

## **AG Technologie UAG "Quick Wins"**

### **Entwurf des Abschlusspapiers**

## **Kurzfristig umsetzbare Maßnahmen – UAG „Quick Wins“**

### **Grundsätze**

#### **Zielsetzung der Unterarbeitsgruppe Quick Wins**

In der aktuellen Phase, in der Umweltbewusstsein auf seinem Höhepunkt ist, ist es entscheidend, dass die Luftfahrtindustrie proaktiv handelt und dies offen kommuniziert. Die öffentliche Meinung spielt eine zentrale Rolle bei politischen Entscheidungen und der Akzeptanz neuer Technologien. Die Gesellschaft erwartet von Industrien, einschließlich der Luftfahrt, einen Beitrag zum Umweltschutz.

Die Zielsetzung unserer Arbeitsgruppe für kurzfristige Maßnahmen in der Luftfahrt ist entscheidend für die gesellschaftliche Akzeptanz im globalen Kontext des Klimaschutzes. Die Dringlichkeit, sofort Maßnahmen zu ergreifen, gründet sich nicht nur auf wissenschaftlichen Erkenntnissen zum Klimawandel, sondern auch auf der Notwendigkeit, die Öffentlichkeit aktiv in den nachhaltigen Transformationsprozess einzubinden. Die Akzeptanz von Technologiewechseln ist dabei entscheidend, um einen Anstieg des Klimaanteils der Luftfahrt im Vergleich zu anderen Branchen zu vermeiden.

Eine spezifische Herausforderung ist die langwierige Natur der Zulassungsverfahren in der Luftfahrtbranche. Die strengen Anforderungen und umfangreichen Tests, die für die Einführung neuer Technologien notwendig sind, verlangsamen die Branche in der Reaktion auf die drängenden Herausforderungen des Klimawandels. Die Dringlichkeit kurzfristiger Maßnahmen wird durch dieses Dilemma unterstrichen. Durch Modifikation bestehender Technologien können existierende Prozesse und Produkte verbessert werden, ohne auf langwierige Zulassungsverfahren neuer Technologien warten zu müssen. Dies bietet die willkommene Gelegenheit, rasche Erfolge zu erzielen und den Einfluss der Luftfahrtindustrie auf den Klimawandel sichtbar zu verringern.

Die geplante weltweite Umsetzung ist ein zentrales Ziel der Arbeitsgruppe. Maßnahmen, die auf die gesamte Weltflotte abzielen, sollen eine breite und nachhaltige Wirkung erzielen. Deutschland kann als Teil dieser globalen Initiative über die nationale Luftfahrt hinaus einen substanziellen Beitrag zur Reduzierung der Klimawirkungen leisten und als Vorreiter und treibende Kraft in der internationalen Klimadebatte wahrgenommen zu werden.

#### **Abgrenzung zu längerfristigen Maßnahmen**

Diese Arbeitsgruppe legt den Fokus auf kurzfristige Maßnahmen in der Luftfahrt, die zügig implementiert werden können. Langfristige Maßnahmen wie die Einführung neuer Flugzeuggenerationen und Antriebe sind essenziell, erfordern jedoch längere Entwicklungszeiträume. Diese Arbeitsgruppe strebt an, schnelle Verbesserungen zu erreichen, während gleichzeitig langfristige Lösungen verfolgt werden.

Die Abgrenzung dieser Arbeitsgruppe für kurzfristige Maßnahmen bezieht sich explizit auf existierende Flugzeugflotten weltweit. Der Fokus liegt auf bestehenden Technologien und operativen Abläufen, um zeitnah wirksame Veränderungen herbeizuführen. Diese Arbeitsgruppe konzentriert sich darauf, Maßnahmen zu entwickeln, die innerhalb der nächsten zwei Jahre erste spürbare Wirkungen zeigen können. Diese strategische zeitliche Begrenzung wurde gewählt, um nachzuweisen, dass die entwickelten Maßnahmen nicht nur theoretisch, sondern auch praktisch schnell umsetzbar sind. Das Ziel besteht darin, innerhalb dieses kurzen Zeitrahmens eine signifikante Verringerung der Umweltauswirkungen zu erreichen und somit einen messbaren Beitrag zum globalen Klimaschutz zu leisten.

### **Vorteile der kurzfristigen Maßnahmen**

Die Kurzfristigkeit der vorgeschlagenen Maßnahmen ist entscheidend, um schnell positive Effekte zu erzielen und die Luftfahrt als Vorreiter in globalen Bemühungen zur Emissionsreduktion zu positionieren. Diese dringenden Schritte sind notwendig, um nicht nur die Klimawirkungen zu minimieren, sondern auch das Vertrauen der Öffentlichkeit in die Bemühungen der Luftfahrtindustrie zur nachhaltigen Entwicklung zu stärken.

### **Grenzen der kurzfristigen Maßnahmen**

Obwohl kurzfristige Maßnahmen wichtige Fortschritte ermöglichen, müssen wir uns ihrer begrenzten Reichweite bewusst sein. Sie können nicht die umfassende Transformation der Luftfahrt bewirken, die für eine nachhaltige Zukunft erforderlich ist. Daher ist es entscheidend, langfristige Strategien parallel zu verfolgen. Diese langfristigen Strategien wurden durch die Unterarbeitsgruppe „Technologie-Enabler“ erarbeitet.

## **Vorgeschlagene Maßnahmen**

### **Grundsätzliche Vorgehensweise**

Die Unterarbeitsgruppe „Quick Wins“ identifizierte in mehreren Arbeitstreffen Maßnahmen, die aufgrund unterschiedlicher Wirkmechanismen die Klimawirkung der heutigen Luftfahrt reduzieren können:

#### **Verhinderung von Triebwerksdegradation**

Fortgeschrittene Diagnose- und Überwachungssysteme können eingesetzt werden, um frühzeitige Anzeichen von Triebwerksdegradation zu erkennen und zu verhindern, wodurch die Effizienz der Triebwerke erhalten bleibt. Konkrete technische Maßnahmen zur Degradationsumkehr existieren oder sollen entwickelt werden.

#### **Aerodynamische Verbesserungen**

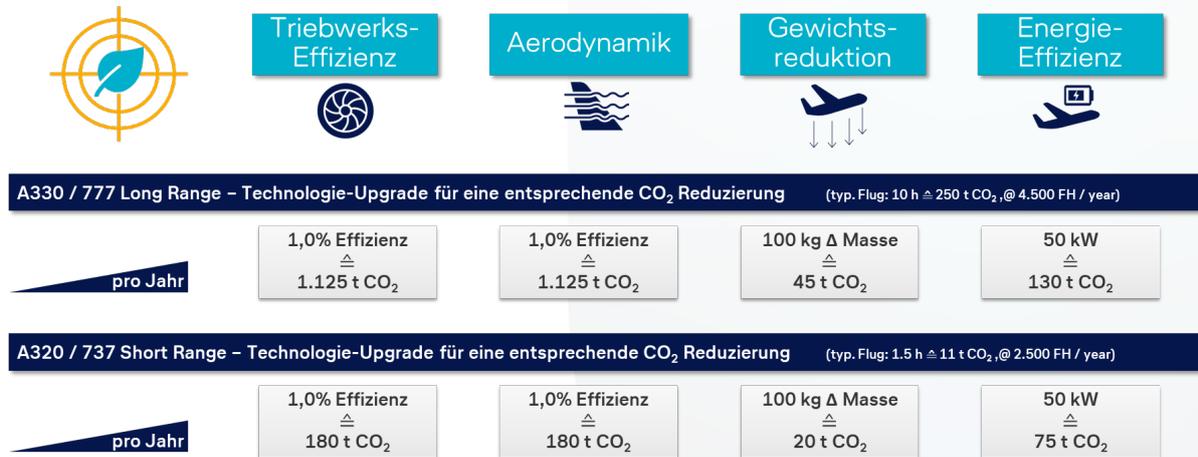
Feinabstimmungen an Flugzeugdesigns und an der Außen-Kontur können den Luftwiderstand minimieren, was wiederum direkt den Treibstoffverbrauch reduziert. Innovative Technologien, wie widerstandsreduzierende Oberflächenbeschichtungen können ebenfalls integriert werden.

#### **Gewichtsreduktion**

Durch den Einsatz leichterer Materialien und fortschrittlicher Fertigungstechnologien kann das Gesamtgewicht von Flugzeugen deutlich reduziert werden, was zu einer verbesserten Treibstoffeffizienz führt. Außerdem können technische Maßnahmen auch zu verbesserten Prozessen führen, die in zweiter Linie dann zu weniger Abflugmasse eines Flugzeugs führt.

## Verbesserung der Energieeffizienz

Verbrauch von elektrischer Energie im Flugzeug erhöht ebenfalls den Treibstoffverbrauch. Durch Einsatz von energieeffizienteren Geräten in der Kabine und Cockpit könne daher ebenfalls Emissionen reduziert werden.



Grafik 1: Klimawirkung (nur CO<sub>2</sub>) der jeweiligen Wirkmechanismen

### Reichweite und Klimawirkung

Die Arbeitsweise der UAG berücksichtigt, dass die Umsetzung auf einen erreichbaren Anteil der Weltflotte abzielen muss, um eine breite Wirkung zu erzielen.

Zur Bestimmung der Reichweite einer Maßnahme wurde die 2024 aktive Weltflotte an kommerziellem Fluggerät genutzt. Wo sinnvoll, wird mit einem kommenden Flottenwachstum auf anwendbaren Flotten gerechnet. Vereinzelt sind Maßnahmen auch auf zukünftig eingesetzten Flugzeugen anwendbar; dies wurde ebenfalls in der Berechnung berücksichtigt.

Für die Abschätzung der Klimawirkung wurde die Methodik der „Average Temperature Response“ in 50 Jahren (ATR<sub>50</sub>) angewendet und vom DLR in ein nutzbares Werkzeug („Alicia-Tool“) überführt. Die Klimawirkung der Maßnahmen erfasst damit auch die relevanten Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte.

### Bewertung

Die Bewertung der Maßnahme erfolgt auf Basis der ermittelten Maßnahmenkosten und der zu erwartenden Klimawirkung. Ergeben sich durch die Maßnahme Kosteneinsparungen (z.B. aufgrund von reduziertem Treibstoffverbrauch oder Verringerung der durch ETS entstehenden Kosten) werden diese Einsparungen gegen die Kosten verrechnet. Aus den Werten der ATR<sub>50</sub>-CO<sub>2</sub>-Äquivalente werden danach die Wirkungskosten gebildet:

$$Wirkungskosten_{(kumuliert\ bis\ 2030)} = \frac{Kosten - Einsparungen[EUR]}{ReduzierungCO_2e[t]}$$

Die Darstellung der kumulierten Werte erfolgt bewusst für 2030 und 2040, damit sichtbar wird, wenn sich Maßnahmen ggf. erst mit langem zeitlichem Horizont (also kumuliert 2040) als wirtschaftlich erweisen.

## Maßnahmen aufgrund von kürzeren Erneuerungsintervallen

Neben Maßnahmen, die mit einem Fokus auf kurzfristige Umsetzung identifiziert werden und den langfristigen Maßnahmen, die erst nach einem Rollover auf eine komplett neu zu entwickelnde Flugzeug- und Triebwerksgeneration zum Tragen kommen (siehe Ergebnisse „Enabler“), existieren in der kommerziellen Luftfahrt noch weitere Hebel. Diese basieren zum einen auf Umrüstungszyklen die zwar länger als der klassische Fokus der „Quick Win“ sind, jedoch keine komplett neue Generation an Flugzeugen und Antrieben erfordern und zum anderen Technologieevolutionen, die kontinuierlich im Rahmen von Modernisierungen in bestehende Flugzeugplattformen im Linefit implementiert werden. Hierzu zählen unter anderen:

- Änderungen am äußeren Erscheinungsbild, Neulackierung (Intervall ca. alle 5 – 10 Jahre)
- Nachrüstung neuer Geräte- und Komponenten (Intervall ca. alle 10-15 Jahre)
- Kabinen-Umrüstungen (Intervall ca. alle 5 – 10 Jahre)

## Kabinentechnologien – Trendanalyse

Gerade der letzte Punkt verspricht eine mehrfache regelmäßige Verbesserung von Gewicht und Energieeffizienz innerhalb der heute aktuellen Generation von Flugzeugen. Diese wird erreicht durch leichtere Monumente wie Küchen, Toiletten, sowie Sitze, Bins und Verkleidungselemente. Ebenso durch eine Steigerung der Geräteeffizienz und Reduzierung von Energieverbrauch beispielsweise bei Küchen und Komponenten des Inflight-Entertainments.

Die AG2 hat in diesem Zusammenhang eine Trendstudie vorgenommen, die auf folgenden konservativen Annahmen basiert:

- Mindestens alle 10 Jahre wird eine neuen Kabinengeneration bei Airlines eingeführt.
- Flugzeughersteller starten zusammen mit der Ausrüstungsindustrie kontinuierlich Modernisierungen (ggf. in kürzeren Sequenzen als 10 Jahre, die Durchdringung unterliegt dann einem Hochlauf im Bereich von 10 Jahren)
- Jede neue Generation erzielt eine Gewichtseinsparung von 10% gegenüber dem Vorgänger
- Es ist von einer flächendeckenden Einführung dieser neuen Kabinengeneration auszugehen

Die Auswirkung dieses Trends wurde ebenfalls – unter Annahme von weiteren zwei Kabinengenerationen bis zum Einführen einer neuen Flugzeuggeneration – durch Anwendung der Alicia-Berechnungslogik des DLR abgeschätzt.

Es zeigt sich, dass bei einem Start im Jahr 2025 kumuliert bis 2050 eine Einsparung von 1.455 MtCO<sub>2e</sub> allein durch Kabinentechnologien erreicht werden kann. Dies entspricht 0,7 Prozent des jährlichen globalen Ausstoßes.

## Vorgeschlagene Maßnahmen im Detail

Die Arbeitsgruppe identifizierte insgesamt 31 Maßnahmen, die eine mehr oder weniger große Klimawirkung erzeugen.

Zu erwähnen ist hierbei, dass die Liste dieser Maßnahmen keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt. Im Laufe des Betriebs der heutigen Flotten und im Rahmen der Entwicklung neuer Technologien (z.B. Materialien, aerodynamische Simulationsverfahren, Vorhersage-Genauigkeiten) werden mit hoher Wahrscheinlichkeit neue Maßnahmen identifiziert, deren kurzfristige Umsetzung aus den in Kapitel 1 genannten Gründen sinnvoll ist.

Im Folgenden werden detailliert die zehn vorgeschlagenen Maßnahmen vorgestellt, die nach heutigem Stand die größte Klimawirkung versprechen. Die Angaben zur Wirkung beschreiben die CO<sub>2</sub>e Einsparung im Jahr 2030 in Kilotonnen (kt):

Nr	Maßnahme	Wirkung (CO <sub>2</sub> e ATR <sub>50</sub> ) im Jahr 2030 [kt]
1	AER-1 - Sharkskin auf WideBody – AeroShark Erweiterung auf A330 / 777	1.493
2	AER-2 - Sharkskin auf A320 - (AeroShark Erweiterung auf A320)	1.418
3	ENG-2 - Verbesserte Verdichterwäsche (Cycleclean)	497
4	AER-3 - Verbessertes Wing Tip Devices	408
5	ENG-1 - Verdichter - Erosionsschutzschichten (GTF)	368
6	WGT-1 - Brauchwassernutzung in Toiletten - Grey Water Reuse	363
7	ENG-3 - Fanblade Recontouring moderner Triebwerke	280
8	TEC-1 - LNAS - Pilotenunterstützung für treibstoffoptimierte Anflüge	272
9	GND-1 – Vorklimatisierte Luft an Flughäfen (reduzierte APU-Nutzung)	199
10	Ertüchtigung von Langstreckenflugzeugen zur 100% SAF-Nutzung	tbd *)
	<b>GESAMT</b>	<b>&gt; 5.298 kt</b>

Tabelle 1: die zehn Top-Maßnahmen sortiert nach ihrer vorhergesagten Klimawirkung im Jahr 2030

\*) zur Bestimmung dieses Wertes sind tiefergehende Analysen auch mit den Arbeitsgruppen SAF und Flugroutenoptimierung nötig

Als Vergleich mit den hier für 2030 prognostizierten Einsparungen von 5,3 Megatonnen CO<sub>2</sub>e (ATR<sub>50</sub>) lassen sich die für den rein innerdeutschen Luftverkehr im Jahr 2019 gemeldeten Emissionen von 2,1 Megatonnen CO<sub>2</sub> (Quelle: Umwelt-Bundesamt official - CRF 1.A.3.a) anführen.

## [AER-1] – [Shark Skin auf WB-Mustern – AeroShark auf A330 und 777]

### [Applikation künstlich nachempfundener Haifischhaut zur Widerstandsreduktion]

Die Applikation künstlich nachempfundener Haifischhaut ermöglicht es den Reibungswiderstand der Flugzeugoberfläche zu senken. Dies führt zu verringertem Treibstoffverbrauch. Das von Lufthansa Technik entwickelte Produkt namens „AeroSHARK“ ist derzeit zugelassen für die Flugzeugmuster B777F sowie B777-300ER. Die Zulassung umfasst derzeit die Beklebung des Rumpfes sowie der Triebwerk gondeln. Das dabei nachgewiesene Einsparpotential beläuft sich auf 0,9% und zusätzlichen bis zu 0,3% durch eingesparte Nettogewichtsreduktion aufgrund geringerer mitgeführter Treibstoffgewichte.



Ziel der Maßnahme in der UAG QuickWins ist die Ausweitung des AeroSHARK STC auf weitere Bereiche des Flugzeuges, wie Tragflächen und Leitwerke, was Einsparungen von bis zu 3% verspricht. Darüber hinaus die Applikation auf weiteren Langstreckenmustern wie dem Airbus A330 (Vollständige Beklebung).

### [Ziele – Stichpunkte]

- Erweiterung des STC auf B777 auf alle Bereiche des Flugzeugs
- Erwirken weiterer STC auf andere Langstreckenmuster, bspw. A330

### [Angestrebte Verbesserung - quantitativ]

Widerstandsreduktion: +1,2%p (777 Erweiterung) / 2,2% (A330)

Treibstoffersparnis: +1,5%p (777 Erweiterung) / 2,5% (A330)

Durch die Widerstandsreduzierung wird ein um denselben Prozentsatz verringerter Treibstoffverbrauch erreicht. Durch den Gewichtseffekt einer planbaren reduzierten Betankung erhöht sich der Effekt auf eine Gesamtreibstoffersparnis von 1,5% (777) / 2,5% (A330).

### [Maßnahmescope – Flugzeug/Triebwerktyp]

- B777F, B777-300ER, B777-200, A330-200, A330-300

### [Maßnahmenverantwortliche Firma]

- Lufthansa Technik AG

### [Projektlaufzeit – inkl. Zeitstrahl]

AP	Task	Start	2024				2025				2026				2027				2028			
			Q1	Q2	Q3	Q4																
1.	<b>Rollout 777</b>		■	■	■																	
1.1	Start Rollout Airlines 777	laufend	■	■	■																	
2.	<b>Erweiterung auf A330 Flotte</b>			■	■	■	■	■	■	■												
2.1	Vorbereitende Arbeiten	Jun 24		■																		
2.2	Analyse und Detailentwicklung	Aug 24			■	■																
2.3	Zulassung	Jan 25					■	■														
2.4	Rollout bei ersten Airlines	Aug 25							■	■												

### [Projektkosten / - nutzen, Kosten-Nutzen-Analyse [€/tCO<sub>2</sub>]]

UAG Quick Wins

Kosten und Wirkung

<b>Maßnahme:</b>	<b>Aeroshark - Erweiterung auf zusätzliche Flotten (777, A330)</b>									
Kostenwirkung:	Reduzierung der Treibstoff- und ETS-Kosten durch geringeren Verbrauch									
<b>Kosten</b> [Taus. EUR]	kum. bis 2030	kum. bis 2040	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
<b>GESAMT</b>	<b>481.375</b>	<b>924.125</b>	<b>20.000</b>	<b>47.750</b>	<b>110.250</b>	<b>119.250</b>	<b>58.250</b>	<b>65.625</b>	<b>60.250</b>	
<b>Wirkung</b>	Kum. bis 2030	kum. bis 2040	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
Kostenreduzierung [Tausend €]	660.379	2.549.849	7.483	26.191	71.089	115.987	130.953	147.790	160.886	
CO <sub>2</sub> Reduktion (ATR50) [k Tonnen]	6.174	23.700	79	251	679	1.086	1.218	1.370	1.493	
Kosten / [t] vermiedenes CO <sub>2</sub>	77,97 €	38,99 €								
<b>Kosten / [t] vermiedenes CO<sub>2</sub></b>	<b>-28,99 €</b>	<b>-68,60 €</b>	inkl. Kostenreduzierung (Treibstoff, ETS; negativer Wert -> Erlöse)							

### [Technologiebedarf]

- Zur Nutzung weiterer Oberflächen (Rumpfoberseite, Flügel, Leitwerke) für die Aufbringung der Folie wird eine erweiterte Analysemöglichkeit der direkten aerodynamischen Auswirkungen benötigt.
- Entwicklung eines angepassten Waschverfahrens

### [Projektrisiken in Stichpunkten]

- Keine

## [AER-2] – [Shark Skin auf A320 – AeroShark-Erweiterung]

### [Applikation künstlich nachempfundener Haifischhaut zur Widerstandsreduktion]

Die Applikation künstlich nachempfundener Haifischhaut ermöglicht es den Reibungswiderstand der Flugzeugoberfläche zu senken. Dies führt zu verringertem Treibstoffverbrauch. Das von Lufthansa Technik entwickelte Produkt namens „AeroSHARK“ ist derzeit zugelassen für die Flugzeugmuster B777F sowie B777-300ER. Die Zulassung umfasst derzeit die Beklebung des Rumpfes sowie der Triebwerksgondeln. Das dabei nachgewiesene Einsparpotential beläuft sich auf 0,9% und zusätzlichen bis zu 0,3% durch eingesparte Nettogewichtsreduktion aufgrund geringeren mitgeführten Treibstoffgewichts.



Ziel der Maßnahme in der UAG QuickWins ist die Ausweitung des AeroSHARK STC auf weitere Bereiche des Flugzeuges, wie Tragflächen und Leitwerke, was Einsparungen von bis zu 3% verspricht. Darüber hinaus die Applikation auf weiteren Langstreckenmustern wie dem Airbus A330 (Vollständige Beklebung).

#### [Ziele – Stichpunkte]

- Erweiterung des STC auf A320 auf alle Bereiche des Flugzeugs
- Erwirken weiterer STC auf Kurzstreckenmustern

#### [Angestrebte Verbesserung – quantitativ]

##### **Widerstandsreduktion: +1,1%p (A320 Erweiterung)**

Durch die Widerstandsreduzierung wird ein um denselben Prozentsatz verringerter Treibstoffverbrauch erreicht. Durch den Gewichtseffekt einer planbaren reduzierten Betankung erhöht sich der Effekt auf eine Gesamttreibstoffersparnis zusätzlich.

Denkbar ist auch eine nutzbare Reichweitenerhöhung für die extremen Langstreckenvarianten der A320, z.B. A321XLR.

#### [Maßnahmescope – Flugzeug/Triebwerktyp]

- A320 Flotte, insbesondere auch Long Range Varianten

#### [Maßnahmenverantwortliche Firma]

- Lufthansa Technik AG

**[Projektlaufzeit – inkl. Zeitstrahl]**

AP	Task	Start	2024				2025				2026				2027				2028			
			Q1	Q2	Q3	Q4																
<b>1.</b>	<b>Rollout 777</b>		■	■	■																	
1.1	Start Rollout Airlines 777	laufend	■	■	■																	
<b>2.</b>	<b>Erweiterung auf A320 (LR) Flotte</b>						■	■	■	■	■	■	■	■								
2.1	Vorbereitende Arbeiten	Jan 25					■															
2.2	Analyse und Detailentwicklung	Apr 25						■	■													
2.3	Zulassung	Okt 25									■	■										
2.4	Rollout bei ersten Airlines	Apr 26													■	■						

**[Projektkosten / - nutzen, Kosten-Nutzen-Analyse [€/tCO<sub>2</sub>]]**

<b>Maßnahme:</b>	<b>Sharkskin - Erweiterung auf zusätzliche Flotten (A320 Familie)</b>									
Kostenwirkung:	Reduzierung der Treibstoff- und ETS-Kosten durch geringeren Verbrauch									
<b>Kosten</b> [Taus. EUR]	kum. bis 2030	kum. bis 2040	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
<b>GESAMT</b>	<b>546.350</b>	<b>1.449.810</b>	<b>1.500</b>	<b>2.000</b>	<b>5.850</b>	<b>116.430</b>	<b>128.310</b>	<b>140.190</b>	<b>152.070</b>	
<b>Wirkung</b>	Kum. bis 2030	kum. bis 2040	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
Kostenreduzierung [Tausend €]	246.064	1.662.567	-	-	1.212	25.212	49.213	73.213	97.213	
CO <sub>2</sub> Reduktion (ATR50) [k Tonnen]	3.590	24.257	-	-	18	368	718	1.068	1.418	
Kosten / [t] vermiedenes CO <sub>2</sub>	152,19 €	59,77 €								
<b>Kosten / [t] vermiedenes CO<sub>2</sub></b>	<b>83,64 €</b>	<b>-8,77 €</b>	inkl. Kostenreduzierung (Treibstoff, ETS; negativer Wert -> Erlöse)							

**[Technologiebedarf]**

- Zur Nutzung weiterer Oberflächen (Rumpfoberseite, Flügel, Leitwerke) für die Aufbringung der Folie wird eine erweiterte Analysemöglichkeit der direkten aerodynamischen Auswirkungen benötigt.
- Entwicklung eines angepassten Waschverfahrens

**[Projektrisiken in Stichpunkten]**

- Keine

## [ENG-2] – [Weiterentwicklung Verdichterwäsche – Cyclean®]

### [Weiterentwicklung und Optimierung der Triebwerkswäsche]

Die Cyclean® Triebwerkswäsche wird seit 2007 auf dem Weltmarkt vertrieben. Sie kombiniert einen überdurchschnittlichen positiven Effekt auf die Triebwerksperformance mit einer sehr schnellen und unkomplizierten Durchführbarkeit der regelmäßigen Wartungsmaßnahme.



Cyclean® wird in über 25 Ländern weltweit angeboten und hat mit etwa 80 Airline-Kunden einen weltweiten Marktanteil an etwa 15 % aller zivilen Luftfahrt-Triebwerke. Eine Optimierung der Wäsche hinsichtlich der erreichten Kerosinersparnis würde somit automatisch mit einer Effizienzsteigerung derjenigen Kunden einhergehen, die von der jeweiligen Optimierung profitieren.

### [Maßnahmenziele – Stichpunkte]

- Digitale Applikation zur Optimierung der Waschzeitpunkte durch historische Datenanalyse
- Verbesserung der Einspritzparameter des Waschmediums

### [Angestrebte Verbesserung – quantitativ]

Treibstoffersparnis: ca. 0,1% - 0,25%

### [Maßnahmenscope – Flugzeug/Triebwerkstyp]

- Digitale Applikation: alle zivilen Flugzeugmuster
- Verbesserung der Einspritzparameter des Waschmediums:
  - 737
  - 787
  - A220
  - A320
  - A330
  - A350
  - ERJ-170
  - ERJ-190

### [Maßnahmenverantwortliche Firma]

- Lufthansa Technik AG

## [Maßnahmenlaufzeit – inkl. Zeitstrahl]

AP	Task	Start	2024				2025				2026				2027				2028			
			Q1	Q2	Q3	Q4																
<b>1.</b>	<b>Cyclean Digital Application</b>		■	■	■	■	■	■	■	■												
1.1	Project Planning	Jan 24	■	■	■																	
1.2	MVP Development	Jul 24		■	■	■	■	■	■													
1.3	MMP Development	Apr 25					■	■	■	■	■	■	■									
1.4	Start Selling	Jan 26									■	■	■	■								
<b>2.</b>	<b>Cyclean Spray Effect</b>		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
2.1	Research & Development	Jul 23	■	■	■	■	■	■	■													
2.2	Pilot Prototype Validation	Apr 25					■	■	■													
2.3	Prio 1 Spray Adapter Design & Roll Out										■	■	■	■								
2.4	Prio 2 Spray Adapter Design & Roll Out	Jan 26									■	■	■	■	■	■	■	■				
2.5	Prio 3 Spray Adapter Design & Roll Out	Jul 26													■	■	■	■	■	■	■	■

## [Projektkosten / - nutzen, Kosten-Nutzen-Analyse [€/tCO<sub>2</sub>]]

<b>Maßnahme:</b>	<b>Cyclean 2 Prioprojekte</b>								
Kostenwirkung:	Zusätzliche Reduzierung der Treibstoff- und ETS-Kosten durch geringeren Verbrauch								
<b>Kosten</b> [Taus. EUR]	kum. bis 2030	kum. bis 2040	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
<b>GESAMT</b>	<b>5.605</b>	<b>8.623</b>	<b>1.000</b>	<b>2.250</b>	<b>790</b>	<b>331</b>	<b>371</b>	<b>411</b>	<b>452</b>
<b>Wirkung</b>	Kum. bis 2030	kum. bis 2040	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Kostenreduzierung [Tausend €]	179.015	623.060	-	-	20.551	31.156	40.474	42.430	44.404
CO <sub>2</sub> Reduktion (ATR50) [k Tonnen]	1.969	6.935	-	-	228	307	460	478	497
Kosten / [t] vermiedenes CO <sub>2</sub>	2,85 €	1,24 €							
<b>Kosten / [t] vermiedenes CO<sub>2</sub></b>	<b>-88,05 €</b>	<b>-88,60 €</b>	inkl. Kostenreduzierung (Treibstoff, ETS; negativer Wert -> Erlöse)						

## [Technologiebedarf]

- Digitalisierung und Datenaustausch zwischen Triebwerksherstellern,
- Kunden und Anbieter
- High-end CFD-Simulationsmethodik
- Fouling-Forschung

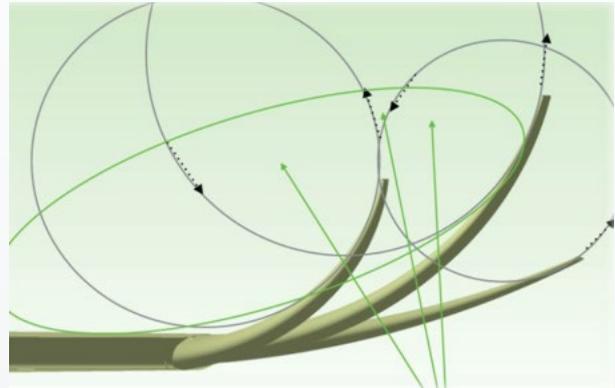
## [Projektrisiken in Stichpunkten]

- Geringe Bereitschaft von Kunden für ausschließlich statistisch nachweisbare Verbesserungspotenziale zu zahlen → notwendig für Investition seitens LHT für Return on Invest
- Geringe Bereitschaft oder vertragliche Hürden seitens der Kunden, Triebwerks-Perfomancedaten mit LHT zu teilen

## [AER-3] – [Wing Tip Devices an A330 Flugzeugen]

### [Verbessertes Wing Tip an A330Ceo als Plug & Play - Lösung]

An der A330Ceo, welche als Grunddesign in den 80/90er Jahren entwickelt wurde, sind Wing Tips der ersten Generation installiert. Das Wing Tip (Winglet) fußt auf einem veraltetem Design und könnte mittels moderner Simulationsverfahren in ein effizienteres Design überführt werden, das weniger induzierten Widerstand hervorruft. Der A330Ceo bietet sich hierfür an, da das Winglet keinerlei Lampen oder andere Funktionalitäten aufweist, die Leitungen, Kabel etc. benötigen und daher viel Freiheit im Design ermöglichen.



Ein neues Wing Tip Device müsste ausschließlich bessere aerodynamische Werte aufweisen und im Gewicht kleiner/gleich der alten Version sein, um Treibstoff einzusparen.

### [Maßnahmenziele – Stichpunkte]

- Entwicklung eines neuen Winglets für die A330ceo
- (kann ebenfalls Anwendung auf A340 finden)

### [Angestrebte Verbesserung - quantitativ]

- Widerstandsreduktion: 1,5%p
- Treibstoffersparnis: 1,8%p

Durch die Widerstandsreduzierung wird ein um denselben Prozentsatz verringerter Treibstoffverbrauch erreicht. Durch den Gewichtseffekt einer planbaren reduzierten Betankung erhöht sich der Effekt auf eine Gesamttreibstoffersparnis von 1,8%.

### [Maßnahmenscope – Flugzeug/Triebwerktyp]

- A330ceo

### [Maßnahmenverantwortliche Firma]

- Lufthansa Technik
- Airbus

**[Maßnahmenlaufzeit – inkl. Zeitstrahl]**

AP	Task	Start	2024				2025				2026				2027				2028			
			Q1	Q2	Q3	Q4																
<b>1.</b>	<b>Projektstart</b>	Sep 24																				
1.1	Vorbereitende Arbeiten	Sep 24																				
1.2	Scan & Modellierung A330	Sep 24																				
<b>2.</b>	<b>Design &amp; Konzept</b>																					
2.1	CAD & CFD Simulation	Jan 25																				
2.2	Analyse & aerodyn. Optimierung	Mar 25																				
2.3	Strukturkonzept	Jun 25																				
2.4	Zulassungskonzept	Jun 25																				
<b>3.</b>	<b>Umsetzungsphase</b>																					
2.1	Prototypenbau	Jan 26																				
2.2	Analyse und Detailentwicklung	Jan 26																				
2.3	Zulassung	Jun 26																				
2.4	Produktionsstart	Sep 26																				
2.5	Ersteinrüstung	Jan 27																				

**[Projektkosten / - nutzen, Kosten-Nutzen-Analyse [€/tCO<sub>2</sub>]]**

<b>Maßnahme:</b>	<b>Advanced WingTip Devices (A330ceo)</b>									
Kostenwirkung:	Reduzierung der Treibstoff- und ETS-Kosten durch geringeren Verbrauch									
<b>Kosten</b> [Taus. EUR]	kum. bis 2030	kum. bis 2040	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
<b>GESAMT</b>	<b>65.500</b>	<b>101.500</b>	<b>500</b>	<b>750</b>	<b>750</b>	<b>9.500</b>	<b>18.000</b>	<b>18.000</b>	<b>18.000</b>	
<b>Wirkung</b>	Kum. bis 2030	kum. bis 2040	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
Kostenreduzierung [Tausend €]	96.000	787.200	-	-	-	6.000	18.000	30.000	42.000	
CO2 Reduktion (ATR50) [k Tonnen]	933	7.653	-	-	-	58	175	292	408	
Kosten / [t] vermiedenes CO <sub>2</sub>	70,19 €	13,26 €								
<b>Kosten / [t] vermiedenes CO<sub>2</sub></b>	<b>-32,68 €</b>	<b>-89,60 €</b>	inkl. Kostenreduzierung (Treibstoff, ETS; negativer Wert -> Erlöse)							

**[Technologiebedarf]**

- Erweiterte aerodynamische Analysefähigkeit bzgl. des Design und vor allem den zulassungskritischen Punkten, wie beispielsweise Eisansatz und Flutter-Eigenschaften, Vogelschlag sowie Blitzschlag

**[Projektrisiken in Stichpunkten]**

- Optimale aerodynamische Geometrie überlastet bisherige Flügelstruktur
- Zulassung erfordert das gesamte Testflugprogramm anstatt Nachweisführung per Simulation

## [ENG-1] – [Erosionsschutzschichten im Verdichter]

### [Nachrüsten der Verdichter vorhandener Triebwerke mit Erosionsschutzschichten]

Erosionsschutzschichten kommen in Verdichtern zur Anwendung, um Schaufelvorderkanten vor Erosion zu schützen. Damit wird erreicht, dass der Gesamtwirkungsgrad über einen längeren Zeitraum nicht durch Erosion beeinträchtigt wird. Die Technologieentwicklung wurde im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms vorgetrieben und durch die Industrie bis zur Serieneinführung bei aktuellen Triebwerken gebracht. Die Erosionsschutzschichten können im Rahmen von Wartungsarbeiten nachgerüstet werden, sobald ein Verdichter bis auf Teileebene zerlegt wird. Dies kann umgesetzt werden indem entweder die vorhandene Hardware beschichtet wird oder indem beim Einsatz von Ersatzteilen auf beschichtete Teilenummern umgerüstet wird.



### [Ziele – Stichpunkte]

- Nachrüstung bestehender Triebwerke der PW1000G-Familie und V2500

### [Angestrebte Verbesserung - quantitativ]

**Treibstoffersparnis (im Mittel über die gesamte Triebwerkslebensdauer): 0,3%**

Die Maßnahme hat keinen Einfluss auf weitere technische Metriken. Es gibt keine gegenläufigen Effekte bzw. Inkompatibilitäten mit anderen Technologien, Maßnahmen oder Enablern.

### [Maßnahmescope – Flugzeug/Triebwerktyp]

- A320NEO/ PW1100G, A321NEO/ PW1100G

### [Maßnahmenverantwortliche Firma]

- MTU Aero Engines AG

## [Projektlaufzeit]

Die gesamte fliegende Flotte kann in sieben Jahren nach Umsetzungsbeginn nachgerüstet werden.

## [Projektkosten / - nutzen, Kosten-Nutzen-Analyse [€/tCO<sub>2</sub>]]

Das Verhältnis aus Kosten zu Nutzen im Hinblick auf die CO<sub>2</sub> Reduktion hängt stark von der Nutzung des Kunden bzw. Umgebungsbedingungen ab. Bei der angegebenen Treibstoffersparnis handelt es sich um einen Mittelwert über die gesamte Flotte. Der ausgelernete Marktpreis für die Nachrüstung eines Triebwerks wird nach heutiger Einschätzung zwischen 150.000 € und 200.000 € liegen.

UAG Quick Wins

### Kosten und Wirkung

<b>Maßnahme:</b>	<b>Verdichter - Erosionsschutzschicht GTF Engines</b>
------------------	---

Kostenwirkung: Reduzierung der Treibstoff- und ETS-Kosten durch geringeren Verbrauch

#### Kosten [Taus. EUR]

##### GESAMT

kum. bis 2030	kum. bis 2040	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
343.800	570.900	-	57.300	57.300	57.300	57.300	57.300	57.300

#### Wirkung

Kostenreduzierung [Tausend €]

CO<sub>2</sub> Reduktion (ATR50) [k Tonnen]

Kum. bis 2030	kum. bis 2040	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
75.664	378.489	-	3.603	7.206	10.809	14.412	18.015	21.618
1.290	6.451	-	61	123	184	246	307	368

Kosten / [t] vermiedenes CO<sub>2</sub>

Kosten / [t] vermiedenes CO<sub>2</sub>

266,57 € 88,49 €

207,90 € 29,82 €

inkl. Kostenreduzierung (Treibstoff, ETS; negativer Wert -> Erlöse)

## [Technologiebedarf]

- Es gibt keinen weiteren Technologiebedarf
- Teilenummern mit der Beschichtung müssen in die Triebwerkskonfiguration eingeführt werden. Dazu sind im Sinne einer Zulassung die erforderlichen Nachweise zu erbringen.

## [WGT-1] – [eco Grey Water Reuse System]

### [Maßnahmenbeschreibung]

Das ECO Greywater Reuse System nutzt das Wasser, das die Passagiere zum Händewaschen verbrauchen und nutzt es für die Toilettenspülung.

Am Beispiel einer Boeing 787 lassen sich mit dieser relativ einfachen Methode bis zu 250 Liter Frischwasser pro Flugzeug einsparen. Dank dieser Gewichtseinsparung können die CO<sub>2</sub>-Emissionen eines modernen Großraumflugzeugs unter typischen Betriebsbedingungen um bis zu 86 Tonnen pro Jahr reduziert werden, während gleichzeitig Betriebskosten gesenkt werden.



Das innovative Design von Diehl Aviation steht für saubere und zukunftssichere Lösungen für die Toilette und war nur möglich, indem alle Herausforderungen der Hygienetechnik ganzheitlich berücksichtigt wurden. Das gesamte System, das weniger als 4 kg wiegt und sehr robust ist, arbeitet hygienisch und geruchsneutral.

(1) Das Handwaschwasser wird für die Toilettenspülung verwendet.

(2) Das Grauwasser wird in einem kleinen Tank gespeichert und gefiltert.

(3) und über eine Pumpe

(4) in die Toilette geleitet.

(5) Ein Überlaufschutz ist Teil des Tanks. Wenn der maximale Füllstand erreicht ist und keine Toilettenspülung betätigt wurde, wird das Wasser automatisch abgelassen.



### [Maßnahmenziele – Stichpunkte]

- Wiederverwendung von Handwaschwasser zur Toilettenspülung
- Einsparung von Trinkwasser und dadurch Systemgewichtreduzierung

### [Angestrebte Verbesserung - quantitativ]

Long Range Flugzeuge (B777, B787, A330, A350)  
Short Range Flugzeuge (B737, A320 Family)

Gewichtsreduktion: 220kg  
Gewichtsreduktion: 40kg

### [Maßnahmenscope – Flugzeug/Triebwerktyp]

- B777, B787, A330, A350
- B737NG, B737MAX, A320CEO Family, A320NEO Family

**[Maßnahmenverantwortliche Firma]**

- Diehl Aviation

**[Maßnahmenlaufzeit – inkl. Zeitstrahl]**

AP	Task	Start	2024				2025				2026				2027				2028			
			Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
1.	<b>Systementwicklung</b>		[Gantt chart showing activity from Q1 2024 to Q4 2026]																			
1.1	Entwicklung	laufend	[Gantt chart showing activity from Q1 2024 to Q4 2026]																			
2.	<b>Einrüstung in Long Rang (777,787,A330,A350)</b>		[Gantt chart showing activity from Q1 2026 to Q4 2027]																			
2.1	Vorbereitende Arbeiten	Jan 26	[Gantt chart showing activity from Jan 2026 to Q2 2026]																			
2.2	Zulassung	May 26	[Gantt chart showing activity from May 2026 to Q3 2026]																			
2.3	Rollout bei ersten Airlines	Sep 26	[Gantt chart showing activity from Sep 2026 to Q4 2027]																			
3.	<b>Einrüstung in Short Range (737,A32x)</b>		[Gantt chart showing activity from Q1 2028 to Q4 2028]																			
3.1	Vorbereitende Arbeiten	Jan 28	[Gantt chart showing activity from Jan 2028 to Q2 2028]																			
3.2	Zulassung	May 28	[Gantt chart showing activity from May 2028 to Q3 2028]																			
3.3	Rollout bei ersten Airlines	Sep 26	[Gantt chart showing activity from Sep 2026 to Q4 2027]																			

**[Projektkosten / - nutzen, Kosten-Nutzen-Analyse [€/tCO<sub>2</sub>]]**

<b>Maßnahme:</b>	<b>Grey Water Reuse System (Long Range &amp; Single Aisle)</b>									
Kostenwirkung:	Reduzierung der Treibstoff- und ETS-Kosten durch geringeren Verbrauch									
<b>Kosten</b> [Taus. EUR]	kum. bis 2030	kum. bis 2040	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
<b>GESAMT</b>	<b>111.135</b>	<b>374.885</b>	<b>1.000</b>	<b>3.000</b>	<b>1.825</b>	<b>5.025</b>	<b>16.200</b>	<b>35.775</b>	<b>48.310</b>	
<b>Wirkung</b>	Kum. bis 2030	kum. bis 2040	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
Kostenreduzierung [Tausend €]	20.739	230.116	-	-	113	789	2.671	6.257	10.910	
CO <sub>2</sub> Reduktion (ATR50) [k Tonnen]	584	10.128	-	-	-	-	37	184	363	
Kosten / [t] vermiedenes CO <sub>2</sub>	190,17 €	37,01 €								
<b>Kosten / [t] vermiedenes CO<sub>2</sub></b>	<b>154,68 €</b>	<b>14,29 €</b>	inkl. Kostenreduzierung (Treibstoff, ETS; negativer Wert -> Erlöse)							

**[Technologiebedarf]**

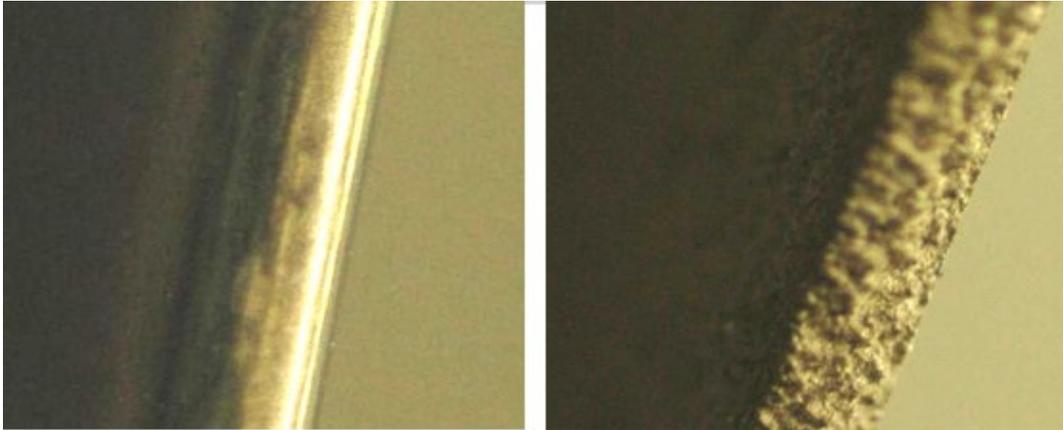
**[Projektrisiken in Stichpunkten]**

- Unzureichende Akzeptanz bei Passagieren (spülen mit „nicht sauberem“ Wasser)
- Unzureichende Akzeptanz bei Airline (Reinigungs-, Maintenance-Intervalle, Handling)
- Unerwartete Filterbelastung im Realbetrieb (Designanpassung)

## [ENG-3] – [Recontouring von Fan Blades]

### [Recontouring von Composite Fan Blades]

Triebwerke saugen im Betrieb große Mengen Luft an, was beispielsweise durch angesaugte Partikel, z.B. Sand, zu Erosion an den Fan Blades führt. Die Erosion führt zu nicht mehr perfekt konturierten Fan Blade Vorderkanten.



Dies verursacht kleinste Verwirbelungen an den Fan Blades und weniger Massendurchsatz des Triebwerkes, was wiederum Leistungsverlust und höheren Treibstoffverbrauch bedeutet. Durch Einsatz eines Fan Blade Recontouring wird die Schaufelvorderkante, mittels abrasivem abschleifen, wieder in den annähernd werksneuen Zustand gebracht, was die beschriebenen Verluste stark verringert. Auf älteren Triebwerkmodellen kann dies bereits durchgeführt werden. Bei neueren Triebwerktypen mit Composite Fan Blades (sparen Gewicht) ist kein solches Verfahren zugelassen, da ein abrasives Abtragen die Lebensdauer der Blades stark verringert. Neuartige Technologien sollen erforscht und zugelassen werden, damit auch die neuen Triebwerkgenerationen ein Fan Blade Recontouring erhalten können.

### [Maßnahmenziele – Stichpunkte]

- Erforschung neuer Technologien zur Wiederherstellung der Fan Blade Vorderkante
- Anwendung und Zulassung auf verschiedene Triebwerkmodelle

### [Angestrebte Verbesserung - quantitativ]

- Treibstoffersparnis: 0,25% im Durchschnitt
- 0,5% nach der Umsetzung. Bei 2 Jahren bis zur Re-Applizierung ergeben sich 0,25% Treibstoffersparnis im Schnitt.

### [Maßnahmenscope – Flugzeug/Triebwerktyp]

- LEAP (A320Neo-Familie, B737-Familie)
- GTF (A320Neo-Familie)
- GE90 (B777)
- GeNX (B748, B787)
- GE9X (B777X)
- Trent XWB (A350)

### [Maßnahmenverantwortliche Firma]

- Lufthansa Technik

**[Maßnahmenlaufzeit – inkl. Zeitstrahl]**

AP	Task	Start	2024				2025				2026				2027				2028			
			Q1	Q2	Q3	Q4																
1.	<b>Projektstart</b>					█																
1.1	Vorbereitende Arbeiten	Sep 24				█																
2.	<b>Erweiterung auf A330 Flotte</b>		█	█	█	█	█	█	█	█												
2.1	Technologieentwicklung	Jan 25					█	█	█	█												
2.2	Analyse und Detailentwicklung	Aug 24						█	█	█												
2.3	Zulassung	Jan 25									█	█	█	█								
2.4	Rollout bei ersten Airlines	Aug 25													█	█						

**[Projektkosten / - nutzen, Kosten-Nutzen-Analyse [€/tCO<sub>2</sub>]]**

UAG Quick Wins  
Kosten und Wirkung

<b>Maßnahme:</b>	<b>FB Recontouring auf neuen Triebwerkmodellen (alle Muster)</b>
------------------	--

Kostenwirkung: Reduzierung der Treibstoff- und ETS-Kosten durch geringeren Verbrauch

Kosten [Taus. EUR]	kum. bis 2030	kum. bis 2040	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
	<b>GESAMT</b>	<b>47.450</b>	<b>155.450</b>	1.000	2.000	4.850	7.200	10.800	10.800

Wirkung	Kum. bis 2030	kum. bis 2040	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
	Kostenreduzierung [Tausend €]	68.400	239.400	-	-	5.700	11.400	17.100	17.100
CO2 Reduktion (ATR50) [k Tonnen]	1.122	3.922	-	-	93	187	280	280	280

Kosten / [t] vermiedenes CO <sub>2</sub>	<b>42,29 €</b>	<b>39,63 €</b>							
<b>Kosten / [t] vermiedenes CO<sub>2</sub></b>	<b>-18,67 €</b>	<b>-21,40 €</b>	inkl. Kostenreduzierung (Treibstoff, ETS; negativer Wert -> Erlöse)						

**[Technologiebedarf]**

- Arbeitssichere, zugelassene Laseranlagen, die gleichbleibend spezifizierte Oberflächengüte und -geometrie (wieder-)herstellen bei gesichert unveränderten Eigenschaften des Fan Blade Werkstoff

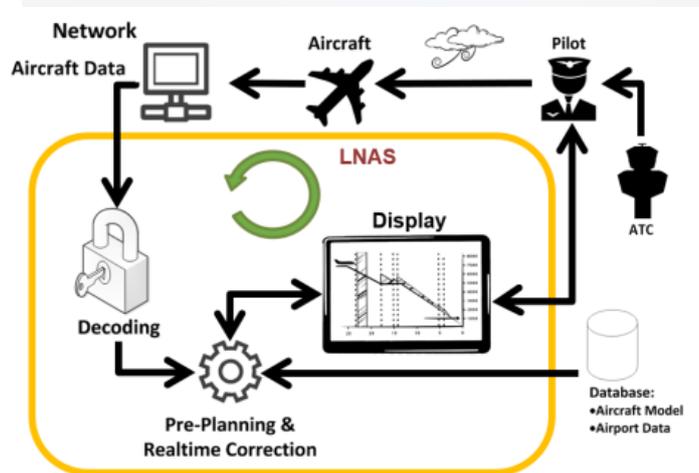
**[Projektrisiken in Stichpunkten]**

- Übermäßige Abnutzung der Fan Blades (Chord Length) und daher Ausschussrate
- Reparaturzulassung über OEMs

## [TEC-1] LNAS – Low Noise Augmentation System - Pilotenunterstützung

### Piloten - Handlungsempfehlung für energieoptimale Anflugprofile

Um Pilotinnen und Piloten bei den komplexen Handlungsabläufen für einen möglichst lärmarmen und treibstoffsparenden Anflug zu unterstützen, hat das DLR-Institut für Flugsystemtechnik das Pilotenassistenzsystem LNAS entwickelt. Das System erlaubt es, den Pilotinnen und Piloten über ein zusätzliches Display auf dem Electronic Flight Bag (EFB) im Cockpit optimierte Handlungsempfehlungen anzuzeigen (s. Abbildung rechts: LNAS im Cockpit des A320 D-ATRA). Langfristig soll dieses System Teil der primären Avionik werden, was in weiterführenden Projekten bereits verfolgt wird. Das Anflugprofil wird dabei so optimiert, dass es größtenteils im besonders leisen und treibstoffsparenden Leerlauf durchgeführt werden kann. Diese Anzeige auf dem EFB, die durch ihre einfache Darstellung intuitiv und auf einen Blick erfasst werden kann, dient als Planungsgrundlage für den gesamten Anflug. Das ideale Anflugprofil ist dabei in unterschiedliche Phasen aufgeteilt. Die optimalen Zeitpunkte für das schrittweise Setzen der Landeklappen und das Ausfahren des Fahrwerks sind im Anflugprofil jeweils markiert. Handeln die Pilotinnen und Piloten nach diesen Vorgaben, kann der Anflug von der Reiseflughöhe bis hinunter auf die Stabilisierungshöhe von 1000 Fuß über der Landebahnschwelle mit minimalem Schub durchgeführt werden. Damit werden nicht nur Treibstoff gespart und Schadstoffemissionen reduziert, sondern die Triebwerke laufen auch mit deutlich geringerer Drehzahl und somit also leiser.



### [Maßnahmenziele – Stichpunkte]

- Ausrollen LNAS (EFB-Lösung – For Information Only) auf bestehender A320 Family
- Erweiterung LNAS (EFB-Lösung) → FMS-Lösung (DYNCAT; DYN-MARS)
- Erweiterung auf Abflug
- Implementierung:
  - Weitere LFZ-Muster
  - Weitere Flugverfahren
- Einbindung ATC zur Berücksichtigung aktueller Verkehrslage
  - Geschwindigkeitsvorgaben
  - Wettersituation
  - Flughafenkapazität

**[Angestrebte Verbesserung - quantitativ]**

- Treibstoffeinsparung abhängig vom Maßnahmenbeginn beim Anflug (Basis SWISS A320 Flotte // EFB-Lösung - For Information Only):
  - ab 50km vor Aufsetzpunkt: ca. 10 kg/Anflug
  - ab TOD (200 km vor Aufsetzpunkt): ca. 50kg/Anflug
- Lärmreduktion: ca. 3 dB(A)

**[Maßnahmenscope – Flugzeug/Triebwerktyp]**

- A320 Family
- A320neo Family
- A330 (für Startverfahren)
- A350 (EFB-Lösung an- Abflüge)
- Weitere Hersteller

**[Maßnahmenverantwortliche Firma]**

- DLR (Konzeption / Entwicklungs- Validierungsunterstützung)
- Airbus
- Thales
- (Honeywell)
- Jeppesen (Boeing)

Entwicklungspartnerschaften mit:

- Lufthansa – Langzeiterprobung auf ca. 200 LFZ (Airbus A320)
- Swiss International Airlines (Airbus A320neo)

**[Maßnahmenlaufzeit – inkl. Zeitstrahl]**

AP	Task	Start	2024				2025				2026				2027				2028			
			Q1	Q2	Q3	Q4																
1.	<b>LNAS auf LFZ mit vorh. EFB (for information only)</b>																					
1.1	Ausrollen A320 Family																					
1.2	Erweiterung auf weitere EFB Datenschnittstellen																					
1.3	Verfahrensanweisung																					
2.	<b>Erweiterung FMS (A320 NEO)</b>																					
2.1	Konzept für FMS, Erweiterung, Entwicklung und Implementierung																					
2.2	Prototyping																					
2.3	Validierung																					
2.4	Zulassungsanforderungen definieren																					
2.5	Produktphase																					
3.	<b>Erweiterung weitere AIB Muster (FMS)</b>																					
	Analyse Energie-Management andere Muster																					
	Anpassung LNAS Funktionalitäten an Energie Bedarfe																					
2.1	Konzept für FMS, Erweiterung, Entwicklung und Implementierung																					
2.2	Prototyping																					
2.3	Validierung																					
2.4	Zulassungsanforderungen definieren																					
2.5	Produktphase																					
4.	<b>Erweiterung andere Hersteller (FMS)</b>																					
2.1	Analyse Energie- und Konfigurations-Management Muster anderer Hersteller																					
2.1	Anpassung LNAS Funktionalitäten an Energie Bedarfe																					
2.1	Konzept für FMS, Erweiterung, Entwicklung und Implementierung																					
2.2	Prototyping																					
2.3	Validierung																					
2.4	Zulassungsanforderungen definieren																					
2.5	Produktphase																					

## [Projektkosten / - nutzen, Kosten-Nutzen-Analyse [€/tCO<sub>2</sub>]]

UAG Quick Wins

Kosten und Wirkung

<b>Maßnahme:</b>	<b>LNAS@FMS - Pilotenunterstützungssystem für lärm- und treibstoffoptimierte Anflugprofile A320 Family</b>
------------------	--

Kostenwirkung: Reduzierung der Treibstoff-Kosten durch optimierte Anflugprofile

<b>Kosten</b> [Taus. EUR]	kum. bis 2030	kum. bis 2040	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
<b>GESAMT</b>	<b>247.500</b>	<b>593.500</b>	<b>20.000</b>	<b>25.000</b>	<b>22.500</b>	<b>27.000</b>	<b>51.000</b>	<b>51.000</b>	<b>51.000</b>

<b>Wirkung</b>	Kum. bis 2030	kum. bis 2040	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Kostenreduzierung [Tausend €]	208.657	1.496.853	4.282	9.990	15.699	22.835	37.393	51.950	66.508
CO <sub>2</sub> Reduktion (ATR50) [k Tonnen]	859	6.121	18	42	65	95	154	213	272
Kosten / [t] vermiedenes CO <sub>2</sub>	288,14 €	96,96 €							
<b>Kosten / [t] vermiedenes CO<sub>2</sub></b>	<b>45,22 €</b>	<b>-147,58 €</b>	inkl. Kostenreduzierung (Treibstoff, ETS; negativer Wert -> Erlöse)						

### [Technologiebedarf]

- FMS-Entwicklung und Zulassung LNAS (Nachfolger) für A320 Family / A320neo Family
- Integration ATC relevanter Randbedingungen
- FMS-Entwicklung und Zulassung LNAS (Nachfolger) für weitere Airbus Muster
- FMS-Entwicklung und Zulassung LNAS (Nachfolger) für Muster anderer Hersteller

### [Projektrisiken in Stichpunkten]

- In Service Akzeptanz des EFB-basierten Systems – Gering (wurde bei LH und SWISS im operationellen Betrieb positiv bewertet)
- Fehlende Unterstützung durch die Flugsicherung/Flugverkehrskontrolle – Gering (die Flugverkehrskontrollen sind aufgefordert, Maßnahmen zur Reduzierung der Umwelteinflüsse. z.B. durch Einführung von dynamischen Routen-Strukturen, sodass die Flugzeuge mehr Flexibilität erhalten und somit optimaler fliegen können)
- Freigabe/Erlaubnis/Zulassung des EFB-basierten Systems – Mittel (es wurde mit LH ein vereinfachtes Displaylayout erprobt, sodass die Piloten bei kritischen Flugphasen nicht abgelenkt werden)



### **[Projektkosten / - nutzen, Kosten-Nutzen-Analyse [€/tCO<sub>2</sub>]]**

Zur Bestimmung der Wirkung dieser Maßnahme sind tiefergehende Analysen auch mit den Arbeitsgruppen „SAF“ und „Flugroutenoptimierung“ nötig.

#### **[Technologiebedarf]**

- Analyse von besonders emissionssensiblen Flugrouten (Langstrecke) und Identifikation modifizierbarer Flugzeugmustern
- Ermittlung und Analyse der für den Einsatz von 100% SAF zu betrachtenden Flugzeugsystemkomponenten
- Spezifikation einer Flugzeugmodifikation incl. Nachweisführung und Zertifizierung

#### **[Projektrisiken in Stichpunkten]**

- Verfügbarkeit von 100% SAF an den Flughäfen von emissionssensiblen Flugrouten
- Festlegung modifizierter Flugzeuge für emissionsensible Flugrouten

## Schlussfolgerungen

Im Hinblick auf die Klimawirkung wird hier insbesondere auf das kumulierte ATR50-Beitragspotenzial der Quick Wins hingewiesen. Es verdeutlicht, dass die positiven Auswirkungen dieser Maßnahmen bis weit über den Zeitpunkt hinausreichen, an dem die ersten Flugzeuge mit revolutionären Technologien in den kommerziellen Einsatz treten. Der Zeitpunkt, ab welchem die nächste Generation von Flugzeugen mehr Klimawirkung entfaltet als alle bis dahin gesammelten Quick Wins, dürfte erst Mitte der 2040ern liegen.

### Qualitative Ergebnisse

Gemessen an ihrer Gesamtklimawirkung lassen sich die untersuchten Maßnahmen wie folgt priorisieren:

Nr.	Maßnahme	EIS	ALICIA - kum. bis 2040 in MtCO <sub>2e</sub> (real. Marktdurchdringung)	ALICIA - kumul. bis 2040 in MtCO <sub>2e</sub> (100% Marktdurchdringung)	Kosten [€] *) pro Tonne vermiedenes CO <sub>2e</sub> – 2030	Kosten [€] *) pro Tonne vermiedenes CO <sub>2e</sub> – 2040
2	Shark Skin Transfer auf A330/777	2024	23,70	197,26	(77,97) <b>-28,99</b>	(38,99) <b>-68,60</b>
2	Shark Skin Transfer auf A320 und Kurzstreckenmustern	2026	24,26	212,92	(152,19) <b>83,64</b>	(59,77) <b>-8,77</b>
3	Weiterentwicklung Verdichterwaschverfahren	2026	6,94	67,08	(2,85) <b>-88,05</b>	(1,24) <b>-88,60</b>
4	Verbesserte Wing Tip Devices A330	2027	7,65	38,26	(70,19) <b>-32,68</b>	(13,26) <b>-89,60</b>
5	Erosionsschutzschicht Verdichter am GTF	2025	6,45	22,33	(266,57) <b>207,90</b>	(88,49) <b>29,82</b>
6	Grey Water Reuse in Toilets	2026	10,13	30,86	(190,17) <b>154,68</b>	(37,01) <b>14,29</b>
7	Recontouring von Fan Blades	2026	3,92	32,31	(42,29) <b>-18,67</b>	(39,63) <b>-21,40</b>
8	LNAS-Pilotenunterstützungssystem	2024	6,12	24,75	(288,14) <b>45,22</b>	(96,96) <b>-147,58</b>
9	Vorklimatisierte Luft an deutschen Airports	2025	1,83	-	tbd	tbd
10	Ertüchtigung der Flugzeuge zu 100% SAF Nutzung	2025	tbd	tbd	tbd	tbd
11	Kabinentechnologie Trendanalyse - Gewichtsreduktion	2025 1x / 10a	-	510,00	tbd	tbd

\*) Die Werte für 2030 und 2040 beinhalten die bis zu diesem Zeitpunkt kumulierten Kosten, Einsparungen und Emissionsreduzierung

Tabelle 2: Wirksamkeit der Maßnahmen und verbundene Kosten / Einsparungen

### Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen

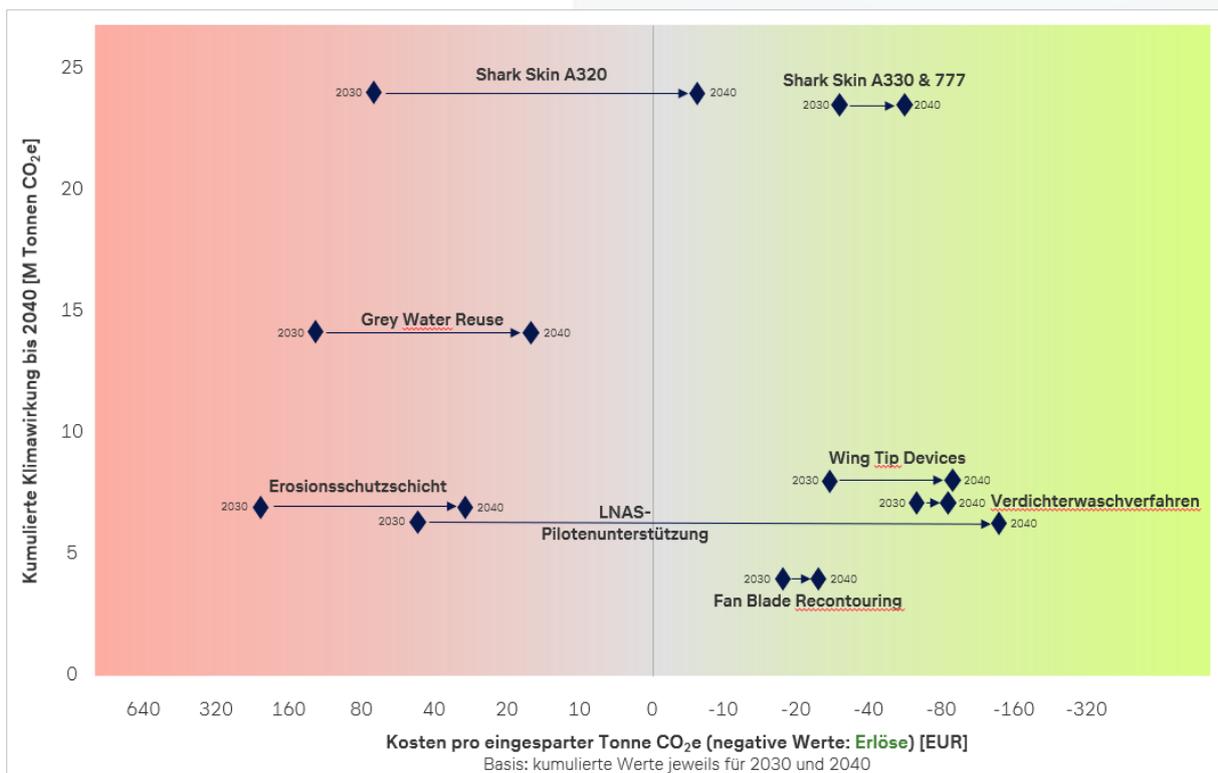
Bemerkenswert ist, dass für einen Großteil der Maßnahmen die Kosten pro Tonne eingespartem CO<sub>2e</sub> (z. B. für die Werte kumuliert bis 2040) unter den heutigen Preisen des ETS-Handels für die Tonne CO<sub>2</sub> liegt. Setzt man – wie in Tabelle 2 durch die fett dargestellten Werte – außerdem die gleichzeitigen Einsparungen bei Treibstoff und ETS-Zertifikaten als kostenreduzierend an, sind einige Maßnahmen sofort wirtschaftlich (vergleiche „negative“ Kosten in Tabelle 2).

Andere Maßnahmen werden erst nach langer Laufzeit (z.B. kumuliert im Jahre 2040) oder danach wirtschaftlich. Für die Implementierung dieser Maßnahmen müsste ein Anwender spürbar und außerhalb der heute üblichen Amortisationszeiträume für Retrofits in Vorleistung gehen.

## Fazit

In Anbetracht der Tatsache, dass „Quick Wins“ die einzige Möglichkeit darstellen, vor 2040 wirksame Maßnahmen zu ergreifen, gewinnen sie an Bedeutung. Es zeigt sich, dass signifikantes CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial durch Flotten-Rollover auf neue Flugzeugmodelle wie A320neo, A350 oder Boeing 787 bereits in die CO<sub>2</sub> Bilanzen der Airlines eingepreist wurde und dass eine beschleunigte Reduktion der Klimawirkung erst mit dem nächsten Technologiesprung realisiert werden kann. Vielmehr bleiben „Quick Wins“ als sofort umsetzbare Lösungen von entscheidender Bedeutung.

Es ist wichtig zu betonen, dass viele der Quick Wins strukturell auch nach Technologiesprüngen wertig bleiben und diese auch für die nächste Generation von Flugzeugen relevant sind. Die Kosteneffizienz (EUR pro t CO<sub>2</sub>-Einsparung) und die Umsetzungsgeschwindigkeit sind entscheidende Faktoren, die die Quick Wins zu einer effektiven und nachhaltigen Lösung machen.



Grafik 2: Darstellung der Quick-Wins in einer Kosten-Nutzen-Matrix

## Empfehlungen

Die Arbeitsgruppe für kurzfristige, klimawirksame Maßnahmen in der Luftfahrt sieht in der zeitnahen Umsetzung von verfügbaren technologischen Verbesserungen eine entscheidende Möglichkeit, positive Veränderungen bei der Klimawirkung der Luftfahrt herbeizuführen. Es ist unerlässlich, dass diese kurzfristigen Maßnahmen als integraler Bestandteil einer umfassenderen Strategie betrachtet werden, die auch langfristige Entwicklungen umfasst. Nur durch ein ganzheitliches und gemeinsames Vorgehen kann die Luftfahrtindustrie zu einer treibenden Kraft für positive Veränderungen im Kampf gegen den Klimawandel werden.

Notwendig für diesen Wandel ist:

**Aufrechterhalten der Förderung von Technologiebausteinen die konkrete kurzfristige Systemoptimierungen erreichen, sowohl grundsätzlich als auch in ausreichend finanziellen Volumen (Wer: politische Entscheider)**

- Einige Quick Wins sind gute Beispiele für Technologiebausteine, die durch LuFo co-finanziert sind, um den notwendigen Reifegrad für eine anschließende Industrialisierung zu realisieren
- Die Analysen der Quick Wins und Enabler zeigen zusätzlich, dass Modernisierungen auch zukünftig kontinuierlich in international bestehende Flugzeugprogramme implementiert werden müssen
- z.B. leisten Maßnahmen zur Verbesserung der Aerodynamik und Treibwerkseffizienz, Gewichtsreduzierung und Steigerungen in der Energieeffizienz in Kabinensystemen einen erheblichen Beitrag zur Reduzierung der Klimawirkung

**Beschleunigte Umsetzung der Einzelmaßnahmen (Wer: Industrie & politische Entscheider)**

Um den maximalen Beitrag der identifizierten Maßnahmen zu nutzen, ist eine möglichst umfassende und schnelle Durchdringung im Markt unerlässlich. Zur Unterstützung dieser Durchdringung insbesondere in der fliegenden Flotte sind zusätzliche Anreize für Airlines und Industriepartner als ein sinnvolles Werkzeug zu etablieren.

- Stärkung bereichsübergreifender Industrie-Kooperationen zur Erarbeitung und Ausgestaltung effizienter technischer Lösungen
- Schaffung ausreichender Ressourcen zur Überführung neuer Technologien in die Serie
- Schaffung von Anreizen für die Luftfahrtindustrie, kurzfristig wirksame Maßnahmen zu priorisieren
- Unterstützung bei finanziellen Vorleistungen durch die Industrieunternehmen für Maßnahmen mit hohen Investitionskosten **und Amortisationszeiträumen außerhalb heute üblicher Betrachtungsräume** (z.B. KfW-Mittel, teils rückzahlbare Kredite für Anlagen; siehe auch UAG 3 - „Fördermittel“)

**Verbesserung der Außendarstellung von Innovationsfähigkeit der deutschen Luftfahrt, gerade im Hinblick auf eine Reduzierung der Klimawirkung (Wer: politische Entscheider)**

- Integration der „Quick Wins“ Maßnahmen wie z.B. *AeroShark* oder *Grey Water Reuse System* in Luftfahrzeuge, die sich im direkten Einflussbereich der Bundesrepublik Deutschland befinden (z.B. Demonstratoren, Forschungsflugzeuge, Flugzeuge der weißen Flotte der GAF) konkret: z. B. **Installation der Shark Skin auf GAF A320 Flugzeugen**
- Wo möglich: Darstellung bei öffentlichen Auftritten, auf Messen oder Industriepräsentationen im Ausland