Massnahme ein jährliches CO_2-Reduktions-Potenzial von 32’500 Tonnen CO_2 erwartet.
Frühester Abschluss der Studie	2024
Institut	ETHZ

Titel	**Departure & Arrival Routes**
Emissionsquelle und Akteur	An- und Abfliegende Flugzeuge
Beschreibung Projekt / Massnahme	Begleitung und Analyse von Optimierungsmassnahmen beim Schweizer Air Traffic Management. Forschung zur Optimierung von Flugrouten mit Fokus auf Anflug- und Abflugrouten in Zusammenarbeit mit Skyguide.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	5
Kosten	0.24 Mio. CHF (Basis: 2 Jahr Studie / 1 FTE)
CO_2-Reduktion	Das CO_2-Reduktions-Potenzial ist abhängig von den konkreten Massnahmen. Eine Optimierung der Abflug- und Anflugrouten kann in der Schweiz zu jährlichen Einsparungen im Umfang von 48'800 Tonnen CO_2 führen.
Frühester Abschluss der Studie	2025
Institut	ETHZ

Titel	**Engine Dispersion Systems**
Emissionsquelle und Akteur	Flugzeuge /Fluggesellschaften /Triebwerkhersteller
Beschreibung Projekt / Massnahme	Forschung und Weiterentwicklung des Engine Dispersion Systems zur Optimierung der Verbrennungsmechanismen in Jet Triebwerken. Erste Labor-Ergebnisse zeigten ein Einsparpotenzial von -12.8%. Ziel dieser Studie ist eine Rekonstruktion der Ergebnisse und Weiterentwicklung bis zur Marktreife.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	4
Kosten	1.22 Mio. CHF (Basis: 3 Jahr Studie / 2 FTE Vorprüfung, Testtriebwerke, Aufbau Testumgebung)
CO_2-Reduktion	Bei einer Umsetzung bei den Schweizer Airlines (Easyjet, Helvetic, SWISS) würden die optimierten Triebwerke ein jährliches CO_2-Reduktions-Potenzial von 400'000 Tonnen CO_2 bedeuten.
Frühester Abschluss der Studie	2026
Institut	ETHZ

Titel	**Electric & Hybrid Aircraft**
Emissionsquelle und Akteur	Flugzeuge /Fluggesellschaften
Beschreibung Projekt / Massnahme	Weiterentwicklung des «*Electric & Hybrid Aircraf»t* vom Prototyp, der im Rahmen einer Masterarbeit an der ETH in Zusammenarbeit mit RUAG und Siemens entwickelt wurde.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	4
Kosten	2.22 Mio. CHF (Basis:3 Jahre /2 FTE/ Umbau Prototyp (CHF 1.5 Milo)
CO_2-Reduktion	Basierend auf den Potenzialen des aktuellen Prototyps kann durch die Technologie auf der Kurzstrecke bis 700km bis zu 800 kg Treibstoff und damit 2.5 Tonnen CO_2 eingespart werden.
Frühester Abschluss der Studie	2026
Institut	ETHZ

Titel	Hydrogen
Emissionsquelle und Akteur	Flugzeuge / Fluggesellschaften
Beschreibung Projekt / Massnahme	Forschung und Implementationsbegleitung von Wasserstoff als alternative Antriebsform. Studien bezüglich Transport, Lagerung, Betankung, Tests etc..
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	1
Kosten	2.9 Mio. CHF (Basis: 5 Jahre Studie/ 1.5 FTE/ Testanlagen und Fahrzeuge (CHF 2 Mio)
CO_2-Reduktion	Mit Wasserstoff angetriebene Flugzeuge haben das Potenzial komplett CO_2-neutral zu fliegen.
Frühester Abschluss der Studie	2035
Institut	ETHZ

Titel	Paintings
Emissionsquelle und Akteur	Flugzeuge / Fluggesellschaften / Fahrzeugbetreiber
Beschreibung Projekt / Massnahme	Forschung bezüglich Einsatz von neuen Materialen zur Bemalung von Flugzeugen und Reduktion der Farbschichten zur Gewichtsreduktion und Optimierung der Aerodynamik, *Testing* im realen Betrieb.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	2
Kosten	0.42 Mio. CHF (Basis: 1 Jahr Studie/ 1 FTE/ Testflugzeug (CHF 300K))
CO_2-Reduktion	Bei einer Gewichtsreduktion von 100 kg bei Kurzstreckenflugzeugen und 300 kg bei Langstreckenflugzeugen würde bei einer Anwendung auf die Schweizer Fluggesellschaften (Helvetic, Easyjet und SWISS) eine jährliche CO_2-Reduktion von 19'900 Tonnen resultieren.
Frühester Abschluss der Studie	2024
Institut	ETHZ

Titel	Sustainable Aviation Fuels – Sun-to-Liquid (StL)
Emissionsquelle und Akteur	Flugzeuge / Fluggesellschaften / Treibstoffhersteller
Beschreibung Projekt / Massnahme	Wissenschaftliche Begleitung der Kommerzialisierung des SAFs aus *Sun-to-Liquid*. Studie bezüglich Technologie-Weiterentwicklung und Kommerzialisierung sowie Anwendung im täglichen Flugbetrieb.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	TRL 6
Kosten	3 Mio. CHF (Basis: 4 Jahr Studie/ 2 FTE/ Engine-Tests und Auswertung)
CO_2-Reduktion	*Sustainable Aviation Fuels* aus StL Verfahren haben das Potenzial zur CO_2-Neutralität.
Frühester Abschluss der Studie	2028
Institut	ETHZ

Titel	Sustainable Aviation Fuels – Power-to-Liquid (PtL)
Emissionsquelle und Akteur	Flugzeuge /Fluggesellschaften / Treibstoffhersteller
Beschreibung Projekt / Massnahme	Wissenschaftliche Begleitung der Kommerzialisierung des SAFs aus grünem und blauem Wasserstoff (*Power-to-Liquid Prozesse*). Studie bezüglich Technologie-Weiterentwicklung und Kommerzialisierung sowie Anwendung im täglichen Flugbetrieb.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	TRL 8
Kosten	2.96 Mio. CHF (Basis: 4 Jahre Forschung/ 2 FTE/ Reaktor (2.0 Mio. CHF))
CO_2-Reduktion	*Sustainable Aviation Fuels* aus PtL Verfahren haben das Potenzial nahezu CO_2-neutral zu sein
Frühester Abschluss der Studie	2027
Institut	ETHZ

Titel	Energy Preservation Systems
Emissionsquelle und Akteur	Flugzeuge /Fluggesellschaften / Flugzeughersteller
Beschreibung Projekt / Massnahme	Forschung zur Entwicklung von optimierten Batterien mit erhöhten Energiedichten.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	1
Kosten	1.7 Mio. CHF (Basis: 5 Jahre/ 2 FTE/ Material & Test (CHF 500K))
CO_2-Reduktion	Würden jährlich 50'000 Kurzstreckenflügen (bis 800km) anstelle von fossilem Kerosin batteriebetrieben operiert, würde eine CO_2-Reduktion von 400'000 Tonnen CO_2 resultieren.
Frühester Abschluss der Studie	2030
Institut	ETHZ

Titel	Air Traffic Management
Emissionsquelle und Akteur	Luftraumnutzer
Beschreibung Projekt / Massnahme	Studie zur optimierten Nutzung des Schweizer Luftraums. Es wird davon ausgegangen, dass Flugdistanzen durchschnittlich um 2 Prozent reduziert werden können.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	1
Kosten	0.41 Mio. CHF (Basis: 3 Jahre/ 1 FTE/ Testflüge (CHF 50K))
CO_2-Reduktion	Eine Reduktion der Flugdistanzen um 2% hat bezogen auf die Schweizer Fluggesellschaften ein CO_2-Reduktionspotenzial von ca. 12'000 Tonnen CO_2 pro Jahr.
Frühester Abschluss der Studie	2026
Institut	ETHZ

Titel	**Sidepanels**
Emissionsquelle und Akteur	Flugzeuge /Fluggesellschaften
Beschreibung Projekt / Massnahme	Forschung und Entwicklung bezüglich Ersatz von Glaserfaser-*Sidepanels* durch mit Flachsfaser-*Sidepanels*. Erste Analysen der Lufthansa Group zeigen deutliche Einsparpotenziale: Einsparung von 3kg CO2e bei der Herstellung pro Kg Panel (75kg/A/C). Zusätzlich wird der Treibstoffverbrauch im Flugbetrieb aufgrund des geringeren Gewichts reduziert. Bei «*end of life cycle*» kann das Material recycelt werden.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	1
Kosten	0.44 Mio. CHF (Basis: 2 Jahre Studie/ 1 FTE/ Material und Tests (CHF 200K))
CO_2-Reduktion	Bei einer Umsetzung bei den Schweizer Airlines (Easyjet, Helvetic, SWISS) hat diese Massnahme ein jährliches CO_2-Reduktions-Potenzial von 180’800 Tonnen CO_2. Darin enthalten sind einmalige CO_2 Ersparnisse bei der Herstellung der *Sidepanels* von 172'000 Tonnen.
Frühester Abschluss der Studie	2025
Institut	ETHZ

Titel	**Dynamic Statistical Tool**
Emissionsquelle und Akteur	Flugzeuge / Fluggesellschaften
Beschreibung Projekt / Massnahme	Entwicklung von dynamischen Entscheidungsgrundlagen für Flight Crews. Projekt in Kooperation mit dem *Federal Aviation Administration* (FAA) und *Massachusetts Institute of Technology* (MIT).
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	2
Kosten	0.66 Mio. CHF (Basis: 3 Jahre Studie/ 1 FTE/ Reisen, IT (CHF 300K)
CO_2-Reduktion	Bei einer Umsetzung bei den Schweizer Airlines (Easyjet, Helvetic, SWISS) könnte dieses *Tool* zu jährlichen CO_2-Einsparungen im Umfang von 39'400 Tonnen führen.
Frühester Abschluss der Studie	2025
Institut	ETHZ

Titel	**Non CO_2-Emissions und RFI**
Emissionsquelle und Akteur	Flugzeuge / Fluggesellschaften / Regulator
Beschreibung Projekt / Massnahme	Grundlagenforschung bezüglich Non CO_2-Emissions und RFI.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	2
Kosten	0.46 Mio. CHF (Basis: 3 Jahre Studie/ 1 FTE)
CO_2-Reduktion	n/a
Frühester Abschluss der Studie	2026
Institut	ETHZ

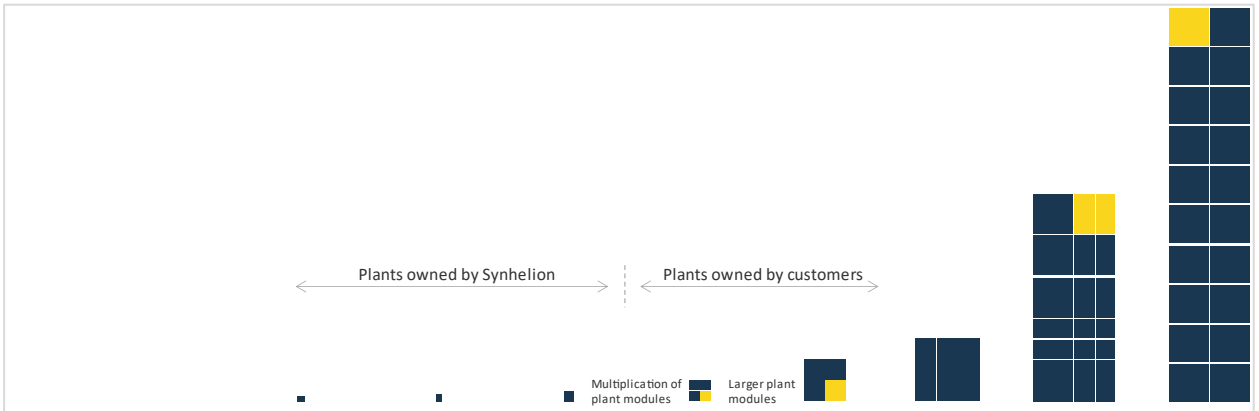
Titel	**Emission Calculation Standards**
Emissionsquelle und Akteur	Flugzeuge / Fluggesellschaften / Regulator
Beschreibung Projekt / Massnahme	Studie mit dem Ziel der Harmonisierung der Standards zur Berechnung von luftverkehrsbedingten Emissionen.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	2
Kosten	0.36 Mio. CHF (Basis: 3 Jahre Studie/ 1 FTE)
CO_2-Reduktion	n/a
Frühester Abschluss der Studie	2024
Institut	ETHZ

Titel	**Market-based & political-based measures**
Emissionsquelle und Akteur	Flugzeuge / Fluggesellschaften / Regulator
Beschreibung Projekt / Massnahme	Studie bezüglich politischen Massnahmen mit dem Ziel zur Minderung der negativen Klimaeffekte des Luftverkehrs. Erstellen einer Übersicht der bereits eingeführten politischen Massnahmen und ihren Auswirkungen, Ableiten von Empfehlungen.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	5
Kosten	0.28 Mio. CHF (Basis: 3 Jahre Studie/ 0.5 FTE / internat. Koordination)
CO_2-Reduktion	n/a
Frühester Abschluss der Studie	2024
Institut	ETHZ

Titel	Comparison Mechanism for Airline Emission Improvements
Emissionsquelle und Akteur	Flugzeuge / Fluggesellschaften / Regulator
Beschreibung Projekt / Massnahme	Entwicklung eines Standards zur Berechnung von erreichten CO_2-Reduktionen von Fluggesellschaften in Zusammenhang mit dem CO_2-Gesetz.
Technische Bereitschaft (TRL1-10)	1
Kosten	0.03 Mio. CHF (Basis: 0.5 Jahre Studie/ 0.5 FTE)
CO_2-Reduktion	n/a
Frühester Abschluss der Studie	2023
Institut	ETHZ

5. Anhang

5.1 Synhelion «Plant installation roadmap 2022-2031»



	DEMO PLANT	PLANT 1	PLANT 2	PLANT 3	PLANT 4	PLANT 5	PLANT 6	PLANT 7
Start of project	2021	2022	2023	2024	2026	2027	2028	2028
Commissioning of plant	2022	2023	2024/25	2026	2027	2029	2030	2031
Location	Germany or Switzerlar	Spair	Spair	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD
Mirror area [m²]	1'100	2'000	6'000	24'000	100'000	300'000	1'000'000	2'000'000
Fuel production per year [t]	10	358	1'075	5'082	21'174	63'523	211'743	423'486
Total CAPEX [kCHF]	8'750	14'250	19'954	51'076	110'223	237'973	597'060	975'974
Specific CAPEX [CHF/m² mirror]	7'955	7'125	3'326	2'128	1'102	793	597	488
Production cost range [CHF/L]*	-	3-4	1.5 – 2.5	1.2-2.0	0.8-1.5	0.5-1.2	0.4-1.1	0.3-0.9
CO_2 reduction per plant [t/y]**	~10-20	350 – 1'000	1'000-2'500	5'000-15'000	20'000-60'000	60'000-160'000	200'000-500'000	400'000-1'000'000

*Depends on the process layout and CO_2 reduction target.
** LCA to determine CO_2-reduction of the Synhelion processes is on-going jointly with PSI and financed by BAZL.

Der Entwicklungsfahrplan von Synhelion zeigt die Skalierungs-Vision nach heutigem Stand der Planung. Die Technologieentwicklung ist von zahlreichen Faktoren abhängig.

5.2 Technologischer Reifegrad (TRL)

In diesem Dokument wird mit einer Skala von 1 bis 10 gearbeitet wobei TRL 10 beschreibt, dass das System sofort und «ab Stange» verfügbar ist.

5.3 Informationen zu den Autoren

Das vorliegende Dokument entstand in einer Branchenübergreifenden Zusammenarbeit von Fluggesellschaften, Landesflughäfen, Flugsicherung und Forschung.

An diesem Bericht wirkten mit:

Thierry Brégou, International relations & Environment skyguide

Emanuel Fleuti, Head Environmental Protection Zurich Airport

Marco Gatti, Airport Regulations Manager, easyJet

Andreas Haerer, Compliance Monitoring & Security Manager easyJet Switzerland

Jürg Hänni, Head Operational Relations and Innovation skyguide

Melanie Heiniger, Political Affairs & Environment SWISS

Marc Mounier, Chef Environnement et Développement durable Genève Aéroport

Eric Nantier, Head of OPS Optimization & Development SWISS

Helene Niedhart, President & CEO CAT Aviation AG, VP Swiss Business Aviation Association (SBAA)

Gaël Poget, Government and international affairs·Genève Aéroport

Jan Robra, Leiter Umwelt Flughafen Basel

Giovanni Russo, Chief Operating Officer Genève Aéroport

Luca Scherrer, Flight Ops Efficiency & Analytics SWISS

Peter Wild, Lecturer „Aviation“ (IFD), Programmanager Aviation ETHZ

Leitung: Philip Kristensen, Geschäftsführer AEROSUISSE