



Dr. Andreas Klöckner, Koordinator der DLR-Forschung zum elektrischen Fliegen

## REVOLUTIONIERT DER ELEKTROANTRIEB DIE LUFTFAHRT?

**D**ie Vision vom sicheren, effizienten, leisen und klimaverträglichen Luftverkehr der Zukunft steht im Zentrum der DLR-Luftfahrtforschung. Für Andreas Klöckner ist der elektrische Antrieb ein wichtiger Teil davon. Das überrascht nicht, wenn man weiß, dass der promovierte Luftfahrtingenieur im DLR das Forschungsthema elektrisches Fliegen koordiniert. Hybrid-elektrische Verkehrsflugzeuge haben das Potenzial, die Mobilität zu revolutionieren – und diese Zukunft ist bereits zum Greifen nah. Vor welchen Forschungsaufgaben die Wissenschaftler des DLR heute noch stehen und welche Innovationsziele erreicht werden müssen, bevor die E-Mobilität abhebt, erklärt Andreas Klöckner in diesem Magazin-Beitrag.

Ein Interview mit Dr. Andreas Klöckner zum elektrischen Fliegen

### Elektroautos gehören mancherorts bereits heute zum Stadtbild. Wann erobert die Elektromobilität auch die Luft?

Die Entwicklung hin zu zunehmend elektrifizierten Flugzeugen ist richtig und wichtig, denn die Luftfahrt steht vor großen Herausforderungen. Der elektrische Antrieb kann darauf eine Antwort sein. Bereits jetzt macht man den Luftverkehr für etwa fünf Prozent der globalen Klimawirkung verantwortlich. Aber der Bedarf an Mobilität in der Luft steigt stetig weiter. Der internationale Verband der Fluggesellschaften IATA geht von einer Verdoppelung des Luftverkehrs etwa alle 20 Jahre aus. Wenn wir die Vorgaben der Europäischen Kommission erreichen wollen, das heißt, wenn wir bis zum Jahr 2050 den Ausstoß von Kohlendioxid um 75 Prozent reduzieren wollen, dann müssen wir jetzt anfangen, über radikale Änderungen unseres Lufttransportsystems nachzudenken.

### Steht die Luftfahrt also vor einer elementaren Wende?

Ja. Der elektrische Antrieb ist eine radikale Änderung. Stellen Sie sich vor, wir nutzen für den Antrieb des Propellers oder des Fans einen Elektromotor statt der bisher üblichen Gasturbine. Diese zunächst einfache Änderung zieht einen ganzen Rattenschwanz von Anpassungen nach sich. Zum einen müssen wir die elektrische Energie irgendwie bereitstellen. Das können wir idealerweise mit Batterien oder Brennstoffzellen tun. Oder wir nutzen einen Elektrogenerator auf einer Wellenleistungsturbine. Wahrscheinlich brauchen wir aber eine hybride Lösung mit mehreren Energiequellen, die beispielsweise unterschiedliche Flugphasen abdecken. Ähnliche Überlegungen müssen wir für die Verteilung der Leistung im Flugzeug anstellen. Hier stehen die technischen Grenzen der Spannungsniveaus und Stromstärken im Fokus, zum Beispiel Verlustwärme und Überschlänge. Deshalb müssen wir auch supraleitende Lösungen mitdenken. Und letztlich muss die Leistung in Vortrieb umgewandelt werden. Neben den üblichen Flugzeugkonfigurationen werden durch den elektrischen Antrieb auch Konfigurationen mit verteilten Antrieben, Grenzschichtabsaugung oder senkrechtstartende Luft-Taxis möglich.

### Elektrisch zu fliegen ist also nicht mehr nur eine Vision?

Seit einigen Jahren besteht zunehmendes Interesse an dem Thema. Dies schlägt sich in steigenden Forschungsinvestitionen nieder. Beispielsweise ziehen Airbus und Siemens dafür 200 Mitarbeiter an ihrem neuen Standort Ottobrunn zusammen. Das Luftfahrtforschungsprogramm des Bundes widmet eine von sechs Programmlinien explizit dem elektrischen Fliegen und auch die EU fördert millionenschwere Projekte zum elektrischen Fliegen. Diese Investitionen sind auch notwendig. Denn falls sich elektrisches Fliegen durchsetzt, dann hat das immense Auswirkungen auf die Zulieferpyramide der Luftfahrtindustrie. Die beiden Bestandteile des Flugzeugs, also die Zelle und das Triebwerk, werden nicht mehr im heutigen Maße separat zu betrachten sein. Damit werden sich die Antriebshersteller auf Augenhöhe mit den Flugzeugherstellern bewegen. Manche Experten sprechen bereits davon, dass die Zelle um den Antrieb herum gebaut werden wird.

### Welche Motivationen stecken hinter den zunehmenden Forschungsaktivitäten um elektrisches Fliegen und den großen Investitionen der Flugzeughersteller?

Elektrisches Fliegen verspricht im Wesentlichen drei Vorteile: Als Erstes ist rein elektrisches Fliegen „lokal emissionsfrei“. Das bedeutet: kein Schadstoffausstoß vom Flugzeug. Auch die Lärmbelastung, sowohl am Flughafen als auch in der Kabine, könnte signifikant gemindert werden. Als Zweites ist zu erwarten, dass die elektrischen Systeme dank der geringeren Anzahl beweglicher Teile auch weniger Kosten in Herstellung und Wartung verursachen werden. Allerdings stehen wir in punkto Massenherstellung, Alterung und Wartung zentraler Komponenten wie Batterien noch vor großen Herausforderungen. Und der dritte Vorteil: Elektrische Antriebe ermöglichen komplett neue Flugzeugkonfigurationen, die den Treibstoffverbrauch und damit die Emissionen weiter reduzieren dürften. In Summe rücken mit dem elektrischen Fliegen völlig neue Transportleistungen in den Bereich des Möglichen: Mit einem leisen, sauberen, kostengünstigen

Verkehrsmittel wären zum Beispiel fliegende Zubringerdienste direkt aus dem Stadtzentrum zum nächstgrößeren Flughafen durchaus denkbar. Ein Szenario, dem sich eine ganze Reihe von Start-ups bereits heute verschrieben hat ...

### Ein erfolgreiches Zusammenspiel all dieser Komponenten würde also ganz neue Mobilitätskonzepte ermöglichen. Wie werden E-Flieger das Bild der Luftfahrt verändern?

Elektrische Kleinflugzeuge für den Hobbybereich gibt es ja bereits. Auch bei Segelflugzeugen sind elektrische Hilfsmotoren schon seit Jahren verbreitet. Ausgehend vom Bereich der „Allgemeinen Luftfahrt“ werden elektrische Flugzeuge weitere Nischen erobern. Vielleicht werden in einigen Jahren tatsächlich die ersten elektrischen Luft-Taxis gut situierte Kunden durch Megacitys wie São Paulo oder Mexiko Stadt transportieren; das setzt aber auch eine veränderte Luftraumstruktur in Städten voraus. Mit der Zeit werden elektrische Antriebe sowohl einen größeren Kundenstamm als auch größere, kommerzielle Flugzeuge erreichen. Die größten Veränderungen dürften sich zunächst regional und national abspielen: Ich denke dabei an Zubringerdienste, die sich an kleineren Flughäfen etablieren, oder an ein weiter in die Fläche gehendes Lufttransportnetz. Das wäre insbesondere für viel reisende Geschäftsleute vorteilhaft. Bis wir – dann mit Hybrid-Antrieb – elektrisch über den Ozean fliegen, wird es allerdings noch eine Weile dauern.

### Norwegen plant bis 2040 den Umstieg auf Elektroflugzeuge. Wie schätzen Sie die Erreichbarkeit dieses Ziels ein?

Das ist ambitioniert, aber für Kurzstreckenflugzeuge durchaus realistisch. Heute schaffen wir es bereits, zwei bis vier Personen über mehrere hundert Kilometer elektrisch zu transportieren. Mit unserer Brennstoffzellenforschung denken wir an Reichweiten bis zu 1.500 Kilometer. Damit ließe sich Norwegen schon fast ganz überfliegen. Die meisten Strecken dort sind aber deutlich kürzer, häufig um die 500 Kilometer. Die Herausforderung liegt in der Skalierung auf

Ansicht eines vom DLR geplanten nationalen Erprobungsträgers für elektrisches Fliegen. Mit ihm sollen Flüge eines elektrifizierten Passagierflugzeugs für den kommerziellen Luftverkehr durchgeführt werden.





nötigen Tiefe und bis hin zur Demonstration zu verfolgen. Und auch international gibt es nur eine Handvoll vergleichbarer Einrichtungen. Dazu kooperieren wir mit einem wissenschaftlich hervorragenden universitären Umfeld und mit innovationsbereiten Industrieunternehmen. Man merkt dabei auch, dass die Grenzen zwischen der traditionellen Luftfahrt und anderen Industriebereichen zusehends verschwimmen. Beim elektrischen Fliegen ist es genauso wichtig, die Großen der Luftfahrt an Bord zu haben, wie auch die traditionell eher weniger luftfahrt-affinen Unternehmen aus der Elektrotechnik. Zusätzlich gibt es eine ständig wachsende Zahl von kleinen Unternehmen und Start-ups, die die nötige Agilität in das System bringen. Was wir jetzt als Nächstes brauchen, ist tatsächlich ein Forschungsflugzeug, an dem wir all die Technologien erproben können, die wir für das elektrische Fliegen benötigen, und das allen Beteiligten zugänglich ist. Das DLR sollte hier eine integrative Rolle spielen. Und dazu sind wir auch bereit.

**Wie sieht es denn mit den Zulassungsverfahren aus? Da sind doch sicher auch noch eine Menge Fragen zu klären ...**

■ Ja. Einige liegen auf der Hand. Beispielsweise: Wie gehen wir mit großen, brennbaren Batterien um? Andere sind eher im System begründet: Die aktuelle Zulassungsvorschrift beinhaltet schlichtweg keine anderen Antriebe als Kolbenmotoren und Turbinen. Derzeit gehen wir aber davon aus, dass wir früher oder später Elektromotoren im Flugzeug haben werden. Und die Zulassungsbehörden bereiten sich zusammen mit Forschung, Industrie und Normierungsstellen darauf vor. Es kommt uns hier zugute, dass die Luftfahrtzulassung aktuell noch vor weiteren Herausforderungen steht. Unbemannte Systeme könnten weit diffiziler in der Nachweisführung sein als elektrische Antriebe. Die europäische Luftfahrtbehörde EASA hat mit ihren Schwester-Organisationen auf der Welt dazu bereits wesentlich flexiblere Vorschriften erarbeitet: Wo zuvor einzelne Tests vorgeschrieben waren, sind mittlerweile nur noch die übergeordneten Kriterien zu erfüllen. Die Luftfahrtbehörden arbeiten dann für konkret akzeptable Nachweismethoden eng mit Standardisierungsorganisationen zusammen. Diese sind allerdings meist US-amerikanisch. Da könnten wir in Europa noch nachlegen. Das DLR wird jedenfalls, so sieht es ein kürzlich unterzeichnetes Rahmenabkommen mit der EASA vor, seine Expertise für all diese Herausforderungen in die Waagschale werfen.

**Herr Klöckner, wie würden Sie den Status zum elektrischen Fliegen in einem Satz zusammenfassen?**

■ Die Elektromobilität kommt in die Luft, es ist zwar noch Forschungsarbeit nötig, bis sie kommerziell Einzug erhält, doch im DLR hat die Wende in der Luftfahrt bereits begonnen.

Die Fragen stellte **Annabel Brückmann**, strategische Kommunikation Luftfahrt im DLR.



eine Passagierzahl von 50 bis 80, wie sie die heute üblichen Regionalflugzeuge aufweisen. Rein batterie-elektrisch werden wir das in der nächsten Zukunft vermutlich nicht schaffen. Der Grund ist das Gewicht. Batterien sind etwa sechszigmal schwerer als Kerosin mit demselben Energieinhalt. Aber mit hybriden Übergangslösungen könnten wir die Energiedichte von Kerosin oder Wasserstoff mit der Emissionsfreiheit von Batterien kombinieren. Natürlich sind dazu noch viele Fragen offen. Das reicht von der optimalen Konfiguration bis hin zu Infrastrukturen wie Ladeeinrichtungen; betrifft aber auch die regenerative Erzeugung der benötigten elektrischen Energie oder eben des Wasserstoffs. Im DLR befassen wir uns mit all diesen Fragestellungen.

**Der Bedarf nach individueller Mobilität ist im Straßenverkehr ein großer Treiber. Trifft das auch auf die Luftfahrt zu?**

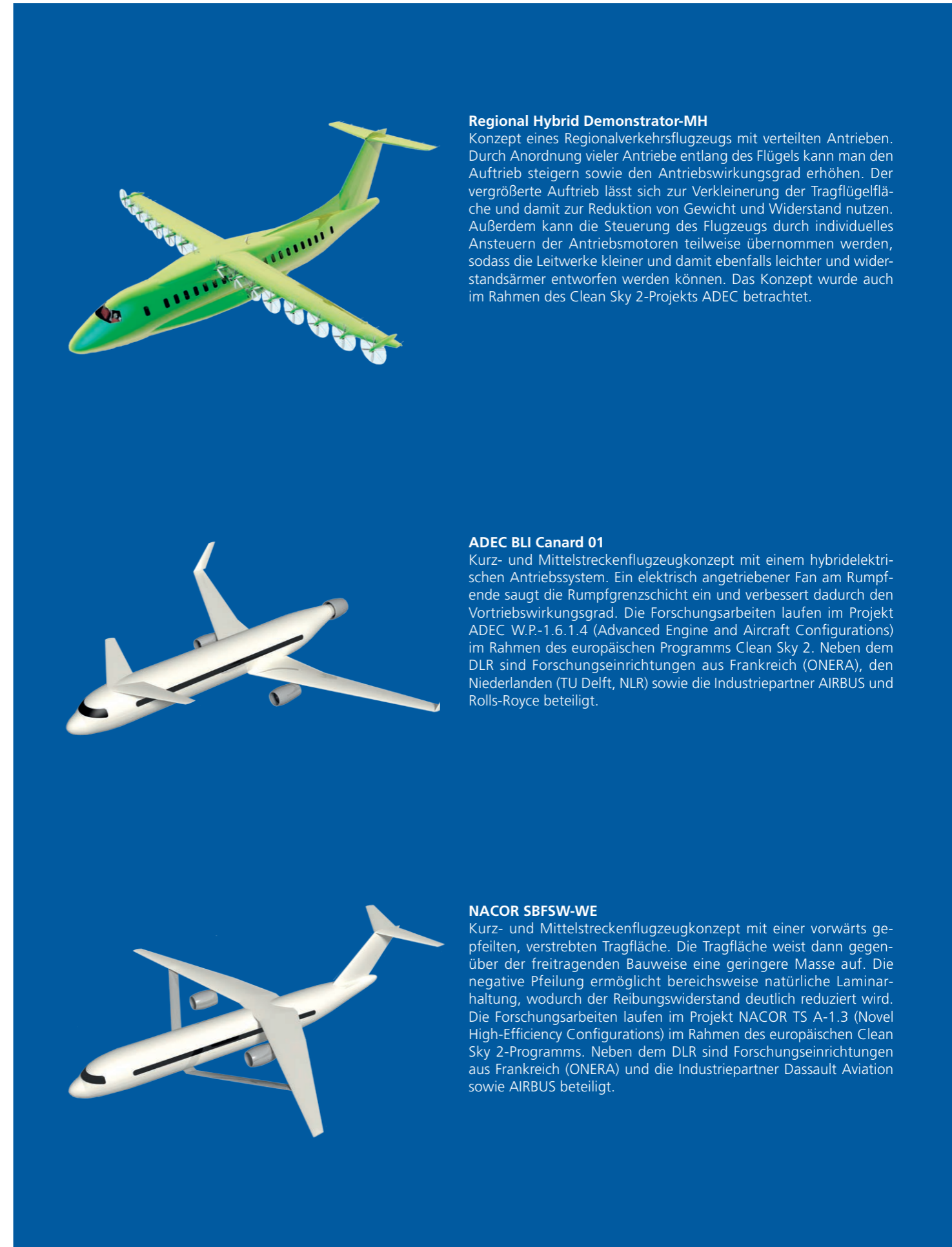
■ Eine Vielzahl von Start-ups und Forschungsgruppen widmet sich dem Traum der individuellen Luftfahrt. In wirklich großen Städten kann man sich ja auch heute schon einen Helikopter mieten. Für die Mehrheit der Bevölkerung ist das aber noch unerschwinglich. Das wird vermutlich zunächst auch so bleiben. Schon allein der Aufwand, mit heutigen Verfahren tausende individuelle Luft-Taxis im urbanen Raum zu koordinieren, verbietet eigentlich die umfassende Einführung solcher Lösungen. Allerdings wird im Bereich der automatischen, unbemannten Luftfahrzeuge auch intensiv geforscht. Beispielsweise arbeiten wir an einer umfassenden, automatischen und vor allem skalierbaren Lösung für das Luftverkehrsmanagement. Diese Lösungen werden sicher auch für den – zukünftig dann auch automatisierten – Individualverkehr in der Luft einsetzbar sein.

**Was sind Ihrer Ansicht nach die größten Hürden für das elektrische Fliegen?**

■ Da ist zum einen der Antrieb: Im DLR untersuchen wir unterschiedliche Antriebstechnologien von den Konzepten über Simulationen und Laboraufbauten bis hin zur Integration in neue Flugzeugkonfigurationen. Ein zweiter Punkt sind die Auswirkungen auf das Gesamtsystem Luftfahrt. Hier untersuchen wir die Folgen für die Reisenden, die Fluglinien, die Regulierungsbehörden, andere Luftverkehrsteilnehmer, die Flughäfen oder auch die Anwohner. Dabei haben wir immer auch Skalierungsaspekte im Blick, also: größere Flugzeuge, mehr Reisende, häufigere Flugbewegungen. Bei allem, was wir tun, ist es wichtig, die Grundlagen der Technologien zu verstehen sowie weiterzuentwickeln, zugleich aber auch vorausdenken und das große Ganze zu betrachten. Große Erfolge haben wir dabei bereits mit Technologiedemonstratoren wie der HY4, mit der wegweisende Brennstoffzellentechnologien im Flug erprobt werden. Im folgenden Schritt denken wir – und dabei sind wir nicht allein – an die nächstgrößere Klasse von Flugzeugen.

**Wie sind Deutschland und Europa für den Markteintritt von Elektroflugzeugen aufgestellt?**

■ In Europa und speziell in Deutschland sind wir hervorragend aufgestellt. Das DLR ist die einzige Großforschungseinrichtung in Europa, die in der Lage ist, alle Aspekte des elektrischen Fliegens in der



**Regional Hybrid Demonstrator-MH**

Konzept eines Regionalverkehrsflugzeugs mit verteilten Antrieben. Durch Anordnung vieler Antriebe entlang des Flügels kann man den Auftrieb steigern sowie den Antriebswirkungsgrad erhöhen. Der vergrößerte Auftrieb lässt sich zur Verkleinerung der Tragflügelfläche und damit zur Reduktion von Gewicht und Widerstand nutzen. Außerdem kann die Steuerung des Flugzeugs durch individuelles Ansteuern der Antriebsmotoren teilweise übernommen werden, sodass die Leitwerke kleiner und damit ebenfalls leichter und widerstandsärmer entworfen werden können. Das Konzept wurde auch im Rahmen des Clean Sky 2-Projekts ADEC betrachtet.

**ADEC BLI Canard 01**

Kurz- und Mittelstreckenflugzeugkonzept mit einem hybridelektrischen Antriebssystem. Ein elektrisch angetriebener Fan am Rumpfende saugt die Rumpfgrenzschicht ein und verbessert dadurch den Vortriebswirkungsgrad. Die Forschungsarbeiten laufen im Projekt ADEC W.P.-1.6.1.4 (Advanced Engine and Aircraft Configurations) im Rahmen des europäischen Programms Clean Sky 2. Neben dem DLR sind Forschungseinrichtungen aus Frankreich (ONERA), den Niederlanden (TU Delft, NLR) sowie die Industriepartner AIRBUS und Rolls-Royce beteiligt.

**NACOR SBFSW-WE**

Kurz- und Mittelstreckenflugzeugkonzept mit einer vorwärts gepfeilten, verstreuten Tragfläche. Die Tragfläche weist dann gegenüber der freitragenden Bauweise eine geringere Masse auf. Die negative Pfeilung ermöglicht bereichsweise natürliche Laminarhaltung, wodurch der Reibungswiderstand deutlich reduziert wird. Die Forschungsarbeiten laufen im Projekt NACOR TS A-1.3 (Novel High-Efficiency Configurations) im Rahmen des europäischen Clean Sky 2-Programms. Neben dem DLR sind Forschungseinrichtungen aus Frankreich (ONERA) und die Industriepartner Dassault Aviation sowie AIRBUS beteiligt.