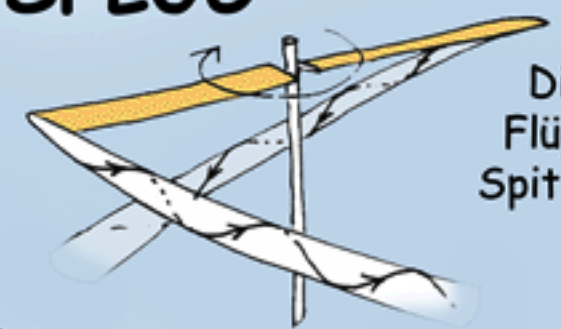
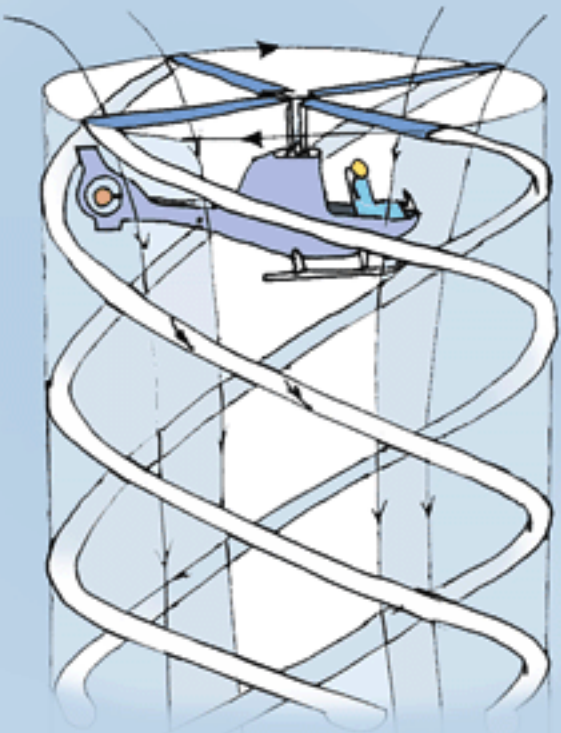


ÜBERGANG ZUM VORWÄRTSFLUG



Die Rotorblätter eines Hubschraubers sind Flügel mit sehr großer Streckung, die an ihren Spitzen **RANDWIRBEL** hinterlassen.

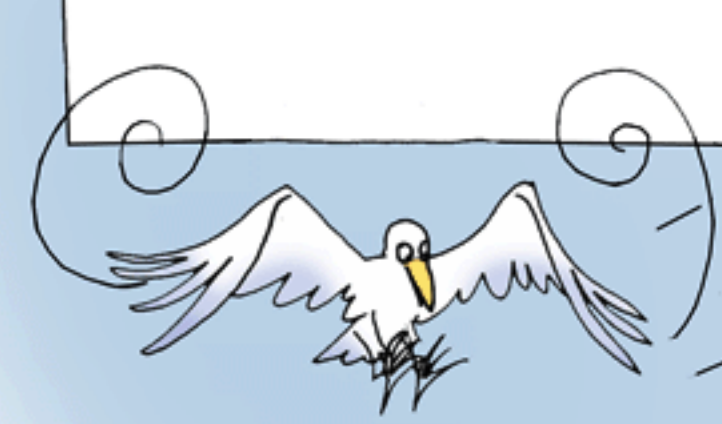


Diese nutzlosen Wirbel stellen einen Energieverlust dar.



Das sind eben diese an den Spitzen der Tragflächen erscheinenden Wirbel, die in großen Höhen den Wasserdampf zum Kondensieren bringen und sog. Kondensstreifen verursachen.

Sobald der Helikopter in den Vorwärtsflug übergeht, kommt es zu einer völligen Veränderung des Strömungsverlaufs. Die Wirbel verlieren ihren Einfluss und die Maschine braucht daher weniger Energie, um fliegen zu können.




Vogel im Schwebeflug: Starke Wirbel




Die Geschäftsführung

Vogel im Vorwärtsflug




Ich muß gestehen, daß ich von dieser Geschichte um den **ÜBERGANG ZUM VORWÄRTSFLUG** nichts verstehe.

Ist doch ganz einfach!
Schau mal an, wie wir abheben...



Um im Schwebeflug zu bleiben, verbrauchen wir durch die Erzeugung von Wirbeln Energie.



Während des Vorwärtsflugs durchströmt die Luft unser Gefieder mit weniger Wirbeln. Zwar lenken wir immer noch die Luft nach unten, doch brauchen wir hierfür weit weniger Energie.

Und wie ist es beim umgekehrten Übergang?

Das ist nicht schwierig! Angenommen,
Du siehst etwas interessantes da unten,
einen Fisch z.B...



...dann ziehst Du hoch, um Deine
Geschwindigkeit zu reduzieren und
in der Luft zu stehen...



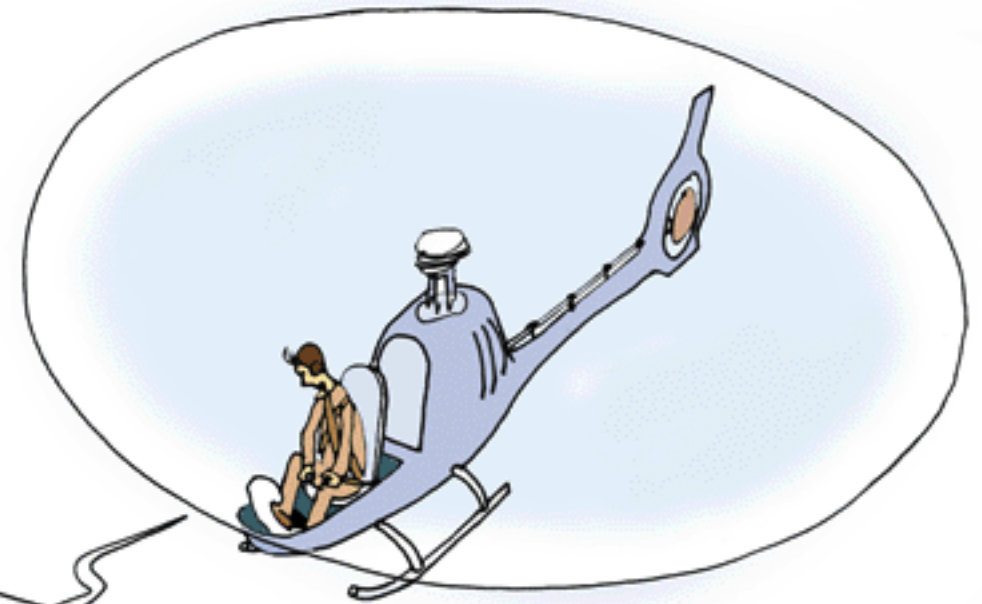
...und dann kehrst Du zum Schwebeflug zurück, bei dem Du starke Wirbel
verursachst und daher mehr Energie verbrauchst.




Meister Panglos, nun bin ich wirklich bereit. Meine Maschine ist außerordentlich stabil und wendig. Sobald Kunigunde eingestiegen ist, werde ich mich schnellstens aus der Reichweite der Bogenschützen des Herrn Baron entfernen.

Bemerkenswert!


Für den Anflug brauche nur hoch genug anzukommen. Die Leute schauen nie nach oben. Und dann werde ich schnell zur Terrasse hinunter sinken.






O weia, das ist ja
vollkommen instabil!

Und es
vibriert
noch dazu!



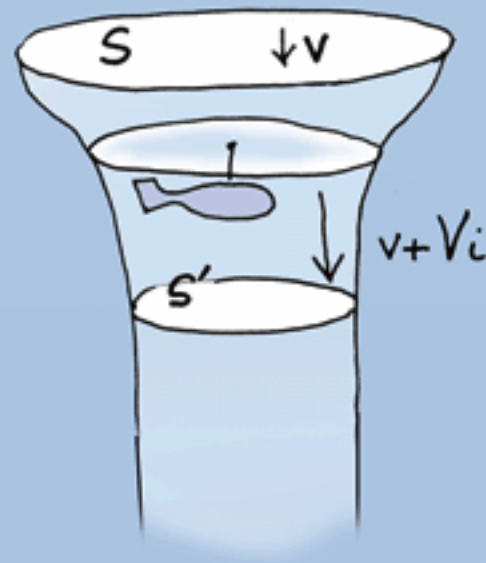
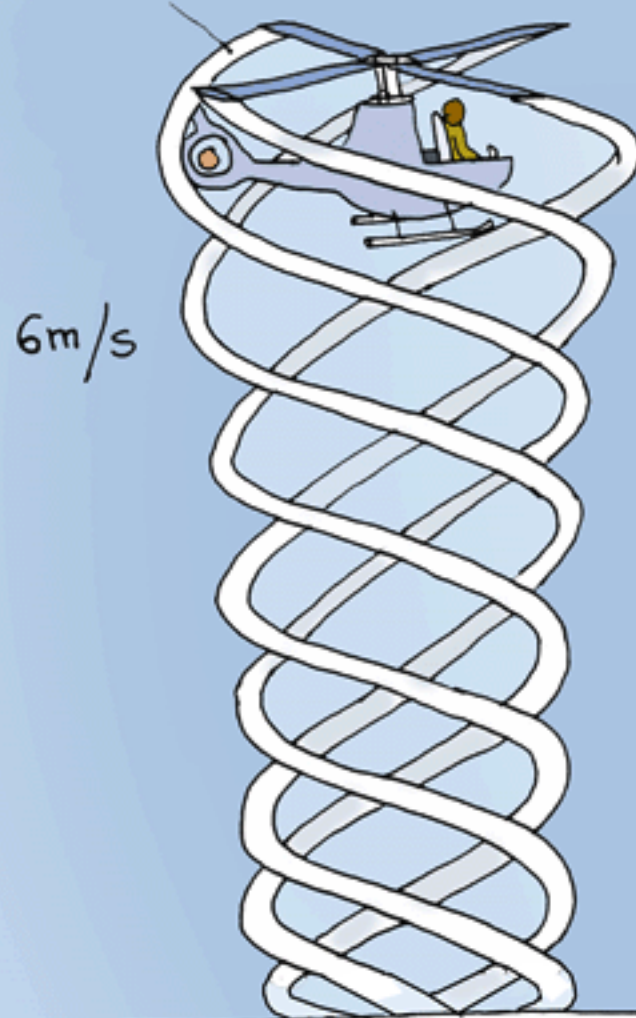
Ich habe den Eindruck, daß mein Hubschrauber
auf einer formlosen, vollkommen instabilen Masse
aufliegt. Ich muß schnellstens da raus! Es scheint
wirklich keine gute Idee zu sein, schnell senkrecht
runterzukommen!



Meister Panglos, ich habe das Ziel verfehlt!
Rein senkrecht zu landen, geht nicht!

INDUZIERTE GESCHWINDIGKEIT

Blattspitzenwirbel



$$\rho v S = \rho (v + v_i) S' \quad (*)$$

Da ein Hubschrauber schwebt, indem er „Luft nach unten“ bläst, wird der Luft eine **INDUZIERTE GESCHWINDIGKEIT** v_i in der Größenordnung von 6 Metern pro Sekunde mitgegeben. Dieses Phänomen könnte man besser sehen, wenn aus den Blattspitzen Rauch entweichen würde.



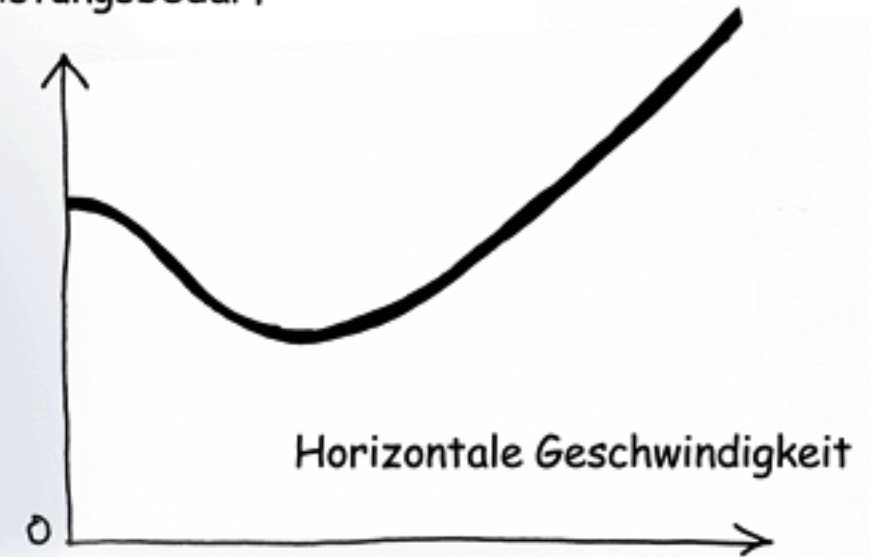
Randwirbel

Auch ein Flugzeug „beschleunigt Luft nach unten“, obwohl dieser Effekt der induzierten Geschwindigkeit weniger ausgeprägt ist.

(*) Diese Gleichung drückt die Erhaltung des Luftstroms bei konstanter Dichte ρ aus. Daraus folgt, daß der Querschnitt S' kleiner als der Querschnitt S ist.

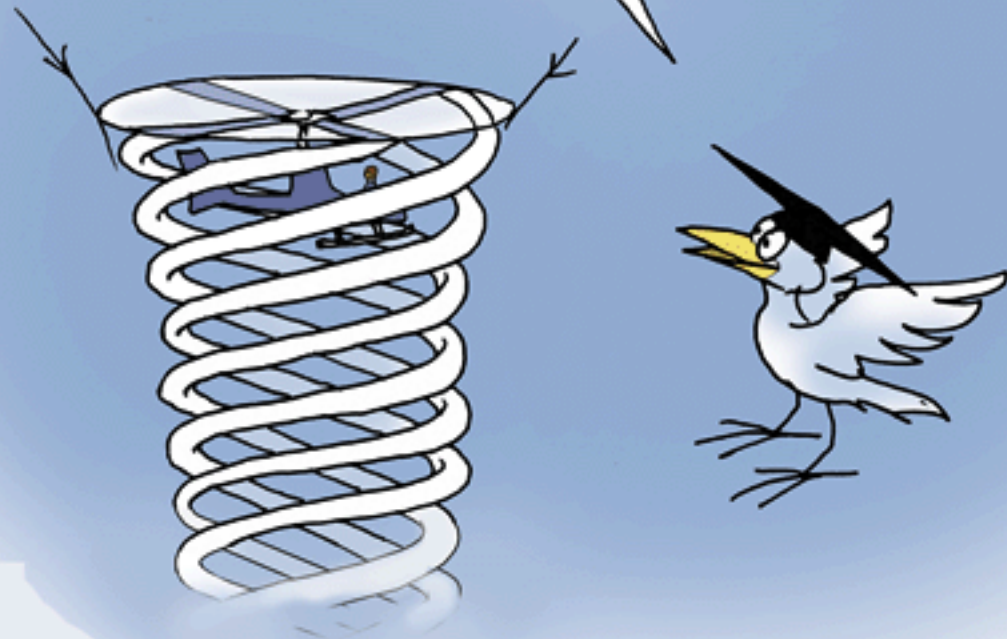
Jegliche **VERWIRBELUNG** bedeutet einen Energieverlust. Der Vorwärtsflug stört die Entstehung des Wirbelgebiets. Daher verbraucht man mit dieser Methode, die Höhe zu halten weniger Energie.

Flugleistungsbedarf



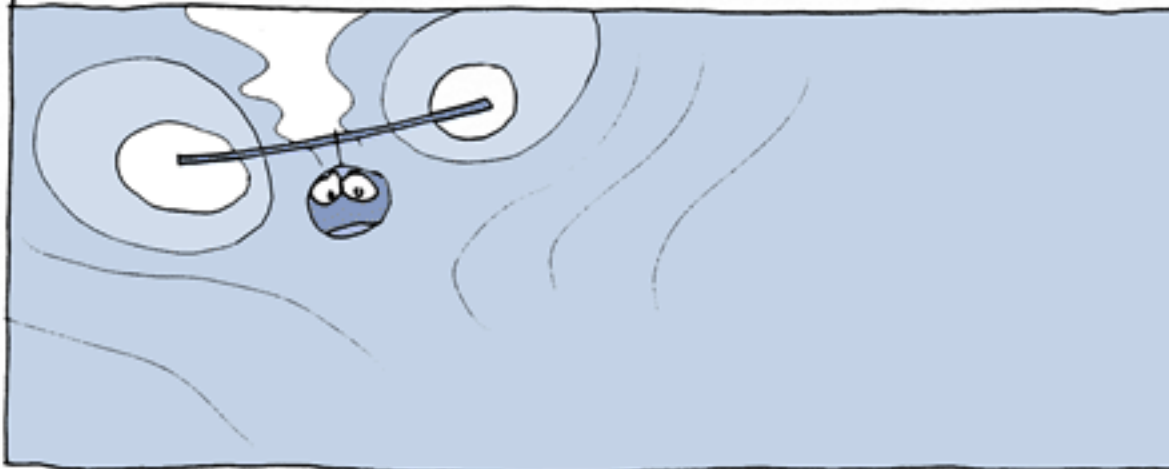
Geringere Verluste durch die Blattspitzenwirbel

Die Wirbel treten miteinander in Wechselwirkung, wenn der Hubschrauber im vertikalen Sinkflug die Geschwindigkeit von $\frac{1}{4}V_i$ erreicht.

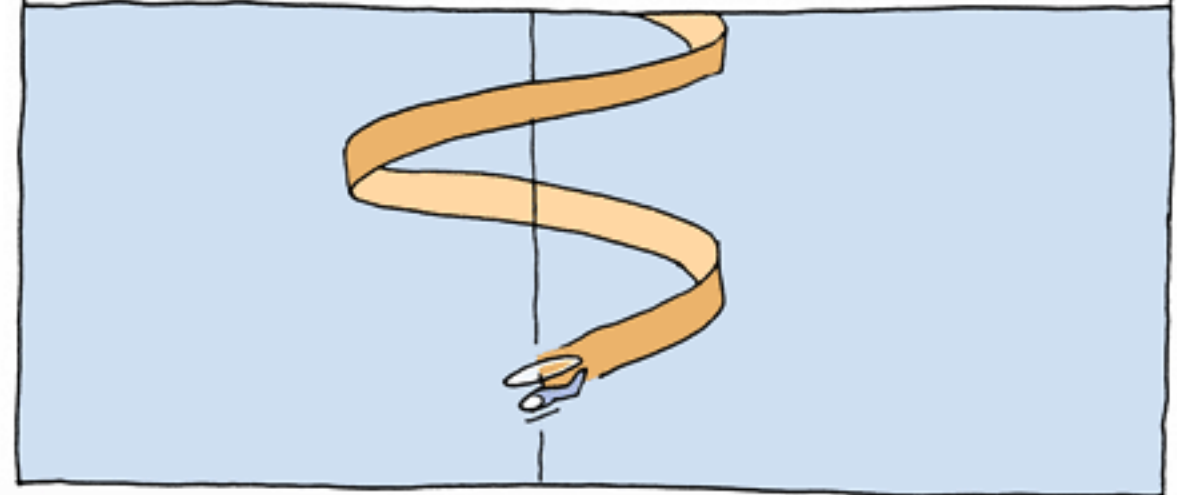


Wenn die Sinkgeschwindigkeit $\frac{3}{4} V_i$ erreicht, verschmelzen die Verwirbelungen zu einem dicken, ringförmigen **Wirbel**.

Durch den Rotor strömt nun genauso viel Luft aufwärts wie abwärts. Der resultierende Durchfluss ist also unterbrochen. Die Energieverluste steigen. Diese Konfiguration ist sehr instabil.



Auch beim „Hinabstoßen“ auf einen Landeplatz bevorzugen Piloten daher einen spiralförmigen Anflug, um so im Vorwärtsflug zu bleiben.



Ergo: Ich werde den Turm im Vorwärtsflug anfliegen. Im letzten Augenblick werde ich meine Geschwindigkeit reduzieren und zum Schwebeflug übergehen und dann mit moderater Sinkgeschwindigkeit, sagen wir mit einem Meter pro Sekunde, sinken.



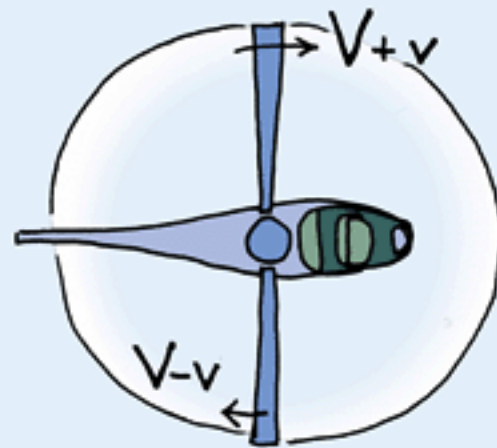
Das alles, um dieses gefährliche **WIRBELRINGSTADIUM** zu vermeiden.

Und nun zurück zu unseren Testflügen!

STRÖMUNGSABRISS AM RÜCKLAUFENDEN BLATT

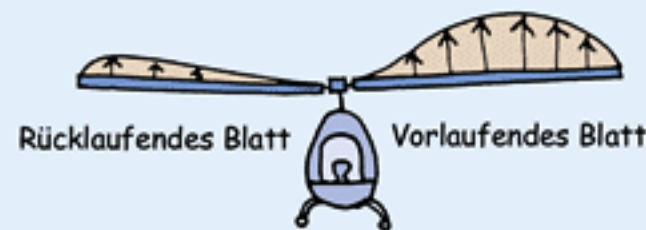


Vorlaufendes Blatt



Rücklaufendes Blatt

Es sei V die Umfangsgeschwindigkeit des Blatts und v die Fluggeschwindigkeit des Hubschraubers. Die **Geschwindigkeit des LUFTSTROMES**, der auf das **VORLAUFENDE BLATT** trifft, ist $V + v$. Für das **RÜCKLAUFENDE BLATT** gilt $V - v$. Daher sind beide Blätter unterschiedlichen Druckkräften unterworfen.

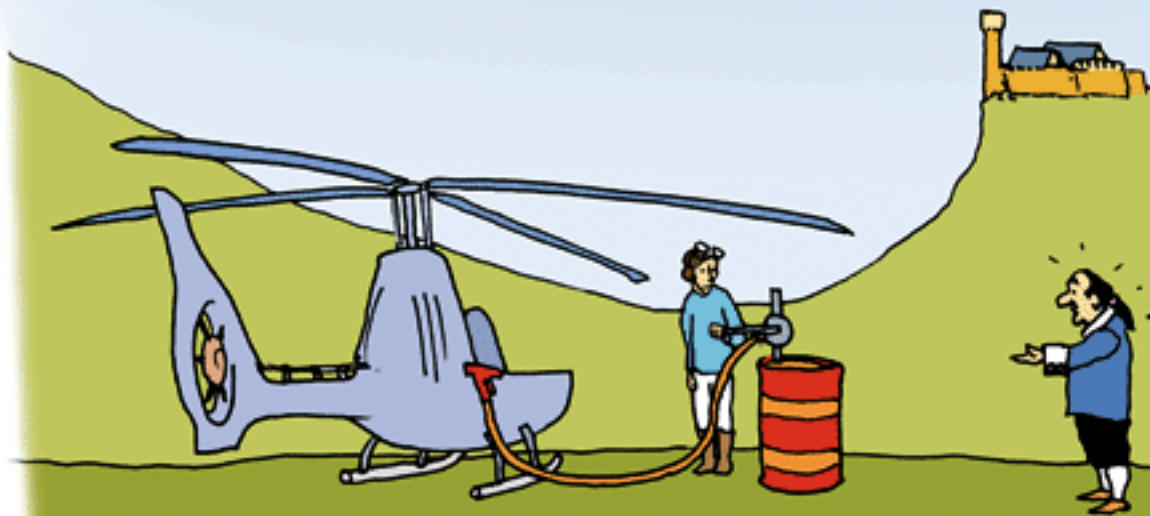


Man wäre versucht zu glauben, daß der Hubschrauber bei großen Geschwindigkeiten dazu neigen könnte, sich auf die Seite zu legen. Aber wegen der 90°-Phasenverschiebung der Reaktionen des Hubschraubers neigt dieser eigentlich dazu, sich aufzubäumen.



Je nach Land ist die Drehrichtung der Rotoren unterschiedlich. So befindet sich in Frankreich das vorlaufende Blatt immer links, auf amerikanische Maschinen ist es rechts (*). Dies ändert aber nichts an dem, was hier gesagt wurde.

Die Geschäftsleitung



Kandidat, mir fällt etwas ein! Von ihrem Vorhaben weiß der Baron nichts, aber Fräulein Kunigunde auch nicht! Wie können Sie wissen, daß sie tatsächlich auf dem Dach sein wird, wenn Sie dort landen werden?

(*) Das vorlaufende Blatt früherer deutscher Maschinen (2. WK) befand sich auch rechts. Die Hubschrauberentwicklungen von Eurocopter sind links- bzw. rechtsdrehend, je nachdem, ob sie auf MBB- oder Aérospatiale-Entwicklungen zurückgehen. (Anm. d. Ü.)