

Globaler Wandel

am Beispiel der Luftfahrt

Klima, Ressourcen, Globalisierung und Demographie

Unterrichtsmaterial
für die Oberstufe am Gymnasium in Bayern

Geographie

Jürgen Patzke
Diplom-Geograph und Studienrat
Lehrer in der Wirtschaft 2012/13

München 2013

Ziel und Anspruch

Globaler Wandel: Klima, Ressourcen, Globalisierung und Demographie

Am bayerischen Gymnasium werden im Geographieunterricht der Oberstufe die Megatrends unserer Gegenwart und Zukunft behandelt. Sie verändern die Welt, in der wir leben – und stellen Unternehmen vor neue Herausforderungen. Am Beispiel der MTU Aero Engines lässt sich mit den vorliegenden Materialien erschließen, wie ein deutscher Hightech-Maschinenbauer die Zukunft mitgestaltet. Mit der Perspektive der Geographie, die als Zentrierungsfach wirtschaftliche, soziale und ökologische Aspekte vereint, gelingt dies besonders gut.

Unmittelbare Verwendbarkeit

Die Unterlagen sind als Konkretisierung der gängigen Lehrbuchdarstellungen gedacht und ergänzen sie. Das Material ist unmittelbar verwendbar, da es auf den gültigen bayerischen Gymnasiallehrplan abgestimmt ist und die Kompetenzorientierung des künftigen LehrplanPlus bereits beinhaltet. Die Aufgabenstellungen decken die drei Anforderungsbereiche (Beschreiben, Begründen, Bewerten) mit den einschlägigen Operatoren ab. Ein Lösungsheft für die Lehrkraft komplettiert die Unterlagen.

Das Material kann als Broschüre gelesen werden, wenn man die MTU Aero Engines im Überblick und im Zusammenhang kennenlernen will. Für den Unterricht empfiehlt sich die Erarbeitung von Lehrplanthemen (siehe Inhaltsverzeichnis), zu denen einzelne Kapitel heruntergeladen und im Sinne eines integrativen Unterrichts kombiniert werden können. Die Verwendung zur Abiturvorbereitung und als Grundlage für Referate, Projekte und Prüfungen bietet sich ebenfalls an.

Industrie zum Anfassen

Die Darstellung von Industrie, Wirtschaft und Technik als Themen im Geographieunterricht muss die Metaebene überwinden. Hier werden bewusst industrielle Prozesse und Produkte der MTU Aero Engines mit konkreten Beispielen dargestellt, um die räumlichen Implikationen richtig verstehen zu können. So erschließt sich mit einem leicht verständlichen Basiswissen über die Funktionsweise eines Triebwerks (Abschnitt 2.1) eine Welt voller interessanter, geographisch bedeutsamer Inhalte. Dadurch ergeben sich auch Brücken zum fächerübergreifenden Arbeiten, insbesondere mit den Naturwissenschaften Physik, Chemie und Mathematik.

Beitrag zur Studienorientierung

Im Sinne der Berufs- und Studienorientierung kommen Fachleute zu Wort, für deren Tätigkeitsfelder die in der Geographie vermittelten Kenntnisse und Kompetenzen wichtig sind. Bei der MTU Aero Engines sind dies Ingenieure verschiedener Fachrichtungen, Marktstrategen, Einkäufer, Chemiker und Personaler. So ist das Unterrichtsmaterial auch eine Einladung, Einstiegsmöglichkeiten in der Industrie kennenzulernen. Schüler und Lehrer sind willkommen, sich zu informieren und über Soziale Medien mit der Personalentwicklung der MTU Aero Engines Kontakt aufzunehmen. Vielleicht ist sogar ein Werksbesuch oder der Besuch eines MTU-Mitarbeiters an der Schule möglich.

Zukunftsbranche Luftfahrt

Das Thema Luftfahrt bewegt alle: Im Jahr 2013 gibt es rund 37.000 Flugzeuge vom Business- bis zum Großraumjet. In jedem Augenblick sind weltweit etwa 4 Mio. Menschen in Flugzeugen unterwegs. Jährlich gibt es 2,5 Milliarden Flugpassagiere, die Tendenz ist steigend. Nutzen Sie die Faszination der Luftfahrt, um an ihrem Beispiel den globalen Wandel im Geographieunterricht begreifbar zu machen!

Inhalt – Kapitel der Broschüre

Lehrplanbezug		Seiten
1 Global Player aus Deutschland – Beispiel MTU Aero Engines		
	12.1.3: Globalisierung von Produktion und Absatz, Chancen und Risiken der internationalen Arbeitsteilung	5
2 Atmosphäre und Luftfahrt		7
2.1 Funktionsweise eines Flugzeugtriebwerks	(Grundlage zum Verständnis der Triebwerkstechnik)	7
2.2 Einfluss von Temperatur und Luftdruck	11.1 Aufbau und Zusammensetzung der Atmosphäre, Dynamik des Wettergeschehens, Wärmehaushalt der Erde	8
2.3 Einfluss von Vulkanasche	11.4 Vulkanismus: endogene Ursachen, Regionen mit hohem Gefährdungspotenzial, präventives Verhalten	11
2.4 Einfluss von Flugsand	11.1 Klima- und Vegetationszonen 11.2.1 Desertifikation	13
3 Wasser- und Energieeinsatz am Hauptsitz der MTU Aero Engines in München		15
3.1 Bedingungen am Standort	12.1.2 Verstädterung: Suburbanisierung	15
3.2 Produktionsfaktor Wasser	11.3.1 Wassergewinnung, Wasserkreisläufe, Produktionsfaktor, Nutzungskonflikte	17
3.3 Produktionsfaktor Energie und CO ₂ -Emissionen	11.1 Kohlenstoffkreislauf 11.3.2 Nutzung fossiler Energieträger, Substitution von Rohstoffen 11.3.1 Eingriffe in den natürlichen Wasserhaushalt	19
4 Mineralische Rohstoffe – Beispiel Triebwerkskonstruktion		
	11.3.2 Verbreitung, Verfügbarkeit und Nutzung mineralischer Bodenschätze, geopolitische Aspekte globaler Rohstoffströme, Recycling 11.2.1 Ökologischer Wirkungszusammenhang in den immerfeuchten Tropen 11.2.2 Ökologischer Wirkungszusammenhang in der subpolaren Zone, Folgen der Ressourcennutzung	20
5 Energieeinsatz im Luftverkehr		
	11.3.2 Nutzung und ökologische Risiken fossiler Energieträger, Substitution von Rohstoffen	23
6 Wirtschaftsdynamik in Wirtschaftsräumen - Flughafenregion München		
	12.2 Entwicklungen in städtischen Räumen, Wirtschaftsdynamik in Wachstumsräumen	27
7 Standortentscheidungen in der globalisierten Welt		30
7.1 Blisk-Produktion bei der MTU Aero Engines in München	12.1.3 Wandel von Unternehmensstruktur und -organisation im sekundären und tertiären Sektor, wirtschaftliche Rückwirkungen auf den Standort Deutschland, Chancen und Risiken der internationalen Arbeitsteilung, Zielsetzungen bedeutender Wirtschaftsblöcke	30
7.2 Produktionsstrategie		32
7.3 Aufbau des Standorts MTU Aero Engines Polska		33
8 Megatrends als Treiber der Luftfahrt		
	11.3.2 Substitution von Rohstoffen 12.1.2 Demographischer Übergang und Altersaufbau, Verstädterung, Megastädte 12.1.3 Länder unterschiedlichen Entwicklungsstands im Prozess der Globalisierung, Grundlagen des Wachstums des Ferntourismus, Stellung der Industrie- und Entwicklungsländer im Rahmen internationaler Ströme	36
9 Demographischer Wandel		
	12.1.2 Modell des demographischen Übergangs, Altersaufbau, Bevölkerungspolitik, Bevölkerungsmobilität	38

Inhalt – Kapitel nach Lehrplanbezug

	Kapitel	Seiten
11.1 Der blaue Planet und seine Geozonen		
(Grundlage zum Verständnis der Triebwerkstechnik)	2.1 Funktionsweise eines Flugzeugtriebwerks	7
11.1 Aufbau und Zusammensetzung der Atmosphäre, Wärmehaushalt der Erde	2.2 Einfluss von Temperatur und Luftdruck (Triebwerk)	8-10
11.1 Klima- und Vegetationszonen	2.4 Einfluss von Flugsand (Triebwerk)	13-14
11.1 Kohlenstoffkreislauf	3.3 Produktionsfaktor Energie und CO ₂ -Emissionen	19
11.2 Ökosysteme und anthropogene Eingriffe		
11.2.1 Desertifikation	2.4 Einfluss von Flugsand (Triebwerk)	13-14
11.2.1 Ökologischer Wirkungszusammenhang in den Tropen	4 Mineralische Rohstoffe – Beispiel Triebwerkskonstruktion	20-22
11.2.2 Ökologischer Wirkungszusammenhang in der subpolaren Zone, Folgen der Ressourcennutzung		
11.3 Ressourcen – Nutzung, Gefährdung und Schutz		
11.3.1 Wassergewinnung, Wasserkreisläufe, Produktionsfaktor	3.2 Produktionsfaktor Wasser	17-18
11.3.1 Eingriffe in den natürlichen Wasserhaushalt	3.3 Produktionsfaktor Energie und CO ₂ -Emissionen	19
11.3.2 Nutzung fossiler Energieträger, Substitution von Rohstoffen	3.3 Produktionsfaktor Energie und CO ₂ -Emissionen	19
11.3.2 Verbreitung, Verfügbarkeit und Nutzung mineralischer Bodenschätze, geopolitische Aspekte globaler Rohstoffströme, Recycling	4 Mineralische Rohstoffe – Beispiel Triebwerkskonstruktion	20-22
11.3.2 Nutzung und ökologische Risiken fossiler Energieträger, Substitution von Rohstoffen	5 Energieeinsatz im Luftverkehr	23-26
11.3.2 Substitution von Rohstoffen	8 Megatrends als Treiber der Luftfahrt	36-37
11.4 Umweltrisiken und menschliches Verhalten		
11.4 Vulkanismus: endogene Ursachen, Regionen mit hohem Gefährdungspotenzial, präventives Verhalten	2.3 Einfluss von Vulkanasche (Triebwerk)	11-14
12.1 Eine Welt – Strukturen, Entwicklungswege, Verflechtungen, Globalisierung		
12.1.2 Modell des demographischen Übergangs, Altersaufbau, Bevölkerungspolitik, Bevölkerungsmobilität	9 Demographischer Wandel	38
12.1.2 Demographischer Übergang und Altersaufbau, Verstädterung, Megastädte	8 Megatrends als Treiber der Luftfahrt	36-37
12.1.2 Verstädterung: Suburbanisierung	3.1 Bedingungen am Standort	15-16
12.1.3 Globalisierung von Produktion und Absatz, Chancen und Risiken der internationalen Arbeitsteilung	1 Global Player aus Deutschland – Beispiel MTU Aero Engines	5-6
12.1.3 Wandel von Unternehmensstruktur und -organisation im sekundären und tertiären Sektor, wirtschaftliche Rückwirkungen auf den Standort Deutschland, Chancen und Risiken der internationalen Arbeitsteilung	7.1 Blisk-Produktion bei der MTU Aero Engines in München	30-31
	7.2 Produktionsstrategie	32
	7.3 Aufbau des Standorts MTU Aero Engines Polska	33-35
12.1.3 Länder unterschiedlichen Entwicklungsstands im Prozess der Globalisierung, Stellung der Industrie- und Entwicklungsländer im Rahmen internationaler Ströme	8 Megatrends als Treiber der Luftfahrt	36-37
12.2 Raumstrukturen und aktuelle Entwicklungsprozesse in Deutschland		
12.2 Entwicklungen in städtischen Räumen, Wirtschaftsdynamik in Wachstumsräumen	6 Wirtschaftsdynamik in Wirtschaftsräumen - Flughafenregion München	27-29

1 Global Player aus Deutschland – Beispiel MTU Aero Engines

Die MTU Aero Engines ist entlang der Entwicklungslinien des 20. und des beginnenden 21. Jahrhunderts zum führenden deutschen Triebwerkshersteller geworden. Am Standort Ludwigsfeld im Münchner Nordwesten wurde 1934 die BMW Flugmotoren GmbH gegründet. Deren direkte Rechtsnachfolgerin ist die Motoren- und Turbinen-Union (MTU), die ab 1969 die vormaligen Triebwerkssparten von BMW, MAN und Daimler-Benz bündelte. Das Geschäft war bis Mitte der 1990er Jahre noch zu 80 % militärisch. Im Zuge der verstärkten Globalisierung wurde der Schwerpunkt auf die Entwicklung, Produktion und Instandhaltung ziviler Triebwerke verlegt, was 2013 einen Anteil von 84 % am Umsatz ausmacht (M1).

Die MTU hat das Ziel, mit einer stabilen EBIT-Marge (Earnings before Interest and Taxes, dt. Gewinn vor Zinsen und Steuern) zu wachsen und 2020 die Umsatzmarke von sechs Milliarden Euro zu erreichen. Dabei nutzt das Unternehmen seine unabhängige Position in der globalen Triebwerksindustrie (M2).

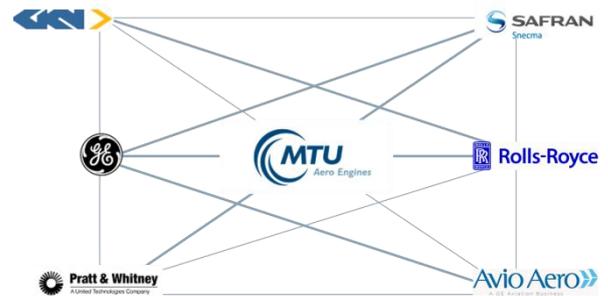
OEM-Geschäft

OEM heißt „Original Equipment Manufacturer“. Darunter versteht man in der Triebwerksindustrie Hersteller, die ihre Produkte unter eigenem Namen in den Handel bringen. Die großen OEMs sind Pratt&Whitney, General Electric und Rolls-Royce. In der Branche ist jeder Hersteller auf seine Kernkompetenzen spezialisiert und steuert diese, abhängig von den eigenen Möglichkeiten, in sogenannten Programmen bei, in denen neue Triebwerksfamilien entwickelt werden. Somit entstehen wechselnde Allianzen. Die MTU ist z. B. beim PW1000G-Programm Partner von Pratt&Whitney und bringt ihre Technologieführerschaft im Bereich Niederdruckturbinen, Hochdruckverdichter und Hightech-Fertigungsverfahren ein. Dadurch ist das derzeit umweltfreundlichste Triebwerk am Markt entstanden. Bei Programmen der anderen OEMs ist die MTU ebenfalls beteiligt.

Die direkten Kunden der Triebwerksindustrie sind die Flugzeughersteller. Für moderne Verkehrsflugzeuge werden in der Regel Triebwerke aus mindestens zwei Programmen angeboten, die pro Stück einen Listenpreis von durchschnittlich 10 Millionen US-Dollar haben. So kann die Fluggesellschaft beim neuen Airbus A320neo zwischen dem PW1000G und einem Konkurrenzprodukt wählen. Gleichzeitig haben sich auch die Flugzeughersteller Bombardier, Embraer und UAC dafür entschieden, den Airlines ihre Jets mit Triebwerken der PW1000G-Familie anzubieten. Letztlich muss der Triebwerkshersteller also die Interessen der Airlines bedienen und ein möglichst zuverlässiges, sparsames und leises Produkt anbieten, zumal die beiden Triebwerke etwa ein Drittel des Gesamtpreises eines Flugzeugs ausmachen.

Geschäftsjahr 2012	Umsatz	EBIT bereinigt
OEM-Geschäft: zivile und militärische Triebwerke	2.106	265
MRO-Geschäft: zivile Instandhaltung	1.306	112

M1: Finanzkennzahlen in Millionen Euro (Quelle: MTU Aero Engines)



M2: Struktur der internationalen Triebwerksindustrie (Quelle: MTU Aero Engines)

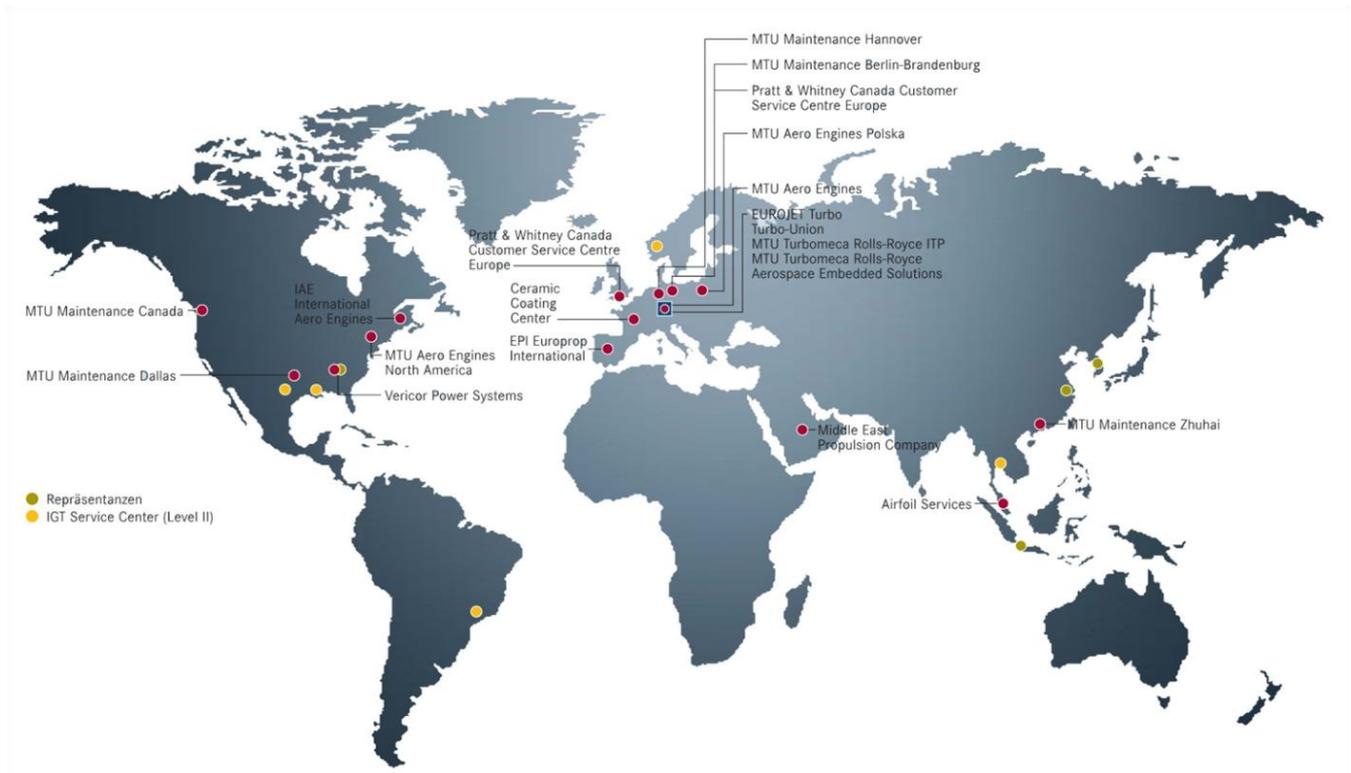
MRO-Geschäft

MRO steht für „Maintenance, Repair and Overhaul“, also für das Instandhaltungsgeschäft. Die Entwicklung eines modernen Großtriebwerks dauert durchschnittlich fünf Jahre und kostet circa 1 Milliarde US-Dollar. Über die Verkäufe kommt der Hersteller erst nach etwa 15 Jahren in die Gewinnzone. Um bereits früher und über den gesamten Lebenszyklus eines Triebwerks ihre technologische Kompetenz inwertzusetzen, hat sich die MTU als weltweit größter unabhängiger MRO-Dienstleister positioniert. Die große Inspektion eines V2500-Triebwerks, welches seit den 1990er Jahren den Standardantrieb der A320-Familie darstellt, kostet die Fluggesellschaft etwa 1,5 Millionen US-Dollar und dauert ungefähr zwei Monate.

Zum MRO-Geschäft gehört auch die Instandhaltung von Industriegasturbinen (IGT), welche von Flugzeugtriebwerken abgeleitet sind. Sie werden z. B. zur Energieerzeugung in Kraftwerken und zum Antrieb von Luftkissenfahrzeugen genutzt. Der bei Weitem wichtigste Markt ist aber die Energieversorgung von Erdöl- und Erdgasplattformen.

- Teilnehmer am globalen Wettbewerb
- Vormachtstellung in seiner Branche (Technologie-, Qualitäts-, Innovationsführerschaft)
- Einflussnahme auf Politik und Marktmechanismen
- Weltweite Niederlassungen
- Finanzkraft vergleichbar mit kleineren Staaten

M3: Merkmale eines „Global Players“



M4: Standorte der MTU Aero Engines und Maintenance, Joint Ventures, Repräsentanzen, IGT-Servicecenter und Beteiligungen (Quelle: MTU Aero Engines)

AUFGABEN

A1: Beurteilen Sie, ob die MTU Aero Engines ein „Global Player“ (M3, Lehrbuchdarstellungen) ist!

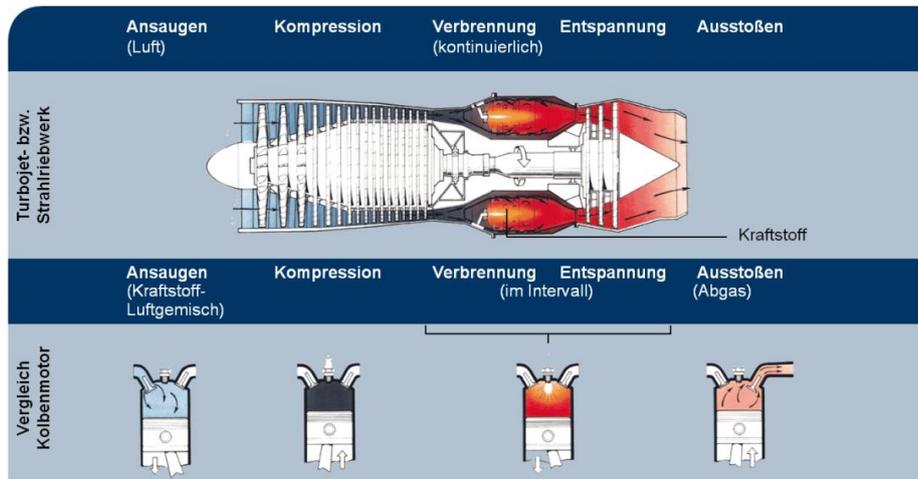
A2: Erläutern Sie, inwiefern das zivile Triebwerksgeschäft globalisiert ist! Recherchieren Sie dazu auch die Hauptsitze der genannten Triebwerkshersteller, Flugzeughersteller und der weiteren Anbieter Boeing, MRJ und Cessna!

A3: Triebwerke werden über weite Strecken zu den MRO-Standorten transportiert, z. B. vom Stützpunkt der Airline am Persischen Golf zur MTU Maintenance nach Hannover. Der Transport allein kann über 10.000 US-Dollar kosten. Beurteilen Sie diese weiten Transporte in wirtschaftlicher und ökologischer Hinsicht!

A4: Begründen Sie mit Hilfe geeigneter Atlaskarten ausführlich die Standortwahl bei den IGT-Servicecentern (M4)!

2 Atmosphäre und Luftfahrt

2.1 Funktionsweise eines Flugzeugtriebwerks

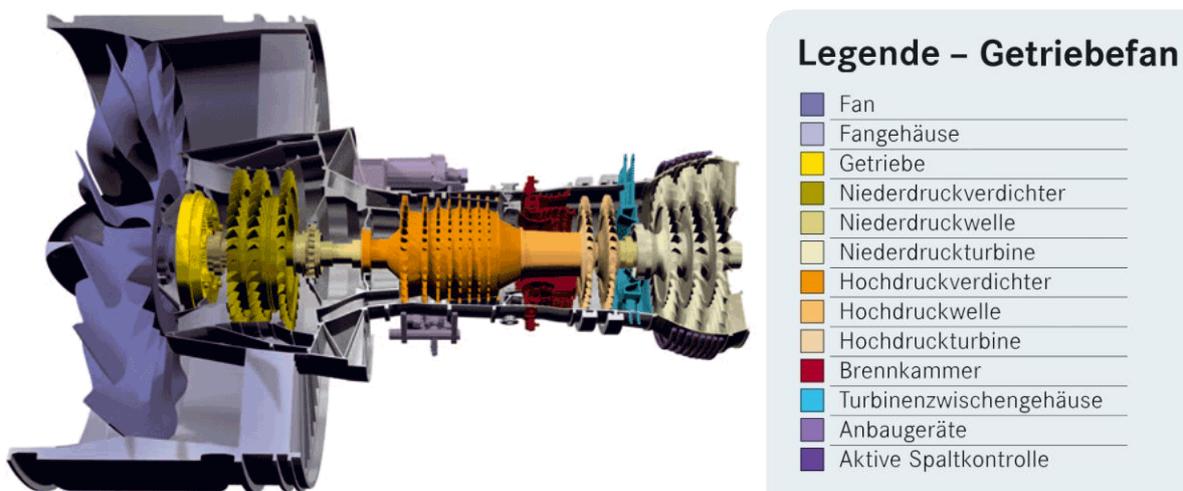


M1: Schnitt und Funktionsweise eines Turbojet-Triebwerks (Quelle: MTU Aero Engines)

Ein Turbojet- bzw. Strahltriebwerk funktioniert nach einem einfachen Prinzip (M1).

Die Luft wird vom Nieder- und Hochdruck-Verdichter angesaugt und komprimiert, sie erhitzt sich dabei und wird schließlich in die Brennkammer geleitet. Durch das Einspritzen von Kerosin entsteht ein Kraftstoff-Luft-Gemisch, das kontinuierlich verbrennt. Die Erhitzung führt zu einer starken Ausdehnung des Gases. Es schießt mit hoher Energie durch die Hoch- und Niederdruck-Turbine und versetzt diese durch das Vorbeiströmen an den Turbinenschaufeln in eine Drehbewegung. Über eine Welle treibt die vom Gasstrom gelieferte Energie die Verdichterstufen an. Solche Einstrom-Triebwerke waren bis in die 1960er Jahre weit verbreitet.

Beim modernen Turbofan-Triebwerk (M2) bilden die Bestandteile des Turbojets den Triebwerkskern. Zusätzlich befindet sich vor den Verdichterstufen ein Fan mit großen Schaufeln. Dieser wird über eine Welle vom Niederdruckverdichter angetrieben. Er beschleunigt wie ein Propeller die vorne einströmende Luft, von der nur etwa 1/10 in das Kerntriebwerk gelangt. Die anderen 9/10 bilden den Nebenstrom, der für den Großteil des Schubs sorgt. Bei Zwei-Strom-Triebwerken wird ein deutlich gesteigerter Wirkungsgrad erreicht. M2 zeigt mit dem PW1000G, an dem die MTU Aero Engines beteiligt ist, eine Weiterentwicklung: das Getriebefan-Triebwerk. Ein Planetengetriebe ermöglicht, dass sich der Fan langsamer dreht als die Niederdruckturbine, was zusätzliche Einsparungen beim Treibstoffverbrauch und der Geräusentwicklung bringt.

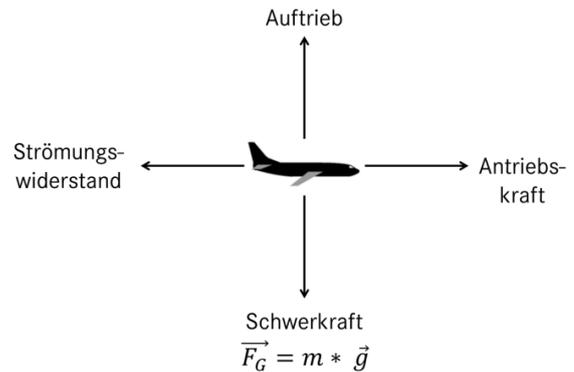


M2: Schnitt eines Turbopantriebwerks (PW1000G) mit Untersetzungsgetriebe (Quelle: Pratt&Whitney/MTU Aero Engines)

Animation: www.mtu.de/de/take-off/how_engines_work/index.html

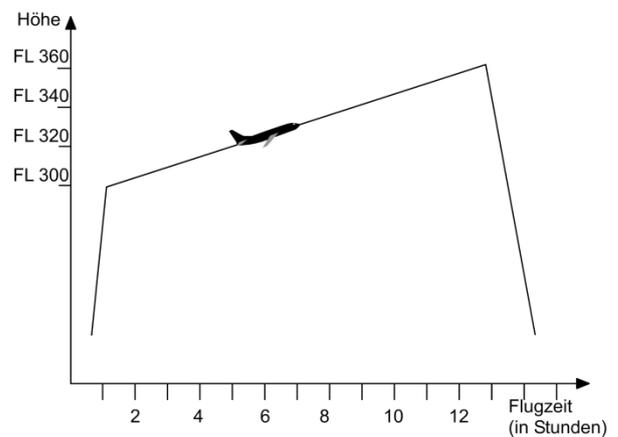
2.2 Einfluss von Temperatur und Luftdruck

Ein Flugzeug befindet sich in der Luft im Gleichgewicht von vier Kräften (M3). Das Triebwerk stellt einerseits die Antriebskraft bereit. Andererseits ist es an der Entstehung des Auftriebs beteiligt. Dieser wird nämlich nicht nur von der Dichte der Luft und der Größe der Tragflächen positiv beeinflusst, sondern hängt auch von der Geschwindigkeit der Anströmung ab. Ohne Triebwerke könnte ein modernes Verkehrsflugzeug also weder den Strömungs- bzw. Luftwiderstand, noch die Schwerkraft überwinden.



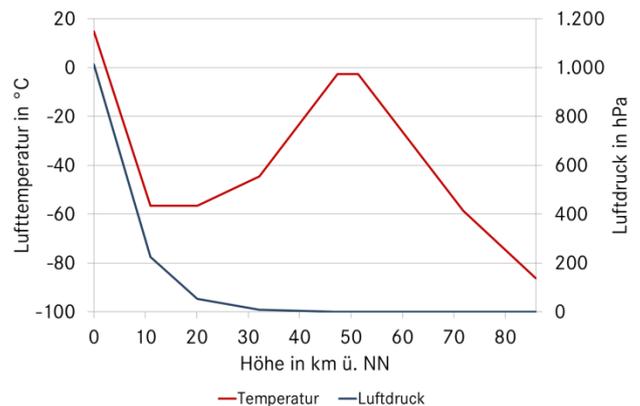
M3: Flugzeug im Kräftegleichgewicht

Die meiste Zeit eines Flugs befindet sich ein Verkehrsflugzeug auf der Reiseflughöhe zwischen 9.000 und 11.000 m Höhe. Also wird unter diesen atmosphärischen Bedingungen auch der Großteil des Treibstoffs verbraucht (M6). Deshalb legen die Entwicklungsingenieure die Triebwerke so aus, dass sie auf der Reiseflughöhe ihren maximalen Wirkungsgrad haben, also möglichst sparsam sind. Gleichzeitig muss gewährleistet sein, dass beim Abheben von der Erdoberfläche und für den unmittelbar daran anschließenden Steigflug die maximale Kraftentfaltung gegeben ist. Und für die Landung muss das Triebwerk den Schub stark reduzieren. Entsprechend den drei Flugzuständen Start, Reiseflug und Landung haben die Triebwerke also drei wichtige Auslegungspunkte.



M4: Cruise Climb (Quelle: Wikimedia)

Nach dem Steigflug geht ein Verkehrsflugzeug in den Reiseflug über. Währenddessen gewinnt es weiterhin an Höhe. Am Anfang des Jetzeitalters ging dies in Form eines kontinuierlichen Cruise Climb vonstatten (M4), heutzutage ist auf den meisten Flugrouten nur der Step Climb möglich. Dabei steigt das Flugzeug, nachdem es sich zunächst auf einer unteren Flugfläche befunden hat (z. B. in 9.000 m Höhe: FL 300 = Flight Level 30.000 ft), schrittweise auf die nächsthöheren Flugflächen auf.



Die Leistung eines Triebwerks wird von steigendem Luftdruck positiv beeinflusst, von steigender Temperatur und steigender Eintrittsgeschwindigkeit am Lufteinlass aber negativ (M8). Die atmosphärischen Bedingungen sind im Bereich der Tropopause in 11.000 m Höhe für den Reiseflug am günstigsten (M5). Über den Wolken ist die Luft überdies sehr trocken, was die Fluggäste am Fenster in Form einer herrlichen Fernsicht erleben (M7).

M5: Lufttemperatur und Luftdruck in der Troposphäre und Stratosphäre

- Maximales Startgewicht: 78 t
- Maximale Treibstoffkapazität: 24 t (30.190 l)
- Maximale Flugreichweite: 6.150 km
- Dienstgipfelhöhe: 12.130 m
- Reisegeschwindigkeit: 840 km/h
- Maximale Passagieranzahl: 150-180
- Kraftstoffverbrauch auf Reiseflughöhe: 2.700 l/h

M6: Basisdaten eines Airbus A320 (Quelle: Wikipedia)

Interview mit Dr.-Ing. Thomas Uihlein
(Technologietransfer-Manager)



Der Polarfrontjetstream, der auf der Reise Flughöhe an der Tropopause verläuft, sorgt ja für eine Beschleunigung der Flüge von Nordamerika nach Europa. Wie wirkt sich der Jetstream auf die Triebwerke aus?

Er gibt dem Flugzeug Rückenwind und bewirkt, dass die Reisegeschwindigkeit mit weniger Kraftstoff erreichbar ist. Die Triebwerksfunktionalität selbst beeinflusst er nicht.

Auf der Nordatlantikroute gab es 2010 jedoch ein anderes geowissenschaftliches Phänomen, das großen Einfluss auf Strahltriebwerke hatte: den Ausbruch des Vulkans Eyjafjallajökull auf Island. Die Vulkanasche kann zu Schäden an den Verdichter- und Turbinenschaufeln führen. Auch Sand und Staub setzen Triebwerken zu. Bei der MTU erforschen wir die Zusammenhänge und entwickeln Lösungen in Form von Beschichtungsverfahren.

Dr. Uihlein, Sie haben ihre Doktorarbeit über Korrosion und Oberflächentechnik in Triebwerken geschrieben. Über 100 Patente sind auf Sie angemeldet. Als Honorarprofessor lehren Sie Triebwerkstechnik an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg. Warum engagieren Sie sich in der akademischen Lehre?

Es macht mir Spaß, den Ingenieursnachwuchs zu begleiten. Theorie und Praxis müssen verknüpft werden, zumal sich die Triebwerksentwicklung immer an der Grenze des gerade Machbaren bewegt.

Deshalb nehmen eine ganze Reihe von MTU-Angestellten Lehraufträge wahr. Auch der Chef unserer Triebwerksentwicklung hält am Lehrstuhl für Flugantriebe der Technischen Universität München Vorlesungen.

Mit wem arbeitet die MTU Aero Engines in der Forschung zusammen?

Die Reihe ist lang. In der Region sind es die Technische Universität München, die Universität der Bundeswehr München, das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt und das Bauhaus Luftfahrt. Außerdem kooperieren wir mit der Universität Stuttgart, der RWTH Aachen, der Leibniz-Universität Hannover und verschiedenen Fraunhofer-Instituten. Wer als Nachwuchsengeieur zur MTU Aero Engines kommen will, dem stehen viele Wege offen.

Der Schub ist das Produkt von Massestrom und Änderung der Strömungsgeschwindigkeiten, also der Differenz der Geschwindigkeiten der aus- und einströmenden Luft:

$$\text{Schub [N]} = \text{Impulsänderung} = \text{Massenstrom [kg/s]} * \text{Geschwindigkeitsänderung [m/s]}$$

Steht das Flugzeug, so ist die Eintrittsgeschwindigkeit der Luft am geringsten und ihre Beschleunigung am stärksten. Die Masse der Luft ist abhängig vom Volumen und wird von ihrer Dichte positiv beeinflusst. Die Dichte ist umso höher, je niedriger die Temperatur und je höher der Luftdruck ist. Somit ergibt sich folgende Gleichung:

$$\text{Schub [N]} = \text{Volumenstrom [l/s]} * \text{Dichte [kg/l]} * (\text{Geschwindigkeit}_{\text{Auslass}} [\text{m/s}] - \text{Geschwindigkeit}_{\text{Einlass}} [\text{m/s}])$$

Bei einem Turbofan-Triebwerk gibt es zwei Massen, die unterschiedlich beschleunigt werden. Der heiße Luftstrom geht durch das Kerntriebwerk, der kalte Luftstrom wird nur vom Fan beschleunigt. Addiert man die Ergebnisse für die beiden Luftströme, so ergibt sich der Gesamtschub.

M7: Physikalische Grundlagen des Triebwerksschubs



M8: Fernsicht über der Antarktis (Quelle: Wikimedia)

Der Einfluss der Luftfeuchte und von Wasser, sei es in Form von Tröpfchen oder Eiskristallen, ist unter Normalbedingungen vernachlässigbar. Im Verdichter herrschen Temperaturen von über 400 °C und in der Brennkammer sind es 1.300 °C bis zu über 2.000 °C , sodass das Wasser umgehend verdampft. Auch das Durchqueren von Wetterfronten spielt für den Schub des Triebwerks keine wesentliche Rolle, da der Betrag des Luftdruckunterschieds in der Regel weit unter 100 hPa ist. Die Sensorik des Flugzeugs misst die Parameter, sodass die Regelungstechnik laufend die Kraftstoffzufuhr optimiert. Die Unterschiede zwischen den Auslegungspunkten beim Start und auf Reiseflughöhe sind viel größer als beim Durchqueren von Druckgebilden in der Atmosphäre.

Die Versorgung des Triebwerks mit Sauerstoff für die Verbrennung des Kraftstoffs ist auch auf der Reiseflughöhe gewährleistet. Der geringe Sauerstoff-Partialdruck in großer Höhe wirkt sich zwar auf Menschen in Form der Höhenkrankheit aus, etwa beim Bergsteigen über 4000 m . Ein Triebwerk hingegen ist auf die Verhältnisse in größeren Höhen ausgelegt. Der Sauerstoff selbst ist in ausreichender Menge vorhanden, denn die Konzentration der Hauptbestandteile der Luft ist innerhalb der Homosphäre, die bis in eine Höhe von 80 bis 120 km reicht, gleich. Auf der Reiseflughöhe bekommt ein Triebwerk aus der Luft also genug Sauerstoff für die Kraftstoffverbrennung, da sein Anteil wie auf Meereshöhe ca. 21% beträgt.

AUFGABEN

A1: Begründen Sie, warum ein Flugzeug während eines längeren Verkehrsflugs an Höhe gewinnt!

A2: Erklären Sie, warum der Anstieg während des Reiseflugs in der Regel als Step Climb und nicht als Cruise Climb durchgeführt wird, obwohl Letzterer kraftstoffsparender wäre!

A3: Zeichnen Sie in M4 einen Step Climb über vier Flugflächen ein!

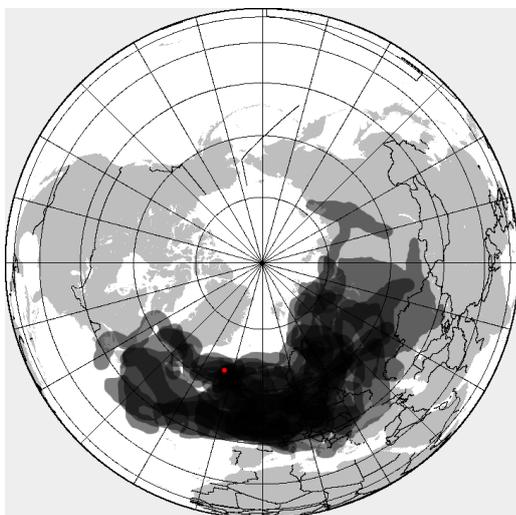
A4: Erläutern Sie, warum die atmosphärischen Bedingungen in 11.000 m Höhe für den Reiseflug am günstigsten sind!

A5: Führen Sie weitere Vorteile der Reiseflughöhe von 9.000 bis 11.000 m gegenüber einer geringeren Höhe von beispielsweise 2.000 bis 5.000 m an!

2.3 Einfluss von Vulkanasche

Triebwerke saugen mit der einströmenden Luft auch Teilchen an, die in der Luft schweben. Vulkanasche in der Atmosphäre kann zu Schäden an den Verdichter- und Turbinenschaufeln führen. Als im Frühjahr 2010 beim Ausbruch des Vulkan Eyjafjallajökull auf Island große Mengen von Vulkanasche in die Atmosphäre befördert wurden, erinnerte man sich an den KLM-Flug 867, bei dem schon früher die Gefahr für den Luftverkehr deutlich geworden war (M1).

Von 14.04. bis Mitte Juni 2010 transportierten die Eruptionen des Eyjafjallajökull in mehreren Phasen etwa 140 Millionen m³ Vulkanasche in die Atmosphäre (M2). Die Aschewolke erreichte Höhen von 8.000 m, in der Spitze auch 9.000 m. Von 15. bis 20.04. wurde in weiten Teilen Europas der Luftraum gesperrt, zumal die Asche bereits nach zwei Tagen über Polen angelangt war und sich weiter verteilte (M3). Man befürchtete Schäden wie beim KLM-Flug 867 von 1989. Ende April normalisierte sich der Luftverkehr wieder. Bis dahin bezifferte die Luftfahrtbranche ihre Umsatzauffälle auf ca. 2 Milliarden Euro, wobei 10 Millionen Passagiere mit 100.000 annullierten Flügen betroffen waren. Um künftig einheitliche Regelungen anwenden zu können, führte am 04.05.2010 die europäische Flugsicherung Eurocontrol das Drei-Zonen-Modell (M4) ein. Da dauernde Messungen im gesamten Luftraum unmöglich sind, wird die Ausbreitung der Aschewolke mit meteorologischen Modellen berechnet. Die Vorhersagen sind wegen örtlicher, nicht aufgelöster Turbulenzballen aber mit Unsicherheiten bis zum Faktor 20 behaftet. Daher lautet die grundsätzliche Empfehlung, keine sichtbaren Aschewolken zu durchfliegen. Um die Sicherheit des Luftverkehrs zu gewährleisten und unnötige Beschränkungen zu verhindern – der Grenzwert für ein Flugverbot wurde in Mitteleuropa weder vor noch nach dem 04.05. erreicht – müssen die Methoden zur Erkennung gefährlicher Aschekonzentrationen in der Atmosphäre also deutlich verbessert werden.



M3: Von der Aschewolke betroffene Gebiete vom 14. bis 25.04.2010 (Quelle: Wikimedia)

Eine Boeing 747-400 der KLM befand sich am 15.12.1989 mit 245 Menschen an Bord auf dem Weg von Amsterdam nach Tokio. Im Landeanflug auf den Zwischenstopp Anchorage in Alaska gelangte die 747 in 8.500 m Höhe in eine scheinbare Regenwolke. Es handelte sich aber um Asche des Mount Redoubt, der eine Stunde zuvor ausgebrochen war. Da Partikel und Schwefelgeruch ins Cockpit gelangten, versuchte der Pilot,



aus der Wolke zu entkommen. Beim Steigflug fielen binnen einer Minute alle vier CF6-80-Triebwerke aus. Die Asche hatte in den Verdichtern die Luftströmung gestört, wodurch es in den Brennkammern zum Flammabriss kam. Alle Messinstrumente fielen aus und es setzte ein Segelflug ein, bei dem die Boeing zwölf Minuten lang an Höhe verlor. Erst auf ca. 4.000 m Höhe konnten die beiden linken Triebwerke wieder gestartet werden, nach weiteren 15 Minuten auf ca. 2.000 m Höhe auch die beiden rechten. Die vorderen Scheiben waren mittlerweile durch die Ascheteilchen so zerkratzt, dass die Crew nur noch durch die Seitenscheiben sehen konnte. Nach der Landung in Anchorage wurde die Boeing 747 genau untersucht. In den vier Triebwerken befanden sich jeweils 80 kg Vulkanasche. Der Gesamtschaden am Flugzeug belief sich auf 80 Millionen US-Dollar.

M1: KLM-Flug 867 (Bildquelle: Wikimedia)



M2: Aschewolke des Eyjafjallajökull am 17.04.2010 (Quelle: Wikimedia)

Vulkanische Asche besteht aus kleinen Partikeln. Der Begriff „Asche“ hat sich wegen der feinen Struktur des Materials eingebürgert, obwohl es sich nicht um Verbrennungsrückstände handelt. Die Partikel entstehen, wenn bei der Eruption Lava oder bereits festes Gestein zerrissen wird. Die meisten Stratovulkane des zirkumpazifischen Feuerrings brechen auf diese Art aus. Beispiele sind die mächtigen Eruptionen des Mount St. Helens 1980 und des Pinatubo 1991.

Beim Eyjafjallajökull kamen sowohl 14.000.000 m³ flüssige Lava an die Oberfläche, als auch Vulkanasche. Diese bildete sich, weil das aufsteigende magmatische Material mit dem auflagernden Gletschereis in Berührung kam. Durch den starken Temperaturunterschied explodierte das Gestein in einer phreatomagmatischen Eruption.

Die Partikel können ein Triebwerk in mehrerlei Hinsicht beeinträchtigen. Die Verdichterschaufeln werden erodiert, wodurch sich die Form und die Oberflächenrauheit ändern (ähnlich wie bei M6). Die nun ungünstigere Aerodynamik führt zu höheren Treibstoffverbräuchen und CO₂-Emissionen. In der Turbine wird die Vulkanasche, deren Schmelzpunkt in der Regel deutlich unter 1.000 °C liegt, zähflüssig. Dadurch kann sie an der Oberfläche der Schaufeln haften bleiben (M5). Falls die Schmelze in entsprechend großen Mengen auftritt, droht sie den Gasstrom zu blockieren und die Turbine ausfallen zu lassen. Die Wahrscheinlichkeit eines Triebwerksstillstands erhöht sich noch, wenn die Turbinenschaufeln Kühlluftbohrungen haben. Werden diese von der Ascheschmelze verstopft, kommt es zur Überhitzung und letztlich zur Zerstörung der Schaufeln.

AUFGABEN

A1: Begründen Sie anhand mehrerer Aspekte, warum ein generelles Flugverbot wegen der Aschewolke ausgesprochen wurde, auch wenn diese nicht bis in die Reiseflughöhe von 9.000 bis 11.000 m vorgedrungen ist!

A2: Führen Sie ein Rollenspiel durch, bei dem Vertreter der Flugsicherung und der Fluggesellschaften in den ersten Tagen der Aschewolkenausbreitung über das Flugverbot diskutieren!

A3: Schätzen Sie mit Quellen zur historischen und aktuellen Vulkanaktivität und M12 ab, auf welchen Flugrouten die Gefährdung durch Vulkanasche (Tephra) am größten ist!

Links: earthquakes.volcanodiscovery.com;
www.volcano.si.edu/weekly_report.cfm

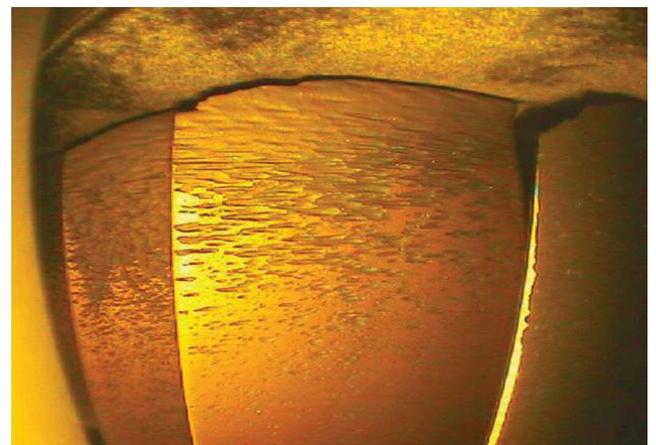
A4: Vollziehen Sie die Route des KLM-Flugs 867 (M1) und die Non-Stop-Verbindung von Amsterdam nach Tokio auf einer geeigneten Atlaskarte nach. Begründen Sie, warum die direkte Route ohne Zwischenstopp erst seit Anfang der 1990er Jahre genutzt wird!

Zone	Asche-konzentration	Regelung
3	>2 mg/m ³	Flugverbot im 110-km-Umkreis
2	0,2-2 mg/m ³	erhöhte Wartungsintervalle
1	<0,2 mg/m ³	keine Einschränkungen

M4: Drei-Zonen-Modell von Eurocontrol
(Quelle: Wikipedia)



M5: Turbinenschaufeln mit Krusten von Vulkanascheschmelze (Quelle: MTU Aero Engines)



M6: Durch Flugsand erodierte Laufschaufel nach Einsatz im Mittleren Osten (Quelle: MTU Aero Engines)

2.4 Einfluss von Flugsand

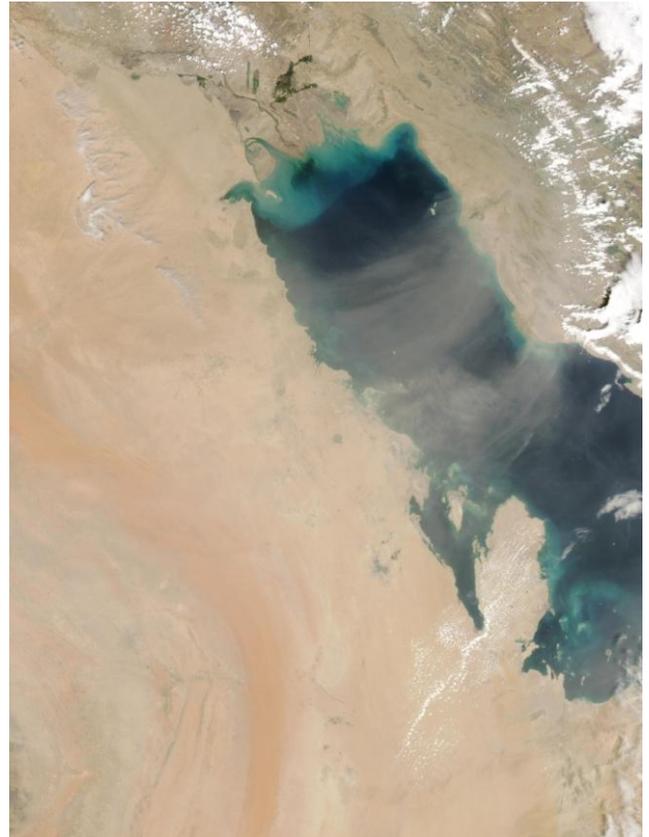
Auch Flugsand setzt Triebwerken zu. Er wird in den vegetationsarmen ariden Gebieten der niederen und mittleren Breiten, die sich im Zuge der Desertifikation weiter ausbreiten, auch in größeren Höhen vom Wind verfrachtet (M7). Flugsand bildet wegen seines hohen Schmelzpunkts keine Ablagerungen in der Turbine, doch das Ansaugen in den Verdichter hat wie bei der Vulkanasche eine erodierende Wirkung, die mit dem Sandstrahlen vergleichbar ist (M6).

Beim Flugbetrieb unter solchen Bedingungen führt der Metallabtrag an den Verdichterschaufeln dazu, dass Wartungs- und Reparaturarbeiten dreimal häufiger durchgeführt werden müssen als beim Einsatz über Mitteleuropa. Statt nach 10.000 h Laufzeit ist der Werkstattbesuch (Shop Visit), welcher bei einem Großtriebwerk mit bis zu 1 Million US-Dollar zu Buche schlägt, dann nach ca. 3.000 h fällig. Dabei verdreifacht sich auch der logistische Aufwand, denn das Triebwerk muss zur Wartung geflogen werden, z. B. von Dubai zur MTU Maintenance nach Hannover, und die Fluggesellschaft benötigt ein Ersatztriebwerk.

Wird das Austauschen erodierter Schaufeln unterlassen, so steigen mit dem Treibstoffverbrauch auch der CO₂-Ausstoß und die Belastung der Turbine, während die Leistung sinkt. Bei zivilen Anwendungen bedeutet dies eine Verlängerung der Reisezeiten, bei militärischen Fluggeräten ist durch den Leistungsverlust der Handlungsspielraum im Einsatz eingeschränkt. Dies ist umso kritischer, wenn nur unpräparierte Pisten zur Verfügung stehen (M8). Egal ob ein Triebwerk zivil oder militärisch genutzt ist, das fortgesetzte Einwirken des Sandes kann die Festigkeit der Schaufeln so weit mindern, dass sie brechen und das Triebwerk ausfällt.

Bei der MTU hat ein Forscherteam um Dr. Thomas Uihlein den Einfluss von Sand und Vulkanasche auf die Verdichtwerkstoffe vergleichend untersucht. Die Materialproben wurden kurz nach der Eruption am Eyjafjallajökull (M10) und auf einem Flughafengelände im Mittleren Osten (M11) gesammelt.

Die Testläufe auf dem Prüfstand haben ergeben, dass die Abtragungsraten an den Verdichterschaufeln von den Grundwerkstoffen, den Betriebsbedingungen (Strömungsgeschwindigkeit, Temperatur, Auftreffwinkel) und von der Morphologie der Partikel abhängen. Dabei wirkt Vulkanasche in der Regel stärker abrasiv als Flugsand. Zum Schutz vor Partikelarten aller Art und vor hohen Temperaturen hat die MTU Aero Engines das Beschichtungsverfahren ERCoat^{nt} entwickelt (M9). Auch wenn die MTU an der Wartung und Reparatur von Triebwerken verdient, ist sie am Verhindern von Schäden am Triebwerk interessiert. Dr. Thomas Uihlein: „Mit der Beschichtung erhöhen wir die Lebensdauer der Schaufeln und Blinks um den Faktor 2 bis 3. Das spart wertvolle Ressourcen und schafft einen echten Mehrwert für unsere Kunden.“



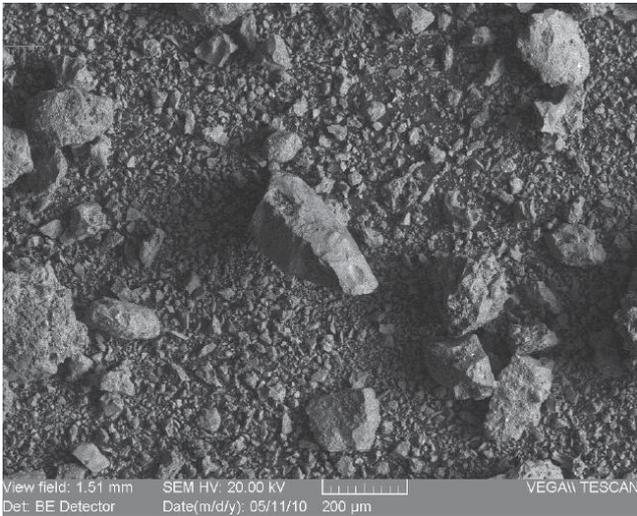
M7: Sandsturm am Persischen Golf (Quelle: NASA)



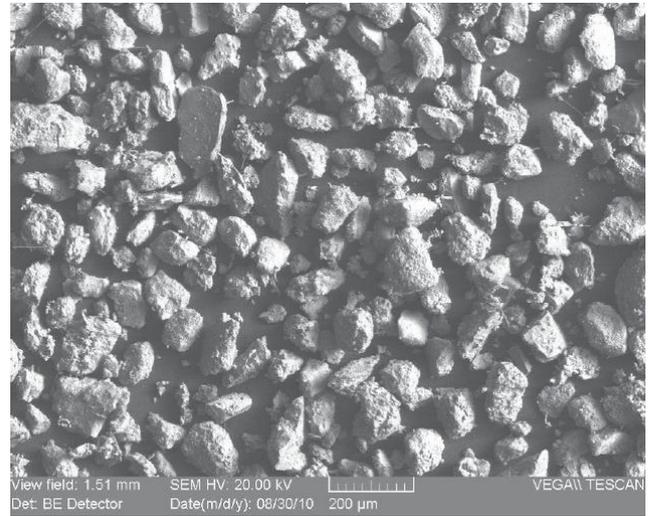
M8: A400M auf einer Sandpiste (Quelle: Airbus Military)



M9: Blik mit Beschichtung ERCoat^{nt} (Quelle: MTU Aero Engines)



M10: Vulkanasche vom Eyjafjallajökull im Rasterelektronenmikroskop (Quelle: MTU Aero Engines)



M11: Flugsand aus dem Mittleren Osten im Rasterelektronenmikroskop (Quelle: MTU Aero Engines)



M12: Luftverkehr nach Flugplan im Juni 2009 (Quelle: Wikimedia)

AUFGABEN

- A1: Verorten Sie das Satellitenbild M7. Gliedern Sie den dargestellten Landschaftsausschnitt in physisch-geographischer Hinsicht mit einer Skizze und ordnen Sie das Aufnahmedatum mit Hilfe geeigneter Atlaskarten jahreszeitlich ein!
- A2: Beschreiben Sie vergleichend die Vulkanasche (M10) und den Flugsand (M11) nach Form und Partikelgrößen. Begründen Sie Ihre Befunde, indem Sie auf die jeweiligen Entstehungsbedingungen eingehen! Begründen Sie anschließend die stärkere abrasive Wirkung der Vulkanasche im Vergleich zum Flugsand!
- A3: Beurteilen Sie mit Hilfe geeigneter Atlaskarten und M12, welche Regionen und zivilen Flugrouten durch Flugsand am meisten beeinträchtigt sind! Berücksichtigen Sie dabei auch, wo das zukünftige Wachstum im Luftverkehr erwartet wird!
- A4: Recherchieren Sie, wo die deutschen bzw. die US-amerikanischen Streitkräfte mit Truppen und Fluggeräten in Auslands- bzw. Kampfeinsätzen präsent sind. Geben Sie eine vergleichende Einschätzung zur Bedeutung der Erosion durch Flugsand!
- A5: Fassen Sie überblicksartig zusammen, wie Vulkanasche und Flugsand auf Triebwerke einwirken und beurteilen Sie, welche der beiden Partikelarten im Alltag das größere Problem darstellt!

3 Wasser- und Energieeinsatz am Hauptsitz der MTU Aero Engines in München

3.1 Bedingungen am Standort

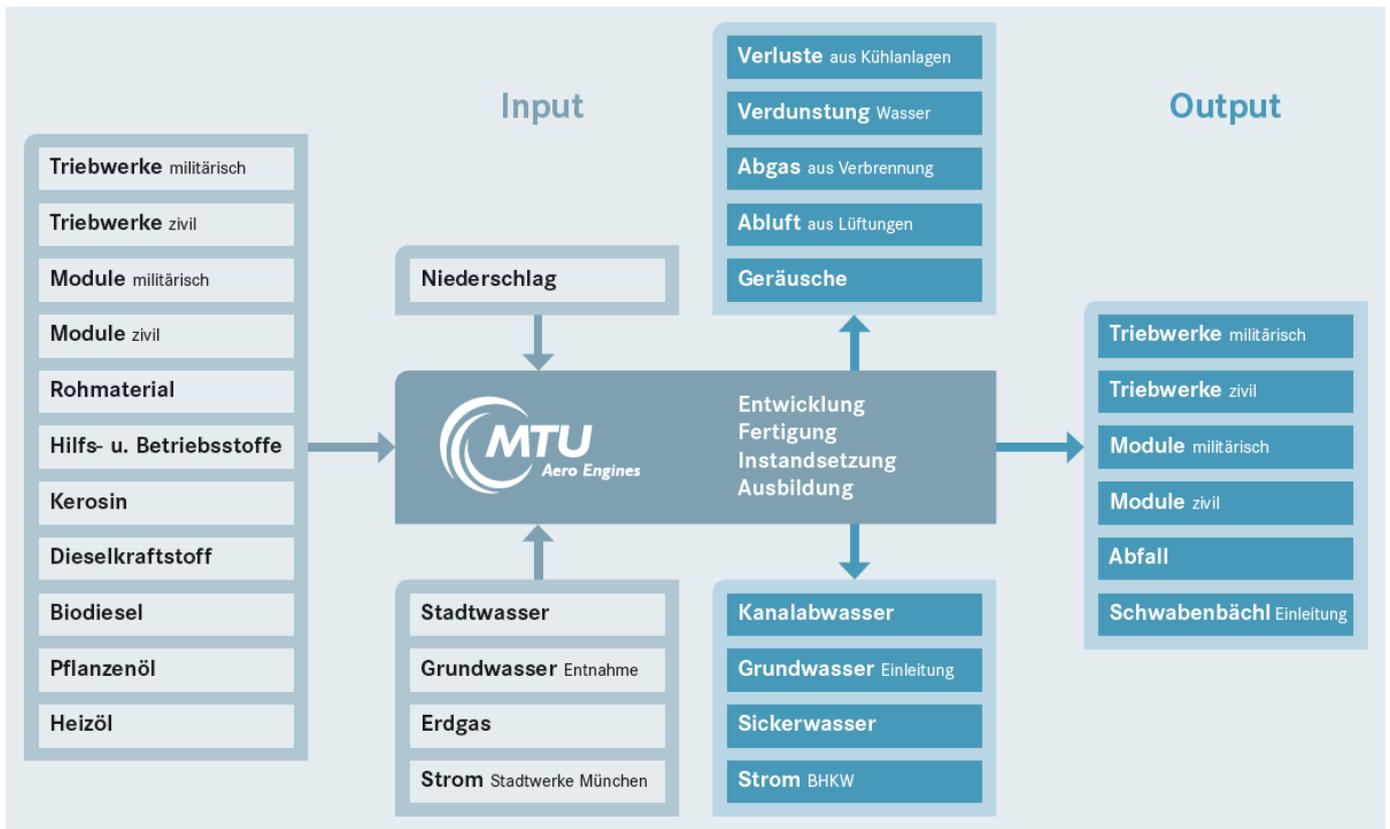
Die Konzernzentrale der MTU Aero Engines befindet sich am Stadtrand von München. Am Standort nördlich des Allacher Forsts startete 1936 der Aufbau der Flugmotorensparte von BMW, welche 1965 vom Fahrzeug- und Maschinenbauer MAN übernommen wurde und aus der die Motoren- und Turbinen-Union (MTU) 1969 hervorging. Der nordwestliche Teil des Industriegeländes (M1) gehört seither der MAN, die am Standort Lastkraftwagen produziert. Die südöstliche Hälfte liegt an der A99 und der Dachauer Straße und ist der Hauptsitz der MTU Aero Engines. Am etwa 500.000 qm großen Standort mit seinen etwa 4.600 Beschäftigten befinden sich der Vorstand und die Verwaltung des international vertretenen Unternehmens. Außerdem sind dort die Entwicklung, Fertigung, Prüfung und Vermarktung ziviler und militärischer Triebwerkskomponenten und -subsysteme konzentriert. Schließlich werden auch militärische Triebwerke montiert und instandgehalten.

Welche Stoffe, Rohteile, Energieträger und sonstigen Mittel in das Unternehmen hineingelangen, und was die MTU daraus macht, zeigt die qualitative Darstellung der Input-Output-Analyse (M2).

Ankommende Triebwerke werden geprüft und instandgesetzt, und Industriegasturbinen werden gewartet, wofür auch Kerosin nötig ist. Mit Rohmaterial, Hilfs- und Betriebsstoffen produziert die MTU ihre Bauteile, die mit ankommenden Modulen zu größeren Baugruppen oder ganzen Triebwerken montiert werden. Der Energie- und Wasserbedarf des Werks wird aus verschiedenen Quellen gedeckt. Die bei der MTU endmontierten Triebwerke gehen an den Flugzeughersteller, fertige Module liefert man den Partnern in der Triebwerksproduktion. Abfälle und Abwässer werden entsorgt und ebenso wie die Emissionen minimiert. Das Blockheizkraftwerk speist Strom in das öffentliche Netz ein.



M1: Satellitenbild des MTU-Standorts München (blau umrandet) mit Umgebung
(Quelle: Bayerische Vermessungsverwaltung – www.geodaten.bayern.de)

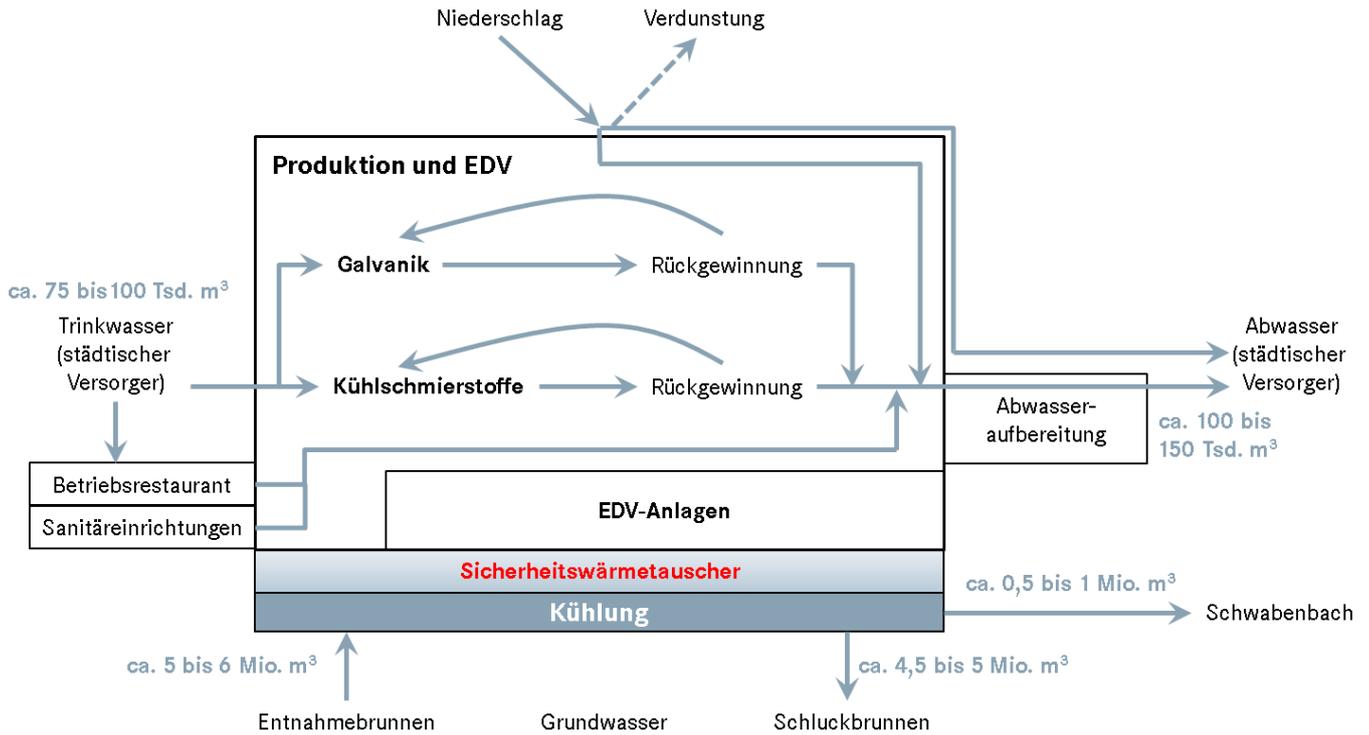


M2: Input-Output-Analyse am MTU-Standort München (Quelle: MTU Aero Engines)

AUFGABEN

- A1: Verorten Sie das Werksgelände (M1) auf einer kleinmaßstäblichen Altaskarte – oder bei Erlaubnis mittels Mobiltelefon!
- A2: Erklären Sie anhand einer Nutzungsskizze die Struktur des abgebildeten Landschaftsausschnitts (M1) und unter Zuhilfenahme einer Atlaskarte die erkennbaren Gunst- und Ungunstfaktoren aus der Sicht der Wohnbevölkerung und der MTU!
- A3: Die Input-Output-Analyse (M2) umfasst die durch die Leistungserstellung in den eigenen Anlagen bedingten Stoff- und Materialströme bzw. Emissionen. Den Pendlerverkehr der Beschäftigten enthält sie nicht. Schätzen Sie in Partnerarbeit ab, wieviele Kilometer in Summe von den Beschäftigten der MTU im Jahr im individuellen Personenverkehr zurückgelegt werden! Treffen Sie dazu plausible Annahmen bezüglich: Arbeitstage bei 40 Urlaubs- und Feiertagen pro Jahr, Anteil der Teilzeitkräfte mit drei bzw. vier Arbeitstagen pro Woche, Anteil der Mitarbeiter mit durchschnittlich 10 km, 30 km und 50 km Anfahrtsweg, Anteile der benutzten Verkehrsmittel, durchschnittlicher Krankenstand (Prozentsatz der Beschäftigten, die krankheitsbedingt abwesend sind).
- A4: Umreißen Sie drei Ansätze zur Reduktion des individuellen motorisierten Pendlerverkehrs und diskutieren Sie die Umsetzbarkeit!

3.2 Produktionsfaktor Wasser



M1: Wasserhaushalt des Werks München (Quelle: MTU Aero Engines)

Der Trinkwasserbedarf der MTU Aero Engines (M1) entsteht überwiegend in der Produktion, insbesondere bei den galvanischen Verfahren und bei der Bereitstellung von Kühlschmierstoffen.

In der Galvanik werden Bauteile gereinigt und anschließend in Tauchbädern beschichtet, um einen Oxidations- bzw. Verschleißschutz zu erreichen. Das Wasser dient als Medium für die Ionen, welche auf die Bauteiloberfläche aufgebracht werden. Dafür muss das Münchener Trinkwasser zunächst entsalzt werden, um die Anwesenheit prozessfremder Ionen zu vermeiden. Nach der Benutzung werden die in der Galvanik angefallenen Flüssigkeiten in Rückgewinnungsanlagen aufbereitet. So waren 2012 insgesamt 450.000 m³ Galvanikwasser im Kreislauf, wovon nur 13.000 m³ als Abwasser entsorgt werden mussten.

Kühlschmierstoffe (KSS) braucht man bei vielen Metallbearbeitungsverfahren, um die Reibung zwischen Werkzeug und Bauteil zu reduzieren, die Wärme abzuführen sowie Staub zu binden (M2). KSS bestehen aus Wasser und Ölen, sie werden ebenfalls intern gereinigt und mehrmals wiederverwendet.



M2: Einsatz von KSS beim Entgratfräsen (Quelle: MTU Aero Engines)

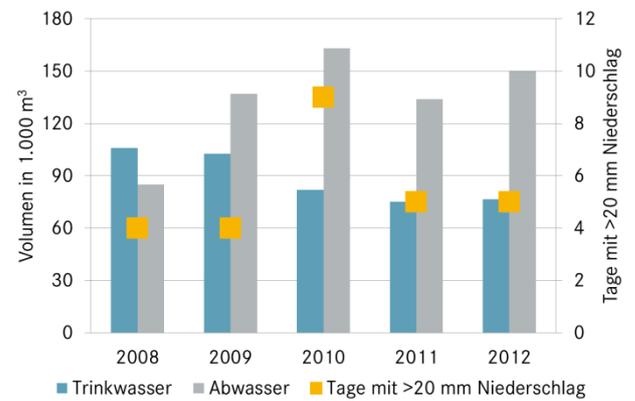
Neben den Maßnahmen zur Wassereinsparung wird großer Wert auf die Wasserreinhaltung gelegt. Der Gesetzgeber senkt die Grenzwerte für Schadstoffe entsprechend dem technischen Fortschritt laufend. Die MTU Aero Engines unterschreitet alle Grenzwerte deutlich.

AUFGABEN

A1: Ordnen Sie das Schema des Wasserhaushalts der MTU Aero Engines (M1) in den allgemeinen Wasserkreislauf (Lehrbuchdarstellung) ein. Beschreiben Sie, worin die Unterschiede zu einem für Wohn- oder Agrarfunktionen genutzten Landschaftsausschnitt bestehen!

A2: Erklären Sie mit Hilfe von M1 und M3, warum mehr Abwasser anfällt, als Trinkwasser bezogen wird!

A3: Diskutieren Sie die Vorteile und Nachteile der Verschärfung des Wasserrechts aus Sicht der Bürger und der Unternehmen!



M3: Trinkwasserbedarf, Abwasser und Starkregen
(Quellen: MTU Aero Engines; Deutscher Wetterdienst für die Station München-Flughafen)

3.3 Produktionsfaktor Energie und CO₂-Emissionen

Interview mit Burkhard Oesten
(Leiter Umweltschutz)

Wieso benutzen Sie sieben unterschiedliche Energieträger?
Den Strom verwenden wir hauptsächlich für unsere Maschinen und Beleuchtung, das Erdgas für die Heizung. Die kleinen Mengen an Heizöl, Diesel und Biodiesel fallen für unsere Notversorgung und die werksinternen Fahrzeuge an. Im Blockheizkraftwerk verfeuern wir Pflanzenöl.

Der Flugkraftstoff wird für Triebwerkstests benötigt. In den Jahren 2009 und 2010 waren einige Triebwerke in der Entwicklung und mussten entsprechend den Vorschriften geprüft werden.

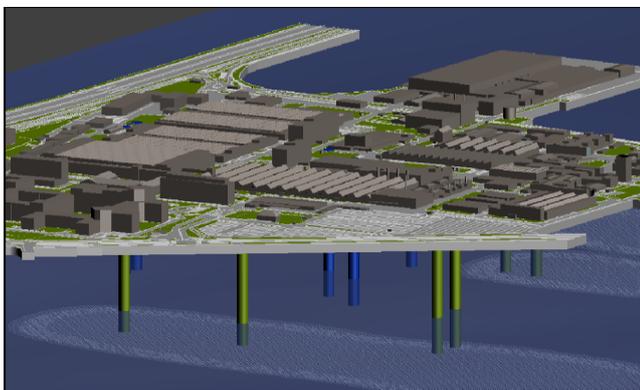
Abgesehen vom Flugkraftstoff haben wir den Energieverbrauch über die letzten Jahre in der Tendenz leicht senken können.

Was tun Sie zur Reduktion des Energiebedarfs?

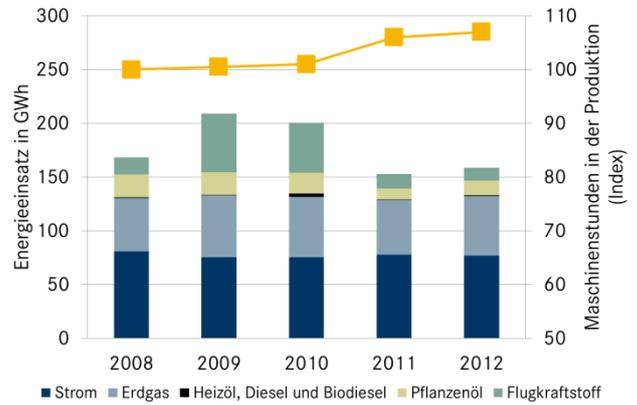
Bereits 2006 haben wir ein eigenes Blockheizkraftwerk in Betrieb genommen, mit dem 15 % des Standortbedarfs an Wärme gedeckt wird – und das CO₂-neutral mit Kraft-Wärme-Kopplung. Damit lassen sich jährlich 7.400 Tonnen CO₂ einsparen.

In den Produktionshallen wurden Rotationswärmetauscher zur Wärmerückgewinnung installiert, was 1.500 Tonnen im Jahr einspart.

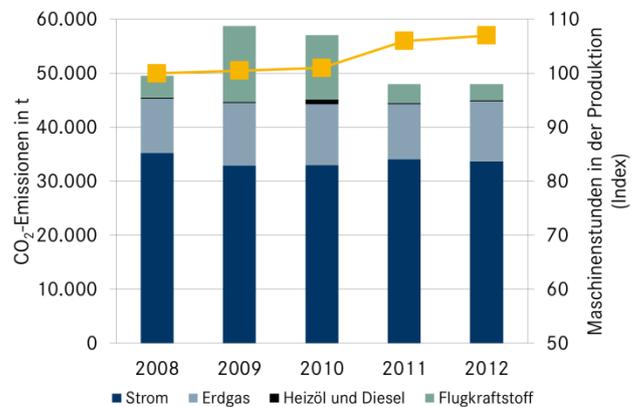
Und ganz entscheidend ist natürlich die Kühlung unserer EDV und mehrerer Gebäude mit Grundwasser (M3). Somit werden jährlich über 3.000 Tonnen im Vergleich zum Einsatz von elektrischen Kühlaggregaten vermieden. Wir haben eigene Grundwasserbrunnen. Der neueste wurde 2011 mit einer Förderleistung von bis zu 140 Litern pro Stunde in Betrieb genommen. Wir pumpen das erwärmte Wasser zurück in den Grundwasserleiter, der nach Norden fließt. Das Wasser darf um maximal 6 K erwärmt werden, wobei die Temperatur bei der Wiedereinleitung in den Grundwasserstrom auf höchstens 20 °C begrenzt ist.



M3: Grundwasserbrunnen (blau) mit Schluckbrunnen (grün)
(Quelle: MTU Aero Engines)



M1: Energieeinsatz und Produktion (Quelle: MTU Aero Engines)



M2: CO₂-Emissionen und Produktion (Quelle: MTU Aero Engines)

AUFGABEN

- A1: Erklären Sie anhand von M1 und M2, inwiefern die Energienutzung im Zeitverlauf effizienter geworden ist! Errechnen Sie dazu auch eine geeignete Kennzahl!
- A2: Entwickeln Sie in Partnerarbeit drei Ideen für noch mehr Nachhaltigkeit bei der Wahl und dem Einsatz der Energieträger!
- A3: Begründen Sie, warum in M2 im Vergleich zu M1 das Pflanzenöl in der Aufstellung fehlt!
- A4: Am Flughafen München wurden im Jahr 2011 etwa 400.000 Tonnen CO₂ durch Flugzeuge im Landing-and-take-off-Zyklus (LTO-Zyklus unterhalb 3.000 Fuß) freigesetzt (Quelle: Flughafen München 2012). Errechnen Sie, nach wievielen Tagen des Jahres 2011 am Flughafen soviel CO₂ angefallen ist wie bei den Triebwerkstests der MTU Aero Engines im ganzen Jahr!
- A5: Recherchieren Sie die Auswirkungen der Erwärmung von Grundwasser auf 20 °C und bewerten Sie die Nutzung des Grundwassers zu Kühlungszwecken!

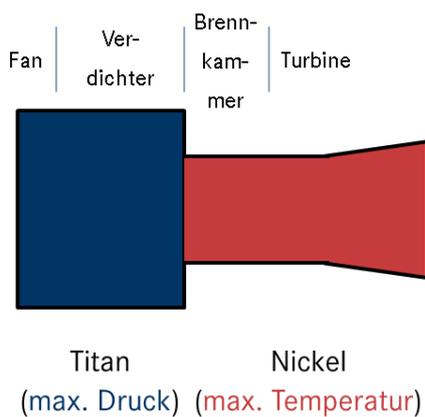
4 Mineralische Rohstoffe – Beispiel Triebwerkskonstruktion

In Triebwerken wird eine Vielzahl von Materialien verbaut – von Legierungen über Stähle und Verbundwerkstoffe bis hin zum carbonfaserverstärkten Kunststoff. Die wichtigsten Rohstoffe sind Titan und Nickel (M1).

Trotz seines niedrigeren Schmelzpunkts ist Nickel hitzebeständiger als Titan. Letzteres verliert bei Temperaturen über 400 °C schnell seine Festigkeit, und ab 880 °C reagiert es mit Sauerstoff. Titan wird wegen seiner geringeren Dichte verwendet, wo bei niedrigeren Temperaturen das Material stärker dynamisch belastet wird. Nickel findet im Bereich der höchsten Temperaturen Anwendung (M2).

	Titan	Nickel
Symbol	${}_{22}\text{Ti}$	${}_{28}\text{Ni}$
Schmelzpunkt	1.668 °C	1.455 °C
Dichte bei 25 °C	4,50 g/cm ³	8,91 g/cm ³

M1: Basisdaten von Titan und Nickel (Quelle: Wikipedia)



M2: Titan und Nickel im Triebwerk

Am Nickel kann man beispielhaft die Bedeutung mineralischer Rohstoffe für den Triebwerksbau erkennen. Die weltweit bekannten Reserven veranschlagt man auf 75 Millionen Tonnen, wobei momentan gut 2 Millionen Tonnen pro Jahr gefördert werden (M3).

Das reine Nickel wird zu 65 % für die Herstellung von Edelstahl verwendet. In die Produktion von Legierungen, die im Triebwerks-, Fahrzeug- und Maschinenbau gebraucht werden, gehen 12 % des Rohstoffs. Die restlichen 23 % verteilen sich auf verschiedene Anwendungen wie die Herstellung von Münzen und Batterien.

Staat	Förderung	Reserven
USA	0	7.100
Australien	230.000	7 bis 20.000.000
Botswana	26.000	490.000
Brasilien	140.000	7.500.000
Kanada	220.000	3.300.000
China	91.000	3.000.000
Kolumbien	80.000	1.100.000
Kuba	72.000	5.500.000
Dominikanische Republik	24.000	970.000
Indonesien	320.000	3.900.000
Madagaskar	22.000	1.600.000
Neu-Kaledonien (Frankreich)	140.000	12.000.000
Philippinen	330.000	1.100.000
Russland	270.000	6.100.000
Südafrika	42.000	3.700.000
andere	120.000	4.600.000
Welt (gerundet)	2.100.000	75.000.000

M3: Förderung und Reserven von Nickel 2012 in Tonnen (Quelle: U. S. Geological Survey)



M4: Nickel Rim South Mine bei Sudbury, Kanada (Quelle: Wikimedia)

Interview mit Rudolf Michl

(Leiter Einkauf- und Logistik-Services)

Warum schwankt die Preisentwicklung von Nickel seit der Jahrtausendwende so stark?

Das hat viel mit dem Erwachen Chinas zu tun. Ab 2003 kam dort die Edelstahlindustrie in Fahrt, und das globale Nickelangebot konnte nicht so schnell wie die Nachfrage wachsen. Neue Förderstätten mussten erst erschlossen werden. Die Preisentwicklung hat Spekulanten auf den Plan gerufen, die zu Beginn der Bankenkrise ihr Kapital in Rohstoffe investieren wollten. Der Preisanstieg war also viel stärker als die Nachfragesteigerung in der Industrie (M7).

Und warum ging der Preis wieder nach unten?

Als man große Überkapazitäten aufgebaut hatte, gelang es den Chinesen, bei ihrer Edelstahlproduktion das reine Nickel als Rohstoff zu ersetzen. Sie hatten Wege gefunden, stattdessen in Asien vorkommende niedrigqualitative Nickelerze, sogenanntes Nickel Pig Iron, zu verwenden. Nach einem Zwischenhoch Ende 2010 ist der Nickelpreis jetzt durch das schwächere Wachstum der Edelnachfrage, vor allem in China, und die gleichzeitig stark gestiegenen Minenkapazitäten wieder beim Niveau von vor zehn Jahren angelangt. Man überlegt sogar, das Angebot durch die Schließung von Minen in Australien zu verknappen, um dem Preisverfall entgegenzuwirken.

Das hört sich so an, als sei die Beschaffung von Nickel langfristig mit Unsicherheiten verbunden.

Wir versuchen, Unsicherheiten zu vermeiden. Die MTU Aero Engines hat eine längerfristig orientierte Beschaffungsstrategie. Wir schließen mit unseren Lieferanten bilaterale Verträge, die Kursrisiken abfedern und unsere Versorgung sicherstellen. So hatten wir auch während der Hochpreisphasen keine Schwierigkeiten, Nickellegierungen zu beschaffen. Wenn sich der Rohstoff in der Zukunft aber fundamental verknappt, wird die Beschaffung von Elementen bzw. Legierungen schwieriger. Schneller als beim Nickel kann die Situation aber bei einzelnen Seltenen Erden ernst werden. Wenn nicht anzunehmen ist, dass wir ein Material dieser Gruppe über die nächsten Jahrzehnte zu akzeptablen Konditionen beschaffen können, dann beziehen wir es nicht in neue Entwicklungsprogramme ein. Durch ein konsequentes Recyclingprogramm versuchen wir zudem, uns von der Nickel-Primärproduktion unabhängiger zu machen. So erfolgt beispielsweise in unserer Fertigung eine strikte Trennung der bei der maschinellen Bearbeitung anfallenden Späne nach den einzelnen Legierungen, um diese wieder in den Herstellkreislauf einfließen zu lassen.

Sie sprachen von Nickellegierungen. Was heißt das?

Wir verwenden in der Luftfahrtindustrie kein elementares Nickel (M5), sondern Legierungen, in denen mehrere metallische Komponenten vereint sind. Damit lassen sich die Materialeigenschaften optimieren. Eine typische Nickelbasis-Superlegierung ist Inconel Alloy 718 (M6). Sie hat Anteile von 52,5 % Nickel, 19 % Chrom, 19 % Eisen und anderen Metallen. Im Vergleich zum reinen Nickel ist sie bei hohen Temperaturen noch kriech- und ermüdungsfester. Man kann die Legierung bis zu einer Temperatur von circa 1.300 °C verwenden. Wenn luftgekühlte Schaufeln verwendet werden, bei denen ein Teil des Gasstroms das Bauteil durch kleine Löcher passiert, kann man sogar 200 K höher gehen.

Wie muss man sich den Weg von der Nickelmine zum Triebwerk vorstellen?

Der Weg kennt einige Abzweigungen und Schleifen. Sehen Sie sich die Übersicht (M8) an!



M5: Pellets aus Nickel (Quelle: Wikimedia)



M6: Zylinder aus Inconel Alloy 718 (Quelle: Wikimedia)

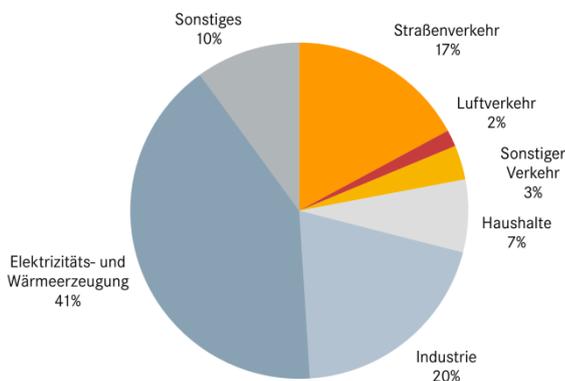
5 Energieeinsatz im Luftverkehr

Die CO₂-Emissionen in der zivilen Luftfahrt konnten seit 1960, als die Boeing 707 und die Douglas DC-8 das Jet-Zeitalter eröffneten, um gut 70 % pro Passagierkilometer gesenkt werden. Für die Zukunft ist die weitere Reduktion klimawirksamer Emissionen entscheidend, zumal dadurch ein großes Potenzial ausschöpfbar ist (M1).

Die IATA (International Air Transport Association) und das ACARE der Europäischen Kommission (Advisory Council for Aeronautics Research in Europe) haben für den Zeitraum bis 2050 ein ehrgeiziges Programm zur Reduktion der CO₂-Emissionen in der Luftfahrt definiert (M3). So strebt die IATA für den Luftverkehr ab dem Jahr 2020 ein CO₂-neutrales Wachstum an und bis zum Jahr 2050 sollen die CO₂-Emissionen der gesamten Luftfahrt halbiert werden. Dazu sind Effizienzsteigerungen in allen Entwicklungsfeldern notwendig. Abschätzungen der MTU Aero Engines zeigen, dass mit den nachfolgenden Verbesserungen (in Klammern prozentuale Effizienzsteigerung gegenüber dem Jahr 2000) die Ziele erreicht werden können:

- Flugzeugdesign (30 %): effizientere Konfiguration von Rumpf und Tragflächen bis hin zum Nurfügler
- Luftverkehrsmanagement (20 %): Eine optimierte Nutzung des Luftraums verspricht kürzere Verbindungen und weniger Warteschleifen. Zudem sollen der kraftstoffsparende allmähliche Aufstieg während des Reiseflugs (Cruise Climb) und der kontinuierliche Sinkflug (Continuous Descent Approach) ermöglicht werden.
- Neue Triebwerkstechnologien (50 %): Konzepte für höheren Vortriebswirkungsgrad und neue Kreisprozesse für verbesserten thermischen Wirkungsgrad
- Alternative Kraftstoffe (Anteil von 80 %): Biokraftstoffe und regenerativ produzierte synthetische Kraftstoffe

Die beiden letztgenannten Entwicklungsfelder bergen die größten Potenziale. Die MTU Aero Engines arbeitet auch hier mit Hochdruck an Lösungen für die Zukunft.



M2: Verteilung der 30 Gt globaler CO₂-Emissionen 2010 nach Sektoren (Quelle: OECD/International Energy Agency 2012, „CO₂-Emissions from Fuel Combustion – Highlights“)

Der Antrieb heutiger Flugzeuge bedingt noch die Freisetzung von Treibhausgasen. Einen Versuch, die gesamte Klimawirksamkeit des Luftverkehrs abschätzen zu können, stellt der RFI-Faktor (Radiative Forcing Index) dar. Dieser berücksichtigt alle relevanten Emissionsarten und überdies die Atmosphärenschicht, in der die Freisetzung erfolgt, sowie die Verweildauer in der Atmosphäre.

Erwärmung durch:

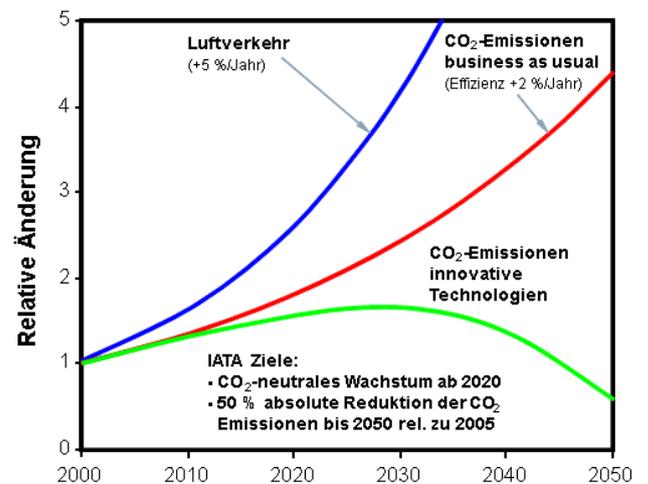
- CO₂
- Stickoxide: Bildung von Ozon
- Wasserdampf: Zirkus-Wolken, Kondensstreifen
- Rußpartikel: Absorption von Sonnenstrahlung

Abkühlung durch:

- Stickoxide: Abbau von Methan
- Sulfataerosole: Reflexion von Sonnenstrahlung

Es gibt noch keine gesicherten Forschungsergebnisse, doch der Weltklimarat IPCC geht von einem RFI-Faktor des Luftverkehrs von 2,7 aus. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt veranschlagt ähnliche Werte. Die Klimawirksamkeit des Luftverkehrs wäre demnach um diesen Faktor größer als die ihrer bloßen CO₂-Emissionen (M2). Allerdings ist daraus nicht ablesbar, dass das Flugzeug um diesen Faktor schädlicher ist als andere Verkehrsträger. Für diese müssten ebenfalls entsprechende Korrekturfaktoren errechnet werden, da auch sie Stickoxide, Wasserdampf und Aerosole emittieren.

M1: RFI-Faktor in der Luftfahrt



M3: Programm zur Reduktion der CO₂-Emissionen bis 2050 (Quelle: MTU Aero Engines)

Neue Triebwerkstechnologien

Um den Wirkungsgrad moderner Turbofan-Triebwerke zu erhöhen, hat man in den vergangenen Jahrzehnten das Bypass-Verhältnis zwischen Hauptstrom (durch das Kerntriebwerk mit Verdichter, Brennkammer und Turbine beschleunigte Luft) und Nebenstrom (beschleunigt durch den Fan) auf 1:10 vergrößert. Dazu muss der Fan immer größer werden und langsamer drehen, da die Umfangsgeschwindigkeit an der Schaufelspitze begrenzt ist. Die den Fan antreibende Niederdruckturbinen wird dadurch ebenfalls auf niedrige Drehzahlen gezwungen, die den Wirkungsgrad vermindern.

Die Getriebefan-Technologie des PW1000G (Kapitel 2, M2) behebt dieses Problem. Ein Planetengetriebe erlaubt, dass sich der Fan langsamer dreht als die Niederdruckturbinen, die bei hohen Geschwindigkeiten optimal läuft. Somit können beide Sektionen des Triebwerks ihren höchsten Wirkungsgrad erreichen. Das PW1000G kommt mit 15% CO₂-Einsparung 2014 auf den Markt.

Um 2025 werden verbesserte Fantechnologien, z. B. der CRISP (gegenläufiger ummantelter Propfan) mit 20 %, und ab 2035 neue Kerntriebwerke z. B. mit Wärmetauscher mit 30 % CO₂-Reduktion verfügbar sein. Die MTU Aero Engines ist an der Erforschung und Entwicklung all dieser Zukunftstechnologien beteiligt.

Alternative Kraftstoffe

Das Zeitalter fossiler Energieträger geht aus Gründen der Klimawirksamkeit und der zunehmenden Verteuerung (Verknappung nach „Peak-Oil“-Zeitpunkt) dem Ende zu. Für die Substitution des aus Erdöl hergestellten Kerosins werden verschiedene Treibstoffe untersucht.

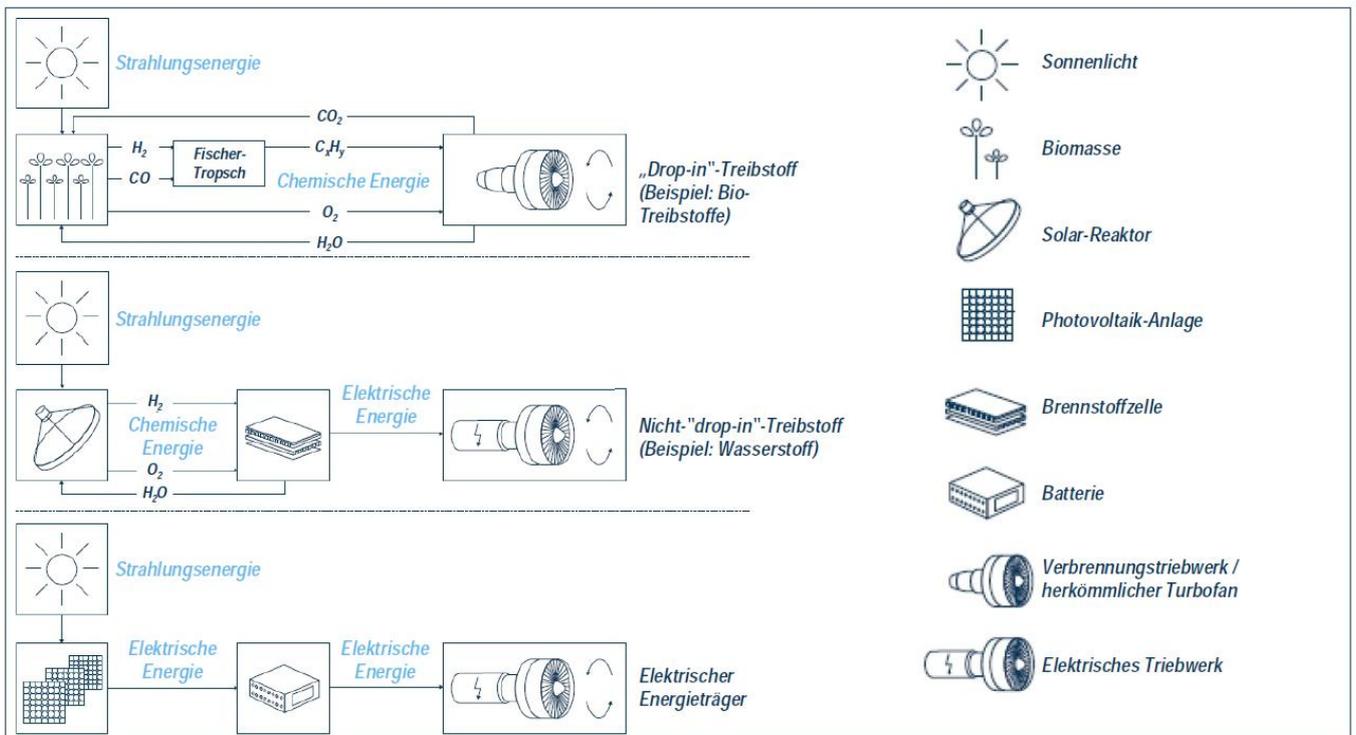
Wünschenswerte Eigenschaften sind:

- Geringe Modifikationen an Flugzeug und Triebwerk
- Einfache Infrastruktur am Boden
- Technologiereife

Notwendige Eigenschaften sind:

- Hohe gravimetrische Energiedichte [MJ/kg]
- Hohe volumetrische Speicherkapazität [MJ/l]
- Sicherheit: niedriger Gefrierpunkt, hoher Siedebereich
- Langfristig gesicherte Verfügbarkeit
- Geringe Klimawirksamkeit

Die MTU Aero Engines beteiligt sich über das „Bauhaus Luftfahrt“ an Forschungsprojekten zur Zukunft der Luftfahrt. Die Wissenschaftler ziehen als künftige Flugzeugantriebe (M4) synthetische Kraftstoffe aus Biomasse (M5), Solarkerosin, Wasserstoff für Brennstoffzellen und elektrisches Fliegen in Betracht.



M4: Optionen für alternative Flugkraftstoffe und Energieträger (Quelle: Bauhaus Luftfahrt e. V.)

Der erste längere Versuch mit Biokerosin unter Realbedingungen wurde von Juli bis Dezember 2011 mit einem Airbus 321 der Lufthansa durchgeführt, wobei das Flugzeug 1.187-mal zwischen Hannover und Frankfurt im Einsatz war. Eines der beiden V2500-Triebwerke wurde mit einem 50:50-Gemisch aus Kerosin und Biokerosin versorgt, wozu Veränderungen am Flugzeug nicht erforderlich waren (Drop-In-Treibstoff). Die 800 für den Versuch benötigten Tonnen Biokraftstoff stellten die bis dahin größte je erzeugte Menge an HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) dar. Als Rohstoffe dienten Leindotteröl aus den USA (80 %), Purgiemussöl aus Indonesien (15 %) und Schlachtabfälle aus Finnland (5 %). Das Forschungsvorhaben unter Mitwirkung der MTU hat die Alltagstauglichkeit von Biokerosin bewiesen. Allerdings ist es noch deutlich teurer als übliches Kerosin. Neben dem Kostenaspekt ist wichtig, dass die künftige Produktion von Biokerosin nicht in Konkurrenz zur Herstellung von Lebensmitteln steht, dass ökologisch unerwünschte Monokulturen vermieden werden und dass die gesamte CO₂-Bilanz günstig ist.

M5: BurnFAIR-Versuch 2011 (Quelle: MTU Aero Engines)

Biokerosin kann über verschiedene Produktionsrouten hergestellt werden, z. B. durch Hydrieren von Pflanzenölen (HVO) oder durch Fischer-Tropsch-Synthese (BTL: Biomass to Liquid). Modifikationen am Flugzeug und Triebwerk sind bei diesen zugelassenen Kraftstoffen nicht nötig, da sie dem mineralischen Kerosin chemisch weitgehend entsprechen. Als Rohstoffe kommen Energiepflanzen, Holz und Bioabfall in Frage, wobei die langfristige Verfügbarkeit und eine durchgehend nachhaltige Produktion auf großen Landflächen aber nicht gesichert sind. Für den Ersatz der in Europa derzeit benötigten Menge Kerosin von 60 Millionen Tonnen pro Jahr durch Biokerosin bräuchte man zwischen 8 und 24 % der europäischen Agrarfläche.

Eine vielversprechende Alternative bietet die Verwendung von Algen als Rohstoff. Geeignete Mikroalgen sind sehr ölhaltig, vermehren sich schnell und bringen über 30-mal mehr Biomasse pro Flächeneinheit als etwa Raps hervor. Die Ansprüche an die Anbauflächen sind gering, und zur Bewässerung kann Salz-, Schmutz- und sogar Industrieabwasser verwendet werden. Zudem nehmen die Algen bei der Photosynthese viel CO₂ auf. Versuchsanlagen werden auf Big Island im US-Bundesstaat Hawaii betrieben.

Solarkerosin oder STL (Solar-to-Liquid) kann auch mit dem Fischer-Tropsch-Verfahren hergestellt werden. Dabei wird der Umweg über die Biomasse vermieden und konzentrierte Sonnenenergie direkt zur Erzeugung von Synthesegas (H₂ und CO) aus CO₂ und Wasser genutzt. Die Machbarkeit der Herstellung von Solarkerosin ist in den USA und der Schweiz nachgewiesen worden, an der Technologiereife zur industriellen Herstellung wird noch gearbeitet.

Wasserstoff hat eine hohe Energiedichte, doch das Speichervolumen ist sehr groß. Das Flugzeug benötigt einen großen, für den -256 °C kalten Wasserstoff aufwändig isolierten Tank. Die direkte Verbrennung in üblichen Triebwerken ist mit geringen Modifikationen möglich. Alternativ kann Wasserstoff auch über eine Brennstoffzelle ein Elektrotriebwerk in Gang setzen. In beiden Fällen wird kein CO₂ freigesetzt, aber eine erhebliche Menge Wasserdampf. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt betreibt bereits ein kleines Brennstoffzellenflugzeug, das bisher nur seinen Piloten transportieren kann.

Elektroantriebe für Flugzeuge scheitern bisher an den verfügbaren Energiespeichern, deren heutige Energiedichte und Speicherkapazität um den Faktor 10 bis 20 verbessert werden müssen. Die großen Fortschritte der vergangenen Jahre in der Batterietechnik sind aber vielversprechend.



M6: Entwurf eines Elektroflugzeugs (Quelle: Bauhaus Luftfahrt e. V.)

Treibstoff/Energieträger	Quelle	Energiedichte	Modifikationen	Technologie- reife	Langfristige Verfügbarkeit	Klima- wirksamkeit
Kerosin						
BTL- oder HVO-Kerosin						
STL-Kerosin						
Flüssiger Wasserstoff						
Elektrische Batterie						

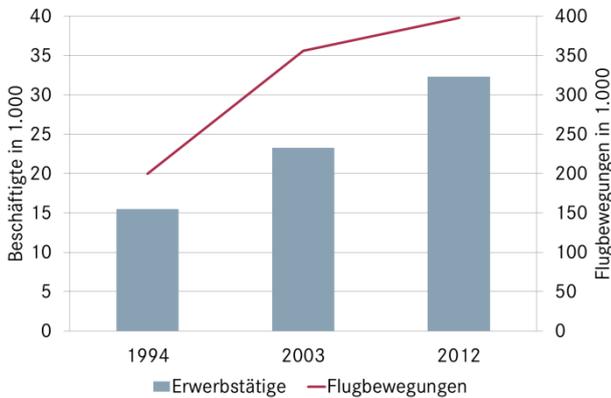
M7: Bewertungsmatrix der Kraftstoffe und Flugantriebe (Quelle: MTU Aero Engines)

AUFGABEN

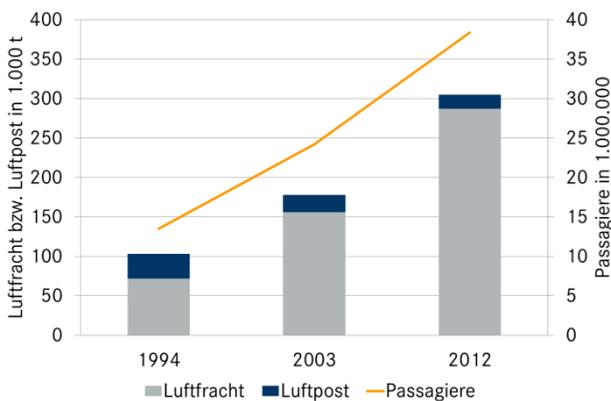
- A1: Ordnen Sie die mit dem Luftfahrt-RFI abgebildeten Effekte (M1) in den Strahlungshaushalt der Erde ein!*
- A2: Stellen Sie zusammen, welche Herausforderungen bei der Optimierung des Luftverkehrsmanagements bestehen!*
- A3: Arbeiten Sie für den fächerübergreifenden Unterricht mit Physik ein Referat zur CRISP-Technologie und zum Wärmetauscher-Propfan aus!*
- A4: Erklären Sie am Beispiel des Biokerosins, was unter der gesamten CO₂-Bilanz eines Energieträgers zu verstehen ist!*
- A5: Bewerten Sie in einer tabellarischen Übersicht (M7) die alternativen Flugtreibstoffe. Geben Sie jeweils die Rohstoffquelle an und füllen Sie die restlichen Felder mit Signaturen für „günstig“, „nicht einwandfrei“ und „ungünstig“!*
- A6: Begründen Sie, warum im globalen Maßstab die langfristige Verfügbarkeit und die durchgehend nachhaltige Produktion von Bio-Rohstoffen auf großen Flächen nicht gesichert sind!*
- A7: Begründen Sie, warum der Elektroantrieb bei entsprechender Technologiereife besonders nachhaltig wäre!*

6 Wirtschaftsdynamik in Wachstumsräumen – Flughafenregion München

Der Raum München gehört zu den dynamischsten Regionen Deutschlands. Ein wichtiger Standortfaktor ist der Großflughafen München „Franz Josef Strauß“ (MUC).



M1: Erwerbstätige und Flugbewegungen
(Quelle: Flughafen München)



M2: Luftfracht, Luftpost und Passagiere
(Quelle: Flughafen München)

Verkehrsmittel	Kilometerleistung 2012
Flugzeug	24.104.632
Dienstfahrzeuge	2.082.780
Mietfahrzeuge	1.471.406
Bereitschaftsfahrzeuge	62.400
Eisenbahn	303.709

M3: Dienstreisen der MTU Aero Engines

M6: Airbus A380 mit vier GP7000-Triebwerken am Flughafen München (Quelle: MTU Aero Engines)



- Die Luftverkehrsankündigung ist für 86 % der in den Flughafenumlandregionen Deutschlands befragten international tätigen Unternehmen ein sehr wichtiger oder wichtiger Standortfaktor für ihr Investitionsengagement.
- Internationale Direktinvestitionen konzentrieren sich vor allem auf die Regionen Frankfurt/Rhein-Main, Rhein-Ruhr, München und Hamburg, die über eine besonders attraktive Luftverkehrsankündigung verfügen.
- Die mit dem Flugzeug nach Deutschland einreisenden Übernachtungsgäste tätigten hier im Jahr 2007 Ausgaben in Höhe von 15,6 Milliarden Euro. Dadurch werden in Deutschland über 390.000 Arbeitsplätze gesichert.

M4: Studie „Effekte des Luftverkehrs“ von 2008
(Quelle: European Center for Aviation Development)

Der Münchener Verkehrsflughafen hatte ab 1920 seinen ersten Standort auf dem Oberwiesenfeld am heutigen Olympiapark. In unmittelbarer Nachbarschaft befanden sich Unternehmen, die Flugzeuge oder Flugmotoren herstellten: Rapp, Otto, Rumpler, die Bayerischen Flugzeugwerke und die Bayerischen Motorenwerke. Die Zentrale von BMW befindet sich immer noch an dieser Stelle.

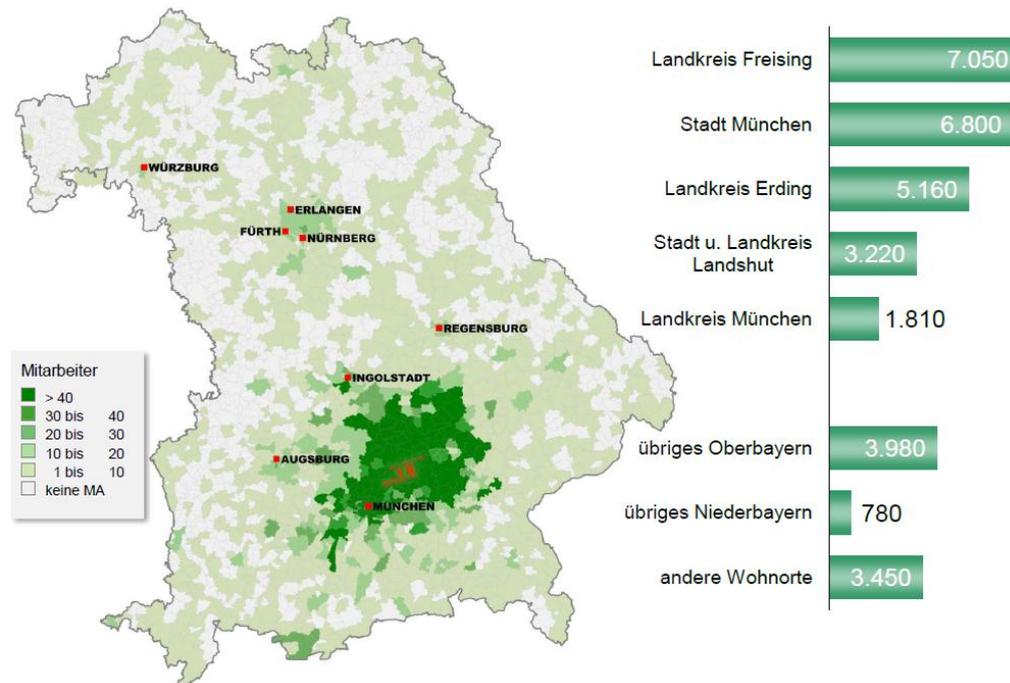
Mit wachsenden Passagierzahlen und immer größeren Flugzeugen wurde ein neues Flughafengelände nötig. Im Jahr 1939 erfolgte der Umzug an den Standort Riem im Osten Münchens, wo sich heute die Messe, ein Einkaufszentrum und ein Park befinden.

Aufgrund der Ausweitung des Luftverkehrs und nach einem Flugzeugunglück ging man 1963 wieder auf die Suche nach einem neuen Standort. In der engeren Auswahl waren Mammendorf bei Fürstenfeldbruck und der letztlich gewählte Standort im Erdinger Moos, beide etwa 35 km vom Zentrum Münchens entfernt. Die Planungsphase begann 1969, und 1992 konnte der neue Großflughafen München eröffnet werden. Seither stufenweise erweitert und zum Luftdrehkreuz ausgebaut, hat er eine Kapazität von 90 Flugbewegungen pro Stunde und eine Kapazität von etwa 50 Millionen Passagieren pro Jahr.

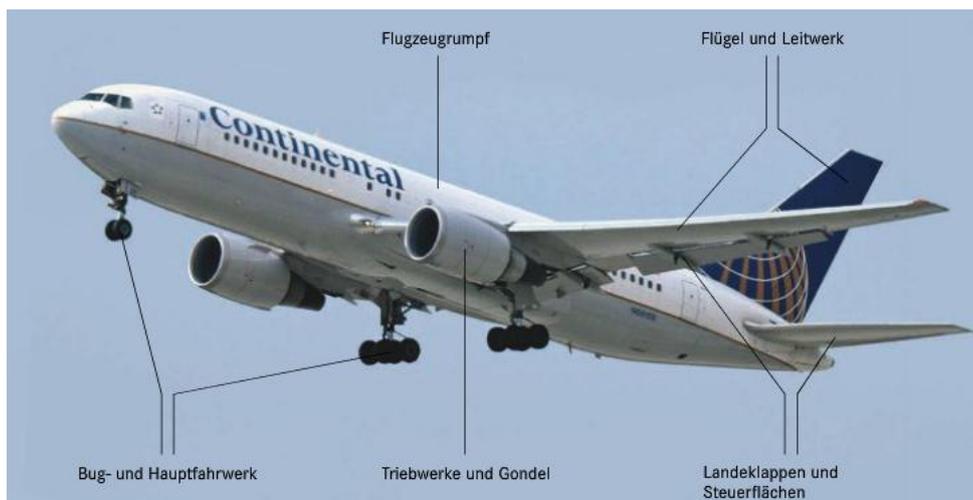
M5: Stationen des Flughafens München

Auf dem Gelände des Flughafens München sind 32.250 Menschen beschäftigt. Die Bruttolohnsumme für 2012 beträgt 1.386 Millionen Euro, sodass sich ein durchschnittlicher Jahresbruttoverdienst von 42.965 Euro ergibt. Im Deutschlandvergleich bekommen Arbeitnehmer der relevanten Branche „Dienstleistungen für den Verkehr“ durchschnittlich 33.216 Euro im Jahr. Von den 32.250 Beschäftigten arbeiten rund 8.200 für den FMG-Konzern (Flughafen München GmbH) und etwa 10.800 für den Lufthansa-Konzern. Insgesamt gibt es 552 Unternehmen auf dem Flughafengelände. Dazu kommen rund 200 Unternehmen im „MUC Airport Business Park Hallbergmoos“ mit über 4.000 Beschäftigten, das Post- und Paketzentrum der Deutschen Post und die Gewerbeparks in umliegenden Gemeinden wie Schwaig und Eitting.

M7: Beschäftigte am Flughafen München 2012 (Quelle: Flughafen München)



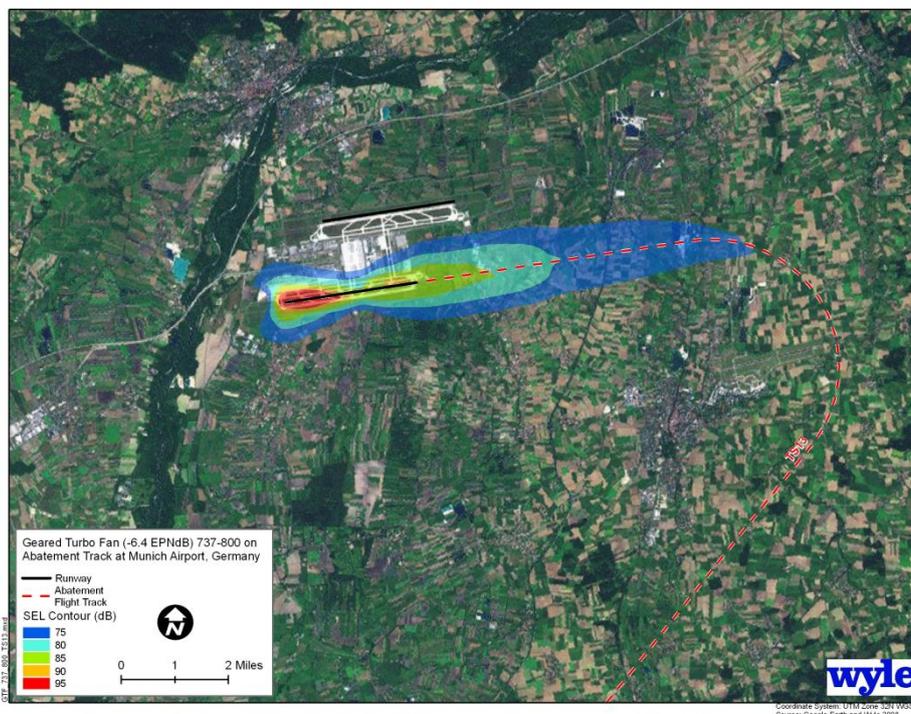
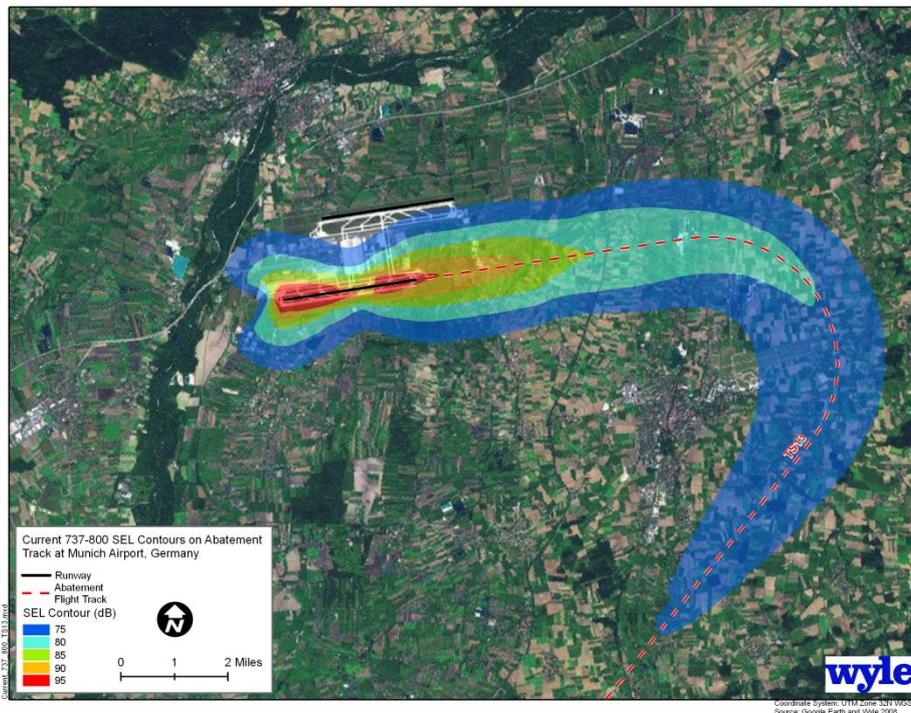
M8: Wohnorte der auf dem Flughafengelände Beschäftigten 2012 (Quelle: Flughafen München)



M9: Typische Lärmquellen am Flugzeug (Quelle: MTU Aero Engines)

Auf nahezu allen Flughäfen der Europäischen Union und der USA sind Lärmabgaben zu bezahlen, die Grenzwerte werden laufend verschärft. Das Triebwerk ist neben dem Fahrwerk, dem Flugzeugrumpf und den Flügeln die wesentliche Quelle für Schallentwicklung (M9). Getriebefan-Triebwerke wie das neue PW1000G, an deren Entwicklung die MTU Aero Engines beteiligt ist, reduzieren den hörbaren Lärm um 50 % und lassen die von Lärm betroffene Fläche um 70 % schrumpfen (M10).

M10: Lärmkonturen beim Anflug eines heutigen Flugzeugs und eines neuen Flugzeugs mit Getriebefan (Quelle: MTU Aero Engines)



AUFGABEN

- A1: Weisen Sie die Wirtschaftsdynamik des Großraums München anhand geeigneter Atlaskarten nach!
- A2: Begründen Sie mit einem geeigneten Stadtentwicklungsmodell die Wahl der Standorte der Münchener Flughäfen!
- A3: Diskutieren Sie zu zweit die Entwicklung der Fracht-, Luftpost- und Passagierevolumina seit 1994 (M2)!
- A4: Erklären Sie die Verteilung der Dienstreisekilometer auf die Verkehrsmittel bei der MTU Aero Engines (M3)!
- A5: Stellen Sie in Partnerarbeit die günstigen und die ungünstigen Einflüsse des Flughafens auf die Betroffenen gegenüber!
- A6: Interpretieren Sie die räumliche Verteilung der Wohnorte der Flughafen-Beschäftigten (M8)!
- A7: Interpretieren Sie M10 und erstellen Sie mit Hilfe des Atlas' eine Nutzungsskizze! Bewerten Sie die Getriebefan-Technologie bezüglich ihres Potenzials, die Interessen der am Flugbetrieb Beteiligten auszugleichen (A5)!
- A8: Kartieren Sie mit Hilfe von Stanly-Track (www.dfs.de) die momentanen Flüge unter 3.000 Fuß am Flughafen München!

7 Standortentscheidungen in der globalisierten Welt

7.1 Blisk-Produktion bei der MTU Aero Engines in München

Die MTU hat die Getriebefantriebwerke der PW1000G-Familie gemeinsam mit dem US-amerikanischen Hersteller Pratt&Whitney entwickelt (vgl. Kapitel 2, M2). Die wesentliche Innovation ist der Einsatz eines Getriebes, das es dem Fan erlaubt, langsamer als die Niederdruckturbine zu laufen. Dadurch werden Kerosin- und CO₂-Einsparungen von mindestens 15 % und die Reduktion der wahrnehmbaren Schallentwicklung um etwa 50 % erreicht. Für das Triebwerk sind, noch vor dem Beginn der Serienproduktion im Jahr 2014, bis Mitte 2013 über 3.000 Bestellungen von Seiten der Fluggesellschaften eingegangen.

Die Airlines werden das PW1000G vor allem beim Airbus 320neo (= new engine option), der kanadischen Bombardier C-Series und dem brasilianischen Embraer E-Jet einsetzen. Die MTU Aero Engines ist am PW1000G-Programm mit der schnell laufenden Niederdruckturbine und vier Stufen des Hochdruckverdichters beteiligt. Für die Niederdruckturbine, bei der die Entwicklungsingenieure einen besonders hohen Wirkungsgrad erreicht haben, wurde die MTU 2013 mit zwei deutschen Innovationspreisen ausgezeichnet. Den Hochdruckverdichter statten die Münchener mit Blisks (Blade integrated Disks) aus.

Eine aus einem Stück gefertigte Blisk ersetzt eine mit Schaufeln bestückte Scheibe, wobei sie belastbarer und leichter ist. Außerdem entfällt der Aufwand für die Montage der einzelnen Schaufeln (M1).



M1: Blisk für das PW1000G-Triebwerk (Quelle: MTU Aero Engines)



M2: Arbeitsplätze an Dreh-Fräs-Maschinen (Quelle: MTU Aero Engines)

Interview mit Jürgen Eschenbacher

(Leiter Geschäftsentwicklung und Getriebefan-Programme)

Was macht die Blisk-Fertigung bei der MTU so besonders?
Wir stellen Blisks für das Eurofighter-Triebwerk EJ200 in mittleren Stückzahlen schon seit Jahren her, daher können wir in München auf umfangreiche technologische Erfahrungen zurückgreifen. Die Herausforderung ist der schnelle Hochlauf der Produktion auf 3.000 Blisks pro Jahr für den zivilen Markt. Die Nachfrage der Airlines hat unsere Erwartungen übertroffen.

Warum hat die MTU dafür eine neue Halle gebaut?

Unsere Kunden erwarten höchste Qualität bei absoluter Liefertreue. Um das bei den großen Stückzahlen zu erreichen, haben wir ein optimiertes Produktionskonzept entwickelt. Der Aufbau der neuen, 10.000 m² großen Blisk-Halle folgt der Funktion des flexiblen Fertigungssystems (M2 und M3). Dazu gehört auch, dass die Bauteile computergesteuert zwischen den Maschinen transportiert werden. Die Büros sind so gestaltet, dass die Blisk-Entwickler, die Programmierer, die Arbeitsvorbereitung und die Qualitätsprüfer beieinander sitzen. So können Sie ihre langjährige Erfahrung bündeln und jederzeit einen stabilen Produktionsfluss sicherstellen. All das haben wir nicht zuletzt wegen unseres ausgeklügelten Projektmanagements erreicht.

Kann man das nicht auch im Ausland machen?

Wir haben auch ausländische Standorte geprüft. Dort sind die schnellen Durchlaufzeiten und die hohen Stückzahlen aber nicht gewährleistet. Für München spricht neben den bereits genannten Faktoren und der sehr guten Infrastruktur außerdem die Lage im Luftfahrtcluster München-Augsburg. Hier gibt es spezialisierte Lieferanten, mit denen erfolgreiche Geschäftsbeziehungen bestehen. In Deutschland werden unsere Anstrengungen bei der Entwicklung kerosinsparender Triebwerke zudem vom Luftfahrtforschungsprogramm des Wirtschaftsministeriums honoriert. Und mit den Hochschulen und Universitäten stehen unsere Technologiespezialisten in regem Austausch.



M3: Neue Blisk-Halle (Quelle: MTU Aero Engines)

Wettbewerbsvorteile nach Michael Porter

Basisstrategien

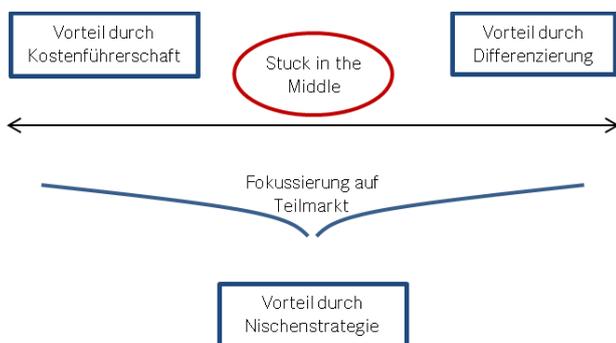
Nach Michael Porter, Luft- und Raumfahrtingenieur und Professor für Wirtschaftswissenschaften an der Harvard Business School, haben Unternehmen die Wahl zwischen drei grundlegenden Wettbewerbsstrategien (M4).

Der Kostenführer optimiert seine Produktion dergestalt, dass er ein Standardprodukt (im Sinne von Massenware) kostengünstiger als die Wettbewerber herstellen kann. Er begnügt sich mit einer geringen Gewinnspanne, wenn er den eigenen Kostenvorteil zum Preisvorteil seiner Kunden machen will. Dadurch gewinnt der Kostenführer Marktanteile und kann mit entsprechend großem Absatz überdurchschnittlich profitabel sein. In der Automobilindustrie versuchen einige Hersteller aus Niedriglohnländern, auf diese Weise erfolgreich zu sein.

Folgt ein Unternehmen der Differenzierungsstrategie, so bietet es einzigartige Produkte an, die einen besonderen Nutzen für anspruchsvolle Kunden schaffen. Die Abnehmer sind dann bereit, höhere Preise zu akzeptieren. Dadurch kann das herstellende Unternehmen im Vergleich zu den Produkten der Wettbewerber eine größere Gewinnspanne durchsetzen und auch bei geringerem Absatz gewinnstark sein. Die meisten deutschen Automobilhersteller folgen mit ihren Premiummarken dieser Strategie.

Mit einer erfolgreichen Nischenstrategie hingegen gelingt es einem Hersteller, sich auf einen abgegrenzten Markt zu fokussieren. Wenn es keine oder nur schwache Wettbewerber gibt, kann er in der Nische sowohl Kostenführer, als auch Anbieter eines hoch differenzierten Produkts sein.

Versucht ein Unternehmen, ohne Fokussierung den Mittelweg zwischen Kostenführerschaft und Differenzierung zu beschreiten, bietet es im Vergleich zu den Wettbewerbern dem Kunden weder einen Preisvorteil, noch einen besonderen Nutzen. Es wird allenfalls eine geringe Profitabilität erzielen können. Porter nennt diese Situation „Stuck in the Middle“. In eine solche Lage kann ein Unternehmen auch geraten, wenn es Differenzierungs- oder Kostenvorteile in einem sich wandelnden Wettbewerbsumfeld nicht nachhaltig absichert.

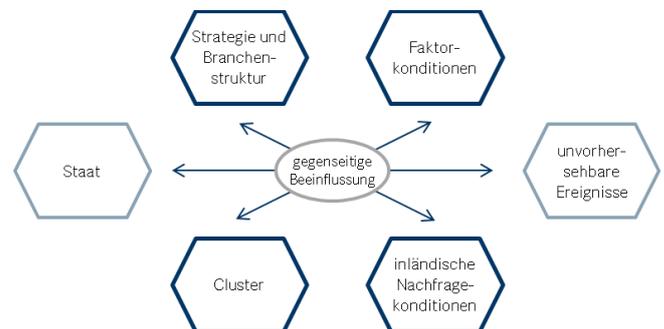


M4: Wettbewerbsstrategien nach Porter

Nationale Wettbewerbsvorteile

Die erfolgreiche Umsetzung der Basisstrategien hängt wesentlich von den Standortbedingungen an der Produktionsstätte ab. Diese Bedingungen variieren nicht nur innerhalb von Staaten, sondern auch im internationalen Maßstab. Michael Porter identifiziert in seinem Diamanten-Modell sechs wirtschaftsgeographisch bedeutsame Einflussfaktoren auf nationale Wettbewerbsvorteile:

- Faktorkonditionen: Verfügbare Produktionsfaktoren
 - Qualifizierte Facharbeiter
 - Rohstoff- und Energieressourcen
 - Know-how von Spezialisten und Forschungseinrichtungen
 - Kapital und geringe Kapitalkosten
 - Infrastruktur für Transport und Kommunikation
- Inländische Nachfragekonditionen: Innovations- und Qualitätsdruck durch anspruchsvolle Kunden im Heimatmarkt
- Verwandte und unterstützende Branchen: räumliche Cluster zur Förderung von Innovationen
- Unternehmensstrategie und Branchenstruktur: Förderung von Innovation durch Wettbewerb
- Staat: Fördermaßnahmen, Konjunkturprogramme, Rechtssicherheit, Gesetzgebung
- Unvorhersehbare Ereignisse



M5: Diamantenmodell der nationalen Wettbewerbsvorteile nach Porter

AUFGABEN

A1: Erklären Sie anhand des Konzepts der Wettbewerbsvorteile von Porter ausführlich, warum sich die MTU Aero Engines beim Aufbau ihrer Blik-Produktion für München entschieden hat!

A2: Recherchieren Sie mindestens fünf weitere Unternehmen der Luft- und Raumfahrtindustrie mit einem Standort im Großraum München-Augsburg! Recherchieren Sie ebenfalls mindestens drei Einrichtungen der Luft- und Raumfahrtforschung im Cluster!

A3: Stellen Sie den Studiengang „Luft- und Raumfahrttechnik“ in Referatform vor und erläutern Sie dabei die Relevanz dieser Wissenschaft für den Standort Deutschland!

7.2 Produktionsstrategie

Interview mit Peter Kühnl

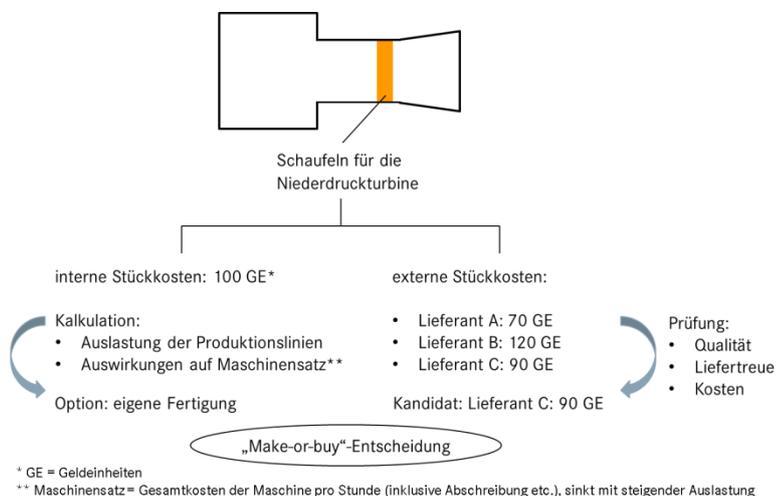
(Fachstelle Ressourcenplanung)

Wie ich bisher verstanden habe, baut man Standardprodukte im kostengünstigeren Ausland, und technologisch hochwertige Teile werden in Deutschland hergestellt. Ist das so?
Grundsätzlich stimmt das. In München bewegen wir uns mit unseren Bauteilen, Prozessen und Anlagen im High-End-Bereich. Man nennt das auch Level-1-Technologie. Die MTU Aero Engines braucht für die Bauteile, die sie an ihre Kunden liefert, aber auch Komponenten, die technologisch eine Klasse tiefer liegen, auf Level 2 (M2). Typischerweise erfordern diese einen höheren Anteil manueller Arbeiten.

Kommen diese Zulieferprodukte aus Niedriglohnländern?
Das sind keine Niedriglohnländer im klassischen Sinne. Es muss dort immerhin auf dem nicht trivialen Level 2 produziert werden können. Günstiger als in Deutschland geht das in der geforderten Qualität zum Beispiel bei unseren Lieferanten in Mexiko, Israel oder auch in den USA.

Von solchen Lieferanten kommt also alles zur MTU, was nicht absolutes High-Tech ist?

Ganz so einfach ist es nicht. Wir stellen Level-2-Produkte selbst her, wenn sie zu den Kernkompetenzen der MTU gehören. Dieses Know-how wollen wir im Haus behalten. Außerdem ist das Einkufen von Level-2-Teilen nicht zwangsläufig kostengünstiger als die Produktion in München. Bei einer „Make-or-buy“-Entscheidung (M1) prüfen wir die Angebote von Zulieferern genau hinsichtlich der zu erwartenden Produktqualität und Liefertreue. Wir stehen ja bei unserem Kunden für die Teile gerade. Selbst wenn die externen Stückkosten für die Zulieferteile günstiger sind als unsere internen, kann die Entscheidung zugunsten der Eigenproduktion fallen. Das kommt insbesondere vor, wenn durch die Fremdvergabe die MTU-interne Auslastung des Personals und der Maschinen, die auch Fixkosten verursachen, zu niedrig wäre.



Und die Level-1-Teile produzieren Sie nur in München?

Es gibt Level-1-Komponenten, die wir anteilig von Zulieferern einkaufen. Man nennt das ‚Second Source‘. Wir erhalten damit einerseits unsere System- und Kernkompetenz, und andererseits können wir Nachfrage- und somit Produktionsschwankungen abfangen, indem wir beim Lieferanten mehr oder weniger einkaufen. Denn damit wir in München kostenoptimiert herstellen können, halten wir die Auslastung konstant, was teure Umstellungsphasen vermeidet. Beispielsweise stellen wir unsere Blisks mehrheitlich in unserer neuen Halle in München her und kaufen gleichzeitig eine kleinere Menge bei unserem amerikanischen Lieferanten ein. Damit können wir bedarfsgerecht „atmen“.

Hat der Zukauf von Bauteilen Auswirkungen auf die Beschäftigungssituation am Standort München?

Ja, und zwar in positiver Hinsicht. Wir schaffen durch die Auslagerung der Level-2-Produktion personelle Kapazitäten, die bei der vermehrten Herstellung von Level-1-Teilen zum Einsatz kommen. Somit wird die Wettbewerbsposition der gesamten MTU gestärkt. Und da wir erfolgreich sind, stellen wir auch am Standort München nach wie vor ein.

AUFGABEN

A1: Entwerfen Sie einen Entscheidungsbaum für die Optionen bei der Teileproduktion bzw. -beschaffung! Diskutieren Sie mit Hilfe dessen die Aussage, der Standort Deutschland sei im internationalen Vergleich zu teuer!

A2: Erklären Sie, welche Vorteile das neu errichtete MTU-Werk in Polen im Sinne der Produktionsstrategie bietet! Nehmen Sie dabei auch Bezug auf den Entscheidungsbaum!



M2: Level-2-Bauteile: Leitschaufeln, verbaut in der Niederdruckturbinen des V2500
(Quelle: MTU Aero Engines)

M1: Globale Ressourcenplanung (Quelle: MTU Aero Engines)

7.3 Aufbau des Standorts MTU Aero Engines Polska

Die MTU Aero Engines hat sich 2007 entschieden, einen Produktionsstandort im europäischen Ausland zu errichten (M1). Es wurde das polnische Rzeszów gewählt, wo hauptsächlich Tätigkeiten mit einem höheren manuellen Anteil stattfinden (M2, M4). Dazu gehört auch die Modulmontage der Niederdruckturbinen für das V2500-Triebwerk. An diesem Beispiel ist erkennbar, wie die in der MTU geleisteten Herstellungsschritte in eine globalisierte Produktionskette eingebunden sind (M3).



M1: Bauphase in Rzeszów (Quelle: MTU Aero Engines)

Standort

- Stadtrand am Flughafen von Rzeszów (Zentrum Südostpolens, 170.000 Einwohner, „Aviation Valley“)
- Verkehrsknoten und Nähe zu Ukraine und Slowakei

Aufbau und Erweiterung

- Errichtung auf der „grünen Wiese“ 2008/2009, Investition über 50 Millionen Euro
- Erweiterung 2013/2014, Investition 40 Millionen Euro
- Entwicklung des Personalstands: 250 (2009), 500 (2013), 750 (Plan für 2020)

Produktion

- Turbinenschaufeln, Vorarbeiten, Modulmontage
- Hochmoderner Maschinenpark

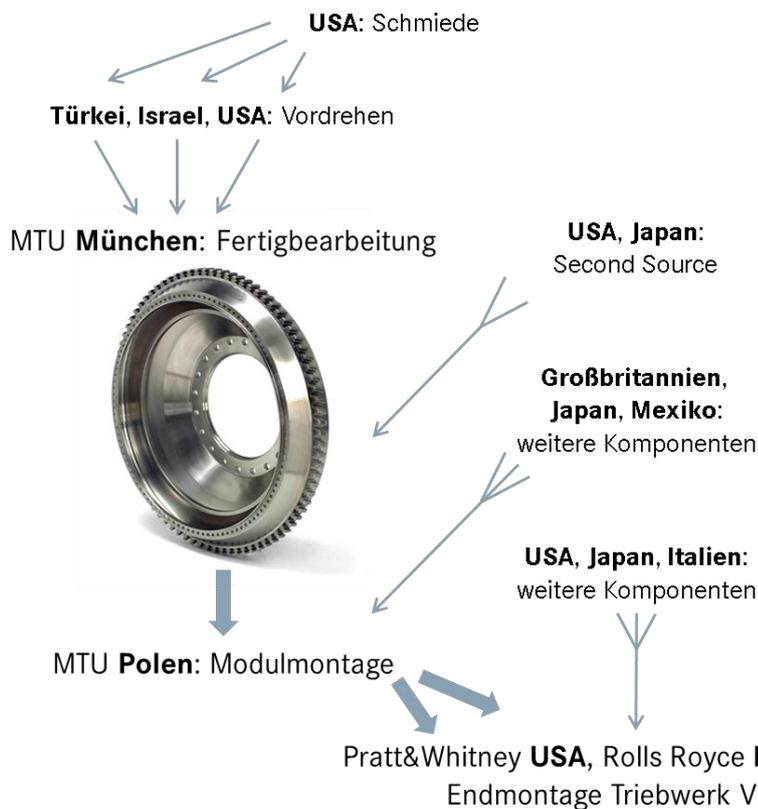
Triebwerksreparatur

- Rohrleitungen
- Zentrales Lager für bestimmte Teile

Entwicklung

- Konstruktion von Vorrichtungen
- Einrichtungen für Triebwerkstests
- Software
- Exzellenzzentrum für ungekühlte Triebwerksschaufeln

M2: MTU Aero Engines Polska



Fluggesellschaften in aller Welt:
Betrieb über 30 bis 40 Jahre



Airbus **Frankreich**:
Einbau in A320-Familie

M3: Globalisierte Produktionskette der Niederdruckturbinen-Scheibe für das V2500-Triebwerk (Quelle: MTU Aero Engines)

Interview mit Leonhard Fürg
(Projektmanager Ausbau MTU Aero Engines Polska)

Wie sind Sie bei der Standortwahl vorgegangen?

Wir haben uns an einem Filterprozess orientiert (M6). Die Auswahl der Staaten Polen und Rumänien war mit Recherchen vom Schreibtisch aus machbar. In die engere Wahl kamen anschließend einzelne Regionen. Kriterien waren eine technische Hochschule, das Vorhandensein von Unternehmen der Luftfahrtindustrie sowie die Erreichbarkeit eines internationalen Flughafens in maximal ein bis zwei Stunden. Somit konnten wir uns für die weiteren Schritte auf die Wirtschaftsräume Kronstadt (Braşov), Breslau (Wrocław) und Rzeszów fokussieren.

Was haben Sie vor Ort in diesen Regionen gemacht?

Bei unseren mehrtägigen Aufenthalten haben wir uns verfügbare Grundstücke angesehen. Wichtig war, inwiefern sie für unsere Nutzung geeignet sind und welche Infrastruktur vorhanden ist. Freilich standen Gespräche mit den Gemeindeverwaltungen auf dem Programm, und über das Angebot an geeignetem Personal haben wir mit örtlichen Hochschulprofessoren und Berufsschulen gesprochen. Andere Unternehmen, die vor Ort investiert hatten, befragten wir nach ihren Erfahrungen. Schließlich wollten wir noch die Attraktivität der Orte für unsere Arbeitnehmer einschätzen. All dies wurde mit einer Entscheidungsmatrix (M5) bewertet. Unsere Top-Kandidaten haben wir anschließend dem Technik-Vorstand der MTU gezeigt. So fiel die Entscheidung für Rzeszów.

Wie haben Sie geeignetes Personal gefunden?

Die Hochschulen und Berufsschulen im Raum Rzeszów bringen geeignete Absolventen hervor. Die Ausbildungsrichtungen in der Metalltechnik und der Luftfahrttechnik werden angeboten, da auch andere Unternehmen der Aerospace-Branche wie Pratt&Whitney, Sikorski und Snecma vor Ort sind. Trotzdem haben wir nach der Eröffnung unseres Werks die 250 neuen polnischen MTU-Beschäftigten sechs Monate lang in München qualifiziert, damit sie unsere Technologien, Systeme und Prozesse kennenlernen. Das war natürlich eine große Investition, und sie hat sich ausgezahlt.



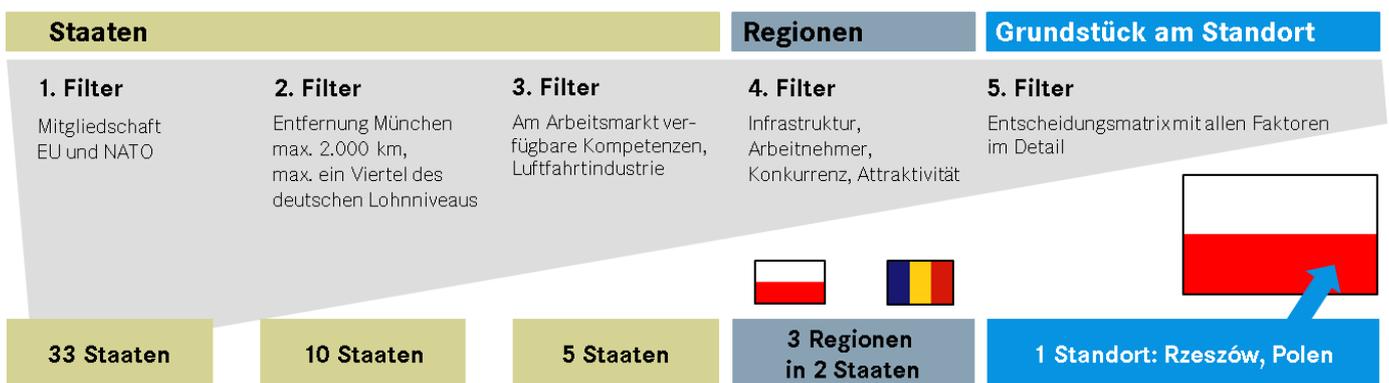
M4: Montage von Triebwerksschaufeln (Quelle: MTU Aero Engines)

Ist die MTU in Rzeszów ein attraktiver Arbeitgeber?

Und ob! Wir bieten weitreichende Sozialleistungen, Expertenschulungen und einen leistungsgerechten Lohn. Die polnischen Bewerber sprechen gut Englisch und viele haben schon einige Zeit im Ausland gearbeitet. Sie wollen sich die neuesten Technologien aneignen, deshalb kommen die Mitarbeiter auch gern zur Qualifikation nach München. Dass wir ein Exzellenzzentrum für die Entwicklung ungekühlter Schaufeln bei MTU Aero Engines Polska eingerichtet haben, steigert die Attraktivität des Standorts für unsere polnischen Fachkräfte.

Kriterium	Gewichtung	Standort A	Standort B	Standort C
1. Infrastruktur	8	7	9	...
Grundstück				
Ver- und Entsorgung, Energie				
Transportinfrastruktur				
2. Human Resources	10	8	7	...
3. Wirtschaftsraum	6	7	8	...
4. Standortattraktivität	4	9	3	...
5. Kosten	9	6	8	...
6. Förderungen	9	7	8	...
Gesamt		331	346	...
Rang		7	6	...

M5: Entscheidungsmatrix zur Standortwahl (Auszug)
(Quelle: MTU Aero Engines)



M6: Filterprozess der Standortwahl (Quelle: MTU Aero Engines)

AUFGABEN

- A1: Recherchieren Sie die vom Flughafen Rzeszów aus angebotenen Direktflüge und die Lage der Stadt im Fernstraßennetz! Beurteilen Sie die Erreichbarkeit von Rzeszów per Flugzeug und Lastwagen von den MTU-Standorten München, Hannover und Berlin aus!*
- A2: Bestimmen Sie mit Hilfe einer geeigneten Atlaskarte und M3 den längsten Pfad in der Produktionskette von der Schmiede über die MTU bis zum Flugzeughersteller (ohne Second Source und Komponentenanlieferung). Geben Sie die ungefähre Entfernung der Luftlinie an!*
- A3: Stellen Sie in Partnerarbeit mögliche ökologische und wirtschaftliche Probleme zusammen, die sich aus der globalisierten Produktionskette ergeben können. Vergleichen Sie diese mit den Problemen der globalisierten Herstellung von Textilien (Lehrbuchdarstellungen), deren wesentliche Schritte in den Entwicklungsländern stattfinden!*
- A4: Begründen Sie die Kriterien des ersten Filters (M6)!*
- A5: Begründen Sie, warum das Vorhandensein von Unternehmen der Luftfahrtindustrie für die MTU Aero Engines ein Muss-Kriterium ist, auch wenn man um dieselben Arbeitskräfte konkurriert!*
- A6: Ergänzen Sie die Entscheidungsmatrix (M5) mit Unterpunkten und diskutieren Sie die gegebene Gewichtung!*
- A7: Führen Sie ein Rollenspiel zu folgendem Thema durch: Ein lokaler Politiker fordert, dass die Löhne am Standort Rzeszów denen am Standort München angeglichen werden. Ein Vertreter der Unternehmen in der Region spricht sich für die moderate Lohnsteigerung von 5 % pro Jahr aus. Bilden Sie zwei Gruppen, sammeln Sie für Ihre Position gemeinsam Argumente und wählen Sie jeweils einen Vertreter, der im Rollenspiel diskutiert. Ein Schüler moderiert.*

8 Megatrends als Treiber der Luftfahrt

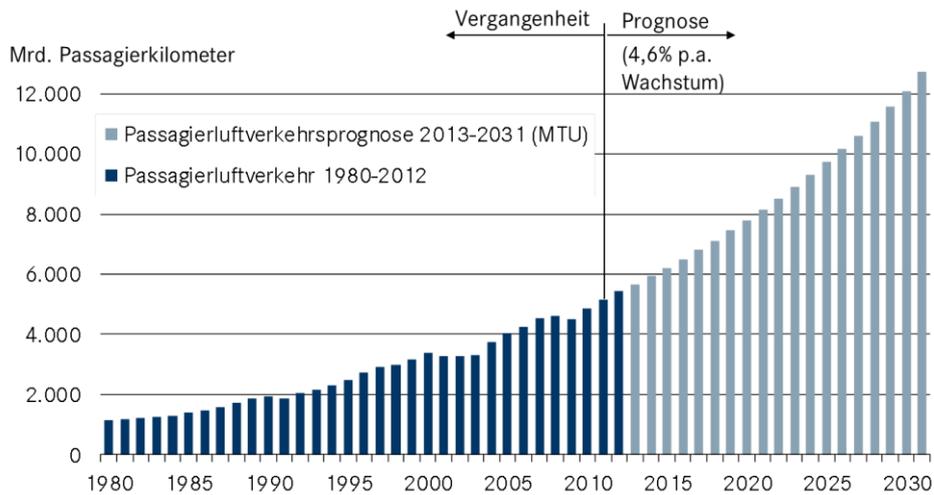
Das globale Triebwerksgeschäft ist an die Passagier- und Frachtkilometer in der Luftfahrt gekoppelt. Von ihnen hängt der Bedarf an neuen Flugzeugen und an Instandhaltungsleistungen ab. Die Prognose für die Zeit bis 2030 (M2) ist vielversprechend und stützt sich auf die Annahme, dass die globalen Megatrends (M1) weiterhin die Zukunft prägen.

Es zeichnet sich ab, dass diese Trends zu einer Verschiebung des wirtschaftlichen Schwerpunkts der Welt in Richtung der Regionen Asien-Pazifik (APac) und Mittlerer Osten (Middle East, ME) führen. Dort wird auch das größte Wachstum des Luftverkehrs erwartet (M3). Anhand der Beispiele China, Indien und Golfregion wird ersichtlich, wie die MTU Aero Engines die Zukunft der Luftfahrt dort mitgestaltet.

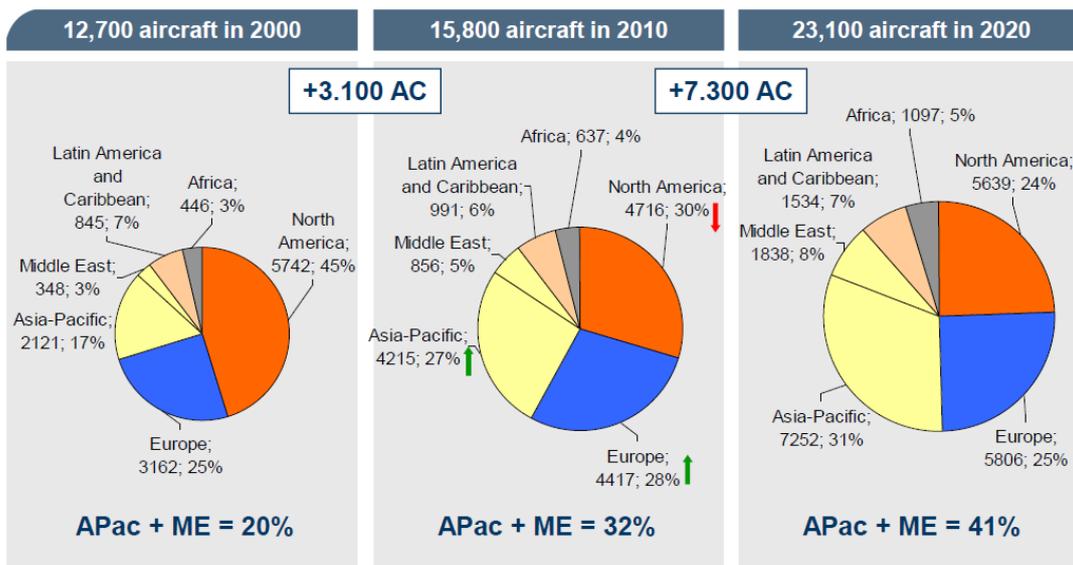
Die globalen Megatrends definieren die Herausforderungen und Chancen unserer Zukunft.

- Bevölkerungswachstum
- Demographischer Wandel
- Verstädterung
- Wachsender Wohlstand
- Moderne Kommunikationstechniken (Digitalisierung)
- Globale Handelsverflechtungen
- Klimawandel und Umweltbelastung
- Ressourcenverknappung
- Postfossile Automobilität und Luftfahrt

M1: Globale Megatrends



M2: Globales Triebwerksgeschäft (Quelle: MTU Aero Engines/ASM März 2013, Ascend; Bemerkung: Passagier- und Frachtflugzeuge mit Turbofan-Triebwerken (Passagier- und Frachtmaschinen, Regionaljets))



Source: Ascend online, MTU/ASM ; active airliners with more than 100 seats and equivalent freighters

M3: Fleet Development follows Wealth and Population: Shift to Asia-Pacific and Middle-East (Quelle: MTU Aero Engines)

China

Die MTU Aero Engines hat bereits 2003 ein Joint-Venture mit China Southern Airlines, der größten Fluggesellschaft Chinas, gegründet. Am Standort in Zhuhai bei Macao werden Triebwerke von China Southern und weiteren Airlines instandgesetzt (MRO = Maintenance, Repair and Overhaul). Die MTU profitiert hier direkt vom Aufschwung des Luftverkehrs in Asien.

Seit etwa 2010 hat die MTU auch neue Lieferanten in China aufgebaut, z. B. werden dort Gussbauteile eingekauft und Schaufeln fertigtbearbeitet. In dieser Hinsicht hat seit 2000 eine Verschiebung von den USA über Israel nach Mexiko und China stattgefunden. Von neuen Lieferanten muss das hohe Qualitätsbewusstsein der Luftfahrtindustrie verinnerlicht werden. Um kulturelle Unterschiede, verschiedene Arbeitsmentalitäten und sprachliche Barrieren zu überwinden, werden MTU-Mitarbeiter interkulturell sensibilisiert und geschult. Entscheidend ist, dass der unmittelbare Kostenvorteil einer Produktion in China nicht von hohen Folgekosten, die bei Qualitätsproblemen in Form von Frachtkosten und Dienstreisen entstehen, aufgezehrt wird.

Auch von der Nachfrage Chinas nach Flugzeugen, die den wachsenden Passagier- und Frachttransport sicherstellen, profitiert die MTU. Das im globalen Maßstab überproportionale Wachstum der Luftfahrt in China wäre ohne den intensiven Ausbau der Infrastruktur seit den 1980-er Jahren nicht möglich. Der aus Sicht der Reisenachfrage aktive Mittelstand in China wächst rapide. Die Nachfrage nach Flügen wird 2020 zu 80 % im Bereich bis zu ca. 1.700 km stattfinden, innerhalb dessen die gewaltigen Passagierströme zwischen den Großstädten und Tourismusgebieten Chinas und Südostasiens bewegt werden. Für diesen Bedarf kommen im Jahr 2016 weiterentwickelte Versionen der Boeing 737 und des Airbus 320 heraus, die den Markt für lange Zeit dominieren werden und die mit Triebwerken, an denen die MTU beteiligt ist, erhältlich sind. Das chinesische Flugzeugprojekt Comac fliegt nicht vor 2018, und ein Triebwerk aus dem Reich der Mitte ist frühestens 2020 alltagstauglich. Sobald die chinesische Luftfahrtindustrie aber in Gang kommt, ist die MTU durch ihre langjährige erfolgreiche Präsenz auf dem Markt als relevanter Partner bereits positioniert.

AUFGABEN

A1: Entwerfen Sie ein Schaubild, das die Einflüsse der Megatrends (M1) auf den Luftverkehr veranschaulicht!

A2: Erläutern Sie die Bedeutung Chinas für die MTU!

A3: Begründen Sie das Verbot der direkten Beteiligung ausländischer Firmen an indischen Fluggesellschaften anhand einer Entwicklungsstrategie!

A4: Diskutieren Sie, inwiefern eine hohe Steuerbelastung von Kerosin in Indien sinnvoll ist!

A5: Erstellen Sie ein differenziertes Bild der Zukunftsprognosen des Flughafens „World Central International“!

Indien

Auch in Indien bildet sich ein wachsender Mittelstand mit steigender Kaufkraft heraus, was ein enormes Potenzial darstellt: „Wenn Inder nur ein Drittel so viel fliegen würden wie Amerikaner, dann würden 700 bis 800 Millionen Menschen pro Jahr ins Flugzeug steigen, ein mit den USA vergleichbares Aufkommen“, sagt IATA-Generalsekretär Tony Tyler.

In der Realität haben 2012 die indischen Fluggesellschaften gemeinsam einen Verlust von 2,5 Milliarden US-Dollar eingefahren. Sie sitzen auf einem Schuldenberg von 20 Milliarden US-Dollar. Ein Ausweg ist schwierig, da Air India als nationale Fluggesellschaft Staatshilfen bekommt, die die Airline dafür nutzt, sehr niedrige Flugpreise anzubieten. Andere Fluggesellschaften können in diesem Wettbewerbsumfeld ebenfalls nicht profitabel sein, zumal Kerosin hoch besteuert wird. Ausländischen Airlines ist es verboten, sich an indischen direkt zu beteiligen. Ein weiteres Hindernis ist die fehlende Infrastruktur. Die wenigen Großflughäfen sind oft überlastet, viele Großstädte haben veraltete Anlagen (M4) und außer Delhi gibt es kein Drehkreuz. Da der Ausbau erst langsam anläuft, sind Investitionen der MTU in Indien bis etwa 2018 nicht zu erwarten.



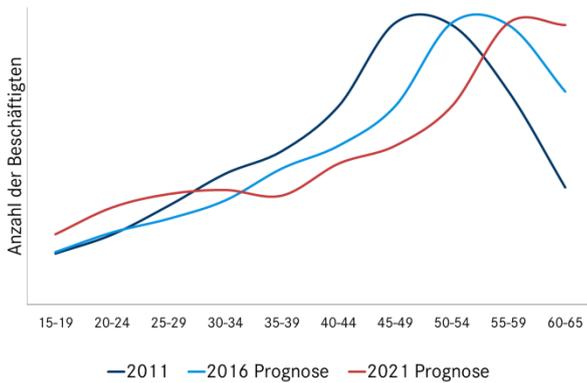
M4: Internationaler Flughafen von Kochi/Cochin, einer indischen 2,1-Millionen-Agglomeration (Quelle: Wikimedia)

Golfregion (Mittlerer Osten)

Die Golfregion hat sich als geostrategisch günstig gelegener Standort im Luftverkehr positioniert. Von hier aus sind Ziele in Nordamerika, Europa, Afrika, Nordasien, Ostasien, Südostasien, Australien und Südasien über Umsteigerverbindungen verknüpft. Entsprechend befindet sich in Dubai der Flughafen „World Central International“ im Bau. In der letzten Ausbaustufe ab 2025 soll er mit fünf Start- und Landebahnen Kapazitäten für jährlich 160 Millionen Flugpassagiere und 12 Millionen Tonnen Fracht haben.

A6: Bewerten Sie, inwiefern das Projekt helfen kann, die Abhängigkeit der Emirate von der Erdölproduktion zu überwinden!

9 Demographischer Wandel

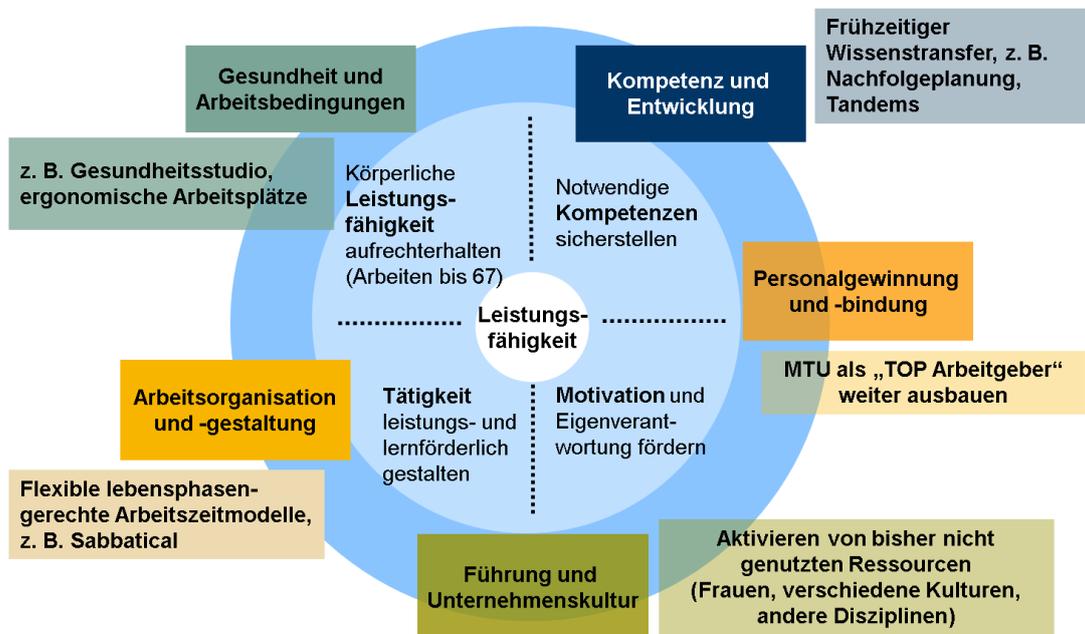


M1: Anzahl der Beschäftigten bei MTU Aero Engines München nach Altersgruppen (2011 mit Prognosen für 2016 und 2021) (Quelle: MTU Aero Engines)

Der demographische Wandel in Deutschland wird auch bei den Belegschaften in den Unternehmen wirksam (M1). Die Herausforderungen, die sich am Beispiel der MTU Aero Engines in München ergeben, betreffen vier Handlungsfelder (M2):

- Leistungsfähigkeit aufrechterhalten
- Kompetenzen sicherstellen
- Motivation und Eigenverantwortung fördern
- Tätigkeit leistungs- und lernförderlich gestalten.

Die Leistungsfähigkeit des Unternehmens ist nur gegeben, wenn die Beschäftigten ihr Potenzial ausschöpfen können. Eine Besonderheit der MTU als Industrieunternehmen ist, dass sie ausschließlich Mitarbeiter mit Berufsausbildung oder Studium beschäftigt. Sie ist also auf qualifizierten Nachwuchs angewiesen. Bisher machen die Frauen nur einen Anteil von etwa 15 % der Belegschaft aus.



M2: Handlungsfelder der MTU Aero Engines in Reaktion auf den demographischen Wandel (Quelle: MTU Aero Engines)

Die Leistungen der MTU für ihre Mitarbeiter spiegeln sich in einer Reihe von Auszeichnungen (M3). Kanäle zur Personalgewinnung und -bindung sind die sozialen Netzwerke.



M3: Auszeichnungen der MTU Aero Engines als Arbeitgeber

AUFGABEN

A1: Ordnen Sie den Wandel der Altersstruktur (M1) in das Modell des demographischen Übergangs ein!

A2: Erklären Sie die Herausforderungen des demographischen Wandels für das Unternehmen. Stellen Sie dazu heraus, inwiefern die personalbezogenen Maßnahmen (M2) Lösungsansätze darstellen!



M4: MTU Aero Engines in Sozialen Netzwerken