

Luftfahrt

# Nachhaltige Stahlprodukte für die Dekarbonisierung der Luftfahrtbranche



**Swiss  
Steel**  
Group

## **Inhalt**

---

**Einleitung 3**

---

**Nachhaltigkeitsrelevante  
Trends in der Luftfahrtbranche 3**

---

**Rolle von Stahl in der Luftfahrt 5**

---

**Herausforderungen für Stahl 5**

---

**Konkrete Lösungsansätze 8**

---

**Rolle der Swiss Steel Group 11**

---

**Fazit 12**

---

# Luftfahrt

---

## Einleitung

Die Luftfahrtbranche steht vor der Herausforderung, bis zum Jahr 2050 die Netto-Null-Emissionsziele zu erreichen und damit einen entscheidenden Beitrag zu den globalen Klimaschutzbemühungen zu leisten. Obwohl die Luftfahrt nur etwa 4 Prozent der gesamten Treibhausgasemissionen in der EU ausmacht, zählt sie zu den Bereichen mit dem am stärksten zunehmenden Emissionsaufkommen, das zum Klimawandel beiträgt. Der Grund hierfür liegt hauptsächlich im überproportionalen Anstieg der Passagierzahlen.

Dies erfordert tiefgreifende Veränderungen in allen Aspekten der Wertschöpfungskette der Luftfahrt, einschließlich des Einsatzes nachhaltiger Materialien, alternativer Antriebe, effizienterer Triebwerke und der Reduzierung von klimarelevanten Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekten bei gleichzeitig effizienten, sicheren und kurzen Lieferketten. Dieses White Paper betrachtet die Konsequenzen und Lösungsansätze, um diese Ziele zu erreichen und setzt einen Schwerpunkt auf die Rolle der Swiss Steel Group bei der Bereitstellung von hochwertigen Stählen für nachhaltige Flugzeugkonstruktionen.

---

## Nachhaltigkeitsrelevante Trends in der Luftfahrtbranche

Die Nachhaltigkeitsbemühungen der Luftfahrtbranche umfassen eine Reihe von Trends und Maßnahmen, um den Einfluss auf Klima und Umwelt zu reduzieren. Diese umfassen:

### 1. Effizientere Antriebe

Jede neue Generation von Triebwerken reduziert den Treibstoffverbrauch um rund 20 %. Zudem prüfen Hersteller von Kurz- und Mittelstreckenmaschinen den Einsatz von strom- und wasserstoffbetriebenen Flugzeugen.

### 2. Nachhaltige Treibstoffe

Sustainable Aviation Fuels (SAF) ist der Oberbegriff für alle Flugtreibstoffe, die ohne die Verwendung von fossilen Energiequellen hergestellt werden. Im Vergleich zu fossilen Treibstoffen reduziert heutiges SAF die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 80 Prozent. SAFs sind insbesondere bei der Reduzierung von klimarelevanten Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekten, beispielsweise Kondensstreifen, Ruß und Aerosole, von großer Bedeutung. Diese machen in etwa zwei Drittel der klimaschädlichen Effekte der Luftfahrt aus.

# Luftfahrt

## 3. Leichtbau

Flugzeughersteller versuchen stets leichtere und festere Materialien einzusetzen, um Gewicht und somit den Treibstoffverbrauch zu senken. Eine permanente Entwicklung, die auch am Werkstoff Stahl nicht vorbeigeht.

## 4. Recyclebarkeit und Vermeidung umweltschädlicher Materialien

Um den Einfluss der Luftfahrt auf die Umwelt über den gesamten Lebenszyklus eines Flugzeuges hinweg zu reduzieren, bedarf es Materialien, die recyclebar wiedereinsatzfähig und nicht umweltschädlich sind. Eindeutig als «giftig» klassifizierte Materialien werden zukünftig nicht mehr verbaut werden dürfen.

## 5. Zuwachs an Luftverkehr und Flugzeugbau

Der zunehmende Wohlstand in Asien wird zu einem starken Anstieg im Luftverkehr führen. So prognostizierte die IATA bereits 2016 eine Verdoppelung der Passagierzahlen bis 2035. Diese Situation wird noch verstärkt dadurch, dass nach neuesten Schätzungen allein aus Nachhaltigkeitsaspekten weltweit 40 000 Flugzeuge zwischen 2035 und 2050 ersetzt werden müssen. Dies entspricht heute einem marktwirtschaftlichen Wert von etwa 5 Billionen Euro<sup>1</sup>. Eine Tatsache, die die Bedeutung der Aspekte 1 und 2 noch einmal verstärkt. Dies bedeutet auch, dass die Produktionskapazitäten für bestimmte Rohstoffe und insbesondere für Stähle und Titan erheblich gesteigert werden müssen. Dazu müssen ebenfalls ausreichend Qualifizierungsprogramme für die Produktionswege und Produkte durchgeführt werden.

# Luftfahrt

---

## Rolle von Stahl in der Luftfahrt

Aufgrund seiner vielfältigen Eigenschaften ist Stahl nach wie vor nicht aus der Luftfahrt hinweg zu denken. Im Gegenteil, er wird immer bedeutender. Nicht unbedingt in der Quantität, aber bezogen auf die Einsatzzwecke, in denen er einzigartig ist. Über Standardbauteile hin bis zu den ausgesprochen kritischen Bauteilen, wie Fahrwerk, Triebwerksbauteile, Teile und Verbindungen mit hohen mechanischen Belastungen. Dabei kommen in der Regel 50–100 verschiedene Stahlgüten zum Einsatz, was einen hohen Grad an Komplexität und benötigtem Know-how mit sich bringt. Ein Umstand, der für den Einkauf von Stahl Elementen für die Luftfahrt, besondere Qualifikation voraussetzt. Oft wird dabei auch geprüft, inwieweit dabei auch leichtere Materialien zum Einsatz kommen können. Fakt ist, Spezialstähle bleiben unverzichtbar für die Luftfahrt. Insbesondere, wenn es gilt, die notwendige Festigkeit und Sicherheit zu gewährleisten.

---

## Herausforderungen für Stahl

### Effizientere Antriebe und alternative Treibstoffe

Die Triebwerke der Zukunft zeichnen sich durch eine Vielzahl von Merkmalen aus, die darauf abzielen die Effizienz und Leistung zu steigern und gleichzeitig den Treibstoffverbrauch zu reduzieren.

#### Wichtigste Merkmale

- 1. Höhere Effizienz:** Neue Triebwerksdesigns nutzen fortschrittliche Technologien wie verbesserte Strömungsmechanik, aerodynamische Optimierungen und Materialien mit niedrigerer Dichte, um eine höhere Effizienz zu erreichen. Dies bedeutet, dass mehr Schub bei einem geringeren Treibstoffverbrauch erzeugt wird.
- 2. Leichtbauweise:** Durch den Einsatz von leichteren Materialien wie Kohlefaser-Verbundstoffen und neu entwickelten Stählen können Triebwerke leichter gemacht werden, was zu einem geringeren Gewicht des Flugzeugs führt. Um weiter Gewicht zu sparen und Bauteile kleiner dimensionieren zu können, bedarf es hochfester Stähle. Zudem wächst der Bedarf an Stahl für die Luftfahrt auch mittels additiver Fertigung. So wird derzeit daran geforscht, in der Luftfahrt bewährte Stahlgüten mittels Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) zu verbauen. Dies erlaubt die Fertigung komplexer, leichter Geometrien, die mittels rein zerspannender oder schmiedender Methoden nicht hergestellt werden können. Die erreichten

## Luftfahrt

Gewichtsreduzierungen führen in der Konsequenz zu einem geringeren Gesamtgewicht des Flugzeugs und damit geringeren Treibstoffverbrauch.

- 3. Hochmoderne Steuerungssysteme:** Fortschrittliche Steuerungssysteme und Sensortechnologien ermöglichen eine präzisere Steuerung der Triebwerksleistung und eine optimale Anpassung an verschiedene Flugbedingungen. Dadurch wird eine effizientere Verbrennung und Leistungserbringung erreicht.
- 4. Gebläse mit größerem Durchmesser:** Durch die Vergrößerung des Gebläsedurchmessers können Triebwerke mehr Luft ansaugen und somit einen höheren Schub erzeugen, ohne dabei den Kraftstoffverbrauch signifikant zu erhöhen.
- 5. Neue Brennkammerdesigns:** Modernste Brennkammerdesigns ermöglichen eine effizientere Verbrennung des Treibstoffs, was zu einer verbesserten Leistung und einem geringeren Kraftstoffverbrauch führt.
- 6. Zukunftsfähige Treibstoffe:** Der Wechsel von fossilem Kerosin zu SAF wird perspektivisch eine nahezu CO<sub>2</sub>-neutrale Luftfahrt ermöglichen. Flugzeuge können zwar bereits heute mit SAF betankt werden, jedoch ist dessen Verfügbarkeit noch sehr gering.
- 7. Optimierte Triebwerke:** Insgesamt zielen diese Merkmale darauf ab, die Leistung und Effizienz von Flugzeugtriebwerken zu verbessern, um den Luftverkehr umweltfreundlicher und nachhaltiger zu gestalten, indem Treibstoffverbrauch und Emissionen reduziert werden.

Für die Umsetzung dieser Merkmale müssen neue aber auch bisher bewährte Stähle den neuen mechanischen Anforderungen und den Zulassungsbedingungen gerecht werden.

Um diese Veränderungen sicher zu stellen bedarf es eines großen Ausbaus der Wasserstoffinfrastruktur für Produktion, Transport, Speicherung und Verbrennung. Dafür werden aufgrund von Sicherheitsaspekten vor allem resistente Stähle benötigt, die auch bei hohen Drücken beständig gegenüber Wasserstoffversprödung sind und der höheren Verbrennungs-

## Luftfahrt

temperatur von Wasserstoff gegenüber unempfindlich sind. Dies alles nicht nur für die Luftfahrtindustrie sondern auch für den Chemie- und den Stahlsektor selbst.

- 8. Recyclebarkeit und Vermeidung umweltschädlicher Materialien:** Stahl ist unendlich oft recyclebar. Flugzeugfahrwerke und -teile aus Stahl unterliegen strengen Leistungsanforderungen, da sie starken Belastungen und korrosiven Umgebungen ausgesetzt sind. Um den Stahl widerstandsfähig gegen das korrosive Anwendungsumfeld zu machen bedarf es häufig Beschichtungen, die die Recyclebarkeit des Stahls erschweren oder unmöglichen werden lassen. Diese Beschichtungen bestehen oft aus toxischen und umweltschädlichen Materialien, wie beispielsweise Cadmium, Chrom-VI oder neuerdings Zink-Nickel. Die Beseitigung dieser schädlichen Substanzen ist eine Forderung von Gesetzgebern und Verbrauchern, die aufgrund der Umwelt- und Gesundheitsrisiken durchgesetzt wird, wie es in den europäischen Umweltgesetzen wie REACH<sup>2</sup> vorgesehen ist, einer Nachhaltigkeitsregulatorik in der EU. Durch die Verschärfung von REACH, werden zukünftig Stähle benötigt, die ohne diese Art Beschichtungen auskommen.
- 9. Zuwachs an Luftverkehr und Flugzeugbau:** Um dem zukünftigen Bedarf an Stahl in der Luftfahrt nachzukommen, bedarf es skalierbarer Produktionsprozesse mit hoher Prozessstabilität. Dies ist vor allem wichtig, um den hohen Qualitätsansprüchen in der Luftfahrt nachzukommen und das benötigte Gefüge im Stahl verlässlich und mit kurzen Vorlaufzeiten herzustellen ohne die Ausschussrate zu erhöhen.

# Luftfahrt

## Konkrete Lösungsansätze

### 1. Effizientere Antriebe und alternative Antriebsstoffe

Rostfreie Stahlgüten, wie beispielsweise 1.4435 oder 1.4636, weisen auch bei Drücken von über 100 bar Duktilitäten auf, welche den Sicherheitsanforderungen bei Speicherung von Wasserstoff gerecht werden. Für Wasserstoffventile oder Wasserstoffeinspritzer kommen vor allem rostfreie, hochfeste austenitische Güten wie XM-19 (1.3964 Mod oder 1.4681) respektive Magnadur 601 in Frage. Spezialstahlhersteller wie die Swiss Steel Group sind dabei führend in der Entwicklung austenitischer Güten, die gegen Wasserstoffversprödung resistent sind.

### 2. Leichtbau

Hersteller forschen derzeit daran, bereits im Sektor bewährte Stähle mittels WAAM<sup>3</sup> auf massive Bauteile der gleichen Güte aufzutragen. Dies ermöglicht das schichtweise Auftragen und so eine Herstellung komplexer, leichter Strukturen an der Oberfläche des Bauteils und somit Gewichtseinsparungen oder eine Verringerung des Herstellungsaufwandes.

### 3. Recyclebarkeit und Vermeidung umweltschädlicher Materialien

Als Alternative für zu den hochfesten Vergütungsstählen, die eine Cadmium- oder ZnNi-Beschichtung für das korrosive Umfeld in der Luftfahrt benötigen, könnte in Zukunft eventuell ein hochfester, rostfreier Maraging<sup>4</sup>-Stahl mit vergleichbaren Werkstoffeigenschaften dienen. Dieser hätte den Vorteil, dass aufgrund der Legierungslage keine Beschichtung benötigt wird, womit dieser vollständig recyclingfähig wäre und geringe Lebenszykluskosten aufwiese. Bis es soweit kommt, muss weiter daran geforscht werden, Stähle dieser Art von Laboranlagen in großindustrielle Produktionsprozesse zu überführen. Dabei stellen sich große Herausforderungen hinsichtlich geeigneter großindustrieller Umschmelzprozesse und Wärmebehandlungen, die die Eigenschaften des Stahls entscheidend beeinflussen.

<sup>3</sup> Wire Arc Additive Manufacturing

<sup>4</sup> Martensite + Aging: martensitaushärtbar



## Luftfahrt

Der Einsatz dieser Art Stähle und die Vermeidung von speziellen Beschichtungen trägt somit erheblich zu einer erhöhten Nachhaltigkeit durch Recycling im Luftfahrtsektor bei, der bisher überwiegend auf nicht recyclebares Material wie Faserverbundwerkstoffe setzt.

### 4. Zuwachs an Luftverkehr und Flugzeugbau

Um die Stahlherstellung vom Erschmelzen, über Gießen, Umformen und Wärmebehandeln, skalierbar und profitabel zu halten, bedarf es einer lückenlosen Prozessüberwachung und -kontrolle. Bei Anwendungen in der Luftfahrt sind die Ansprüche hinsichtlich Eigenschaften, Nachweisbarkeit und Rückverfolgbarkeit so hoch, dass ein eigener Qualitätsmanagement- und Akkreditierungsstandard für die Luftfahrt entwickelt wurde, genannt NADCAP<sup>5</sup>. Mit einer NADCAP-Zertifizierung zeigt ein Stahlhersteller, dass seine Hochspezialprozesse robust und wiederholt die benötigte Qualität liefern können. Beispielsweise sei hier der sensible Prozess der Wärmebehandlung, der die Eigenschaften des Stahls feinkalibriert und entscheidend ist für den Einsatz in der Luftfahrt.

Dabei besteht für Stahlhersteller ein nicht zu unterschätzendes Dilemma:

1. Auf der einen Seite Schritt zu halten mit der wachsenden Nachfrage vom Luftfahrtsektor nach Produktionskapazitäten, für Stähle wie beispielsweise 300M, die viel Einsatz im Fahrwerk finden.
2. Auf der anderen Seite enorm herausfordernden Akkreditierungsprozessen, wie NADCAP, gerecht zu werden.
3. Parallel mit OEMs und Tier-1 Zulieferern an Prozess- sowie Produktqualifizierungsprogrammen zu arbeiten.

## Luftfahrt

Um dies zu meistern, bedarf es einer funktionsübergreifenden, effizienten Organisation.

- Darüber hinaus wirkt sich der Umfang der OEM- und Tier-1-Auftragsbücher von über 9 Jahren auf die Länge der einzurichtenden Handelsverträge sowie auf den Umfang der Auftragsvergabe durch die Kunden aus.
- Der Aufbau dieser langfristigen Verträge und Partnerschaften erfordert den Aufbau eines enormen Vertrauensverhältnisses zwischen Stahlherstellern und ihren Kunden, das auf technischem Know-how, strenger Überwachung und Rückverfolgbarkeit gemäß den Anforderungen der Kunden und Qualitätsnormen beruht.
- Um dies zu gewährleisten setzen Stahlhersteller darüber hinaus zunehmend Tools ein um Gefügeeigenschaften besser zu simulieren und vorhersagen zu können.
- Werkstoffprüfungen zu digitalisieren/- automatisieren. Die Kombination von Qualität, Verlässlichkeit, Profitabilität und Schnelligkeit ist dabei letztendlich entscheidend, um bei Geschäftspartnern das Vertrauen aufzubauen, um die langjährigen und teuren gemeinsamen Forschungs- und Entwicklungsprozesse einzugehen.

## Luftfahrt

---

### Rolle der Swiss Steel Group

Swiss Steel Group liefert hochwertige Stähle, die den anspruchsvollen Anforderungen der Luftfahrtindustrie gerecht werden, sei es im Bereich der Stellmechaniken in Tragflächen, Fahrwerken oder Triebwerken.

Die Zukunft des Stahls in der Luftfahrtindustrie ist geprägt von Innovationen, Anpassungsfähigkeit und Nachhaltigkeit. Unternehmen wie die Swiss Steel Group spielen eine entscheidende Rolle in der Bereitstellung von hochwertigen Stählen, die den zukünftigen Anforderungen gerecht werden. Diese erfordern eine umfassende Überwachung der Lieferanten. So fordern Kunden im Bereich Luft- und Raumfahrt u.a. eine Zertifizierung nach AS 9100, AS 9120 und NADCAP. Gemeinsam können Ugitech und Deutsche Edelstahlwerke, beides Unternehmen der Swiss Steel Group, folgende Zertifizierungen nachweisen:

- ISO 9001 (Qualitätsmanagementsystem)
- ISO 14001 (Umweltmanagementsystem)
- ISO 50001 (Energiemanagementsystem)
- AS 9100 (Luftfahrthersteller)
- AS 9120 (Lagerhalter der Luftfahrt)
- NADCAP (Wärmebehandlung, Ultraschall)
- ISO 17025 (Prüflabor)

Lieferungen an die Luftfahrtindustrie erfordern oft auch zusätzliche, individuelle Kundenfreigaben und den Austausch mit hochqualifizierten Produktions- und Qualitätsteams. Diese bestehen häufig aus metallurgischen Experten und verstehen Stahlproduktionsprozesse bestens, manchmal haben sie sie sogar geprägt. Die Unternehmen der Swiss Steel Group sind dabei von verschiedenen Tier-1 Ausrüstern und Zulieferern zugelassen, weil sie nachweislich die Fähigkeit gezeigt haben, agil Prozessverbesserungen implementieren zu können und in engem Austausch mit den kundenseitigen Expertenteams stehen. Unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten gewährleistet Swiss Steel Group durch ein CDP-Rating von «B», dass die Anforderungen der Kundenseite auch bei diesem Aspekt erfüllt werden.

## Luftfahrt

---

### Fazit

Die Dekarbonisierung der Luftfahrtbranche steht ganz oben auf der Agenda, um die Klimaziele zu erreichen. Bis 2030 sollen EU-weit die CO<sub>2</sub>-Emissionen um mindestens 55 % und bis 2040 um mindestens 90 % gegenüber 1990 reduziert werden. Bis 2050 soll die Klimaneutralität erreicht sein.

Die Swiss Steel Group spielt eine wesentliche Rolle bei der Bereitstellung hochwertiger Stähle für nachhaltige Flugzeugkonstruktionen und trägt zur Entwicklung effizienterer Antriebe und umweltfreundlicherer Technologien bei. Die Zukunft der Luftfahrt hängt von innovativen und nachhaltigen Lösungen ab, und Swiss Steel Group ist ein wichtiger Akteur in dieser Entwicklung.

Swiss Steel Group mit Hauptsitz in Luzern (Schweiz) gehört zu den weltweit führenden Produzenten von Spezialstahl-Langprodukten. Dank des ausschliesslichen Einsatzes von Stahlschrott in Elektrolichtbogenöfen zählt die Gruppe zu den europaweit relevantesten Unternehmen in der Kreislaufwirtschaft und ist im Bereich nachhaltig produziertem Stahl – Green Steel – unter den Marktführern. Swiss Steel Group verfügt über eigene Produktions- und Distributionsgesellschaften in über 25 Ländern und bietet über ihre starke Präsenz vor Ort eine breite Palette individueller Lösungen in den Bereichen Edelbaustahl, rostfreiem Stahl und Werkzeugstahl an. Swiss Steel Group ist an der SIX Swiss Exchange kotiert, erwirtschaftete einen Umsatz von rund EUR 3.2 Mrd. im Jahr 2023 und verfügt über eine Belegschaft von rund 8 800 Mitarbeitenden.

[www.swisssteel-group.com](http://www.swisssteel-group.com)

