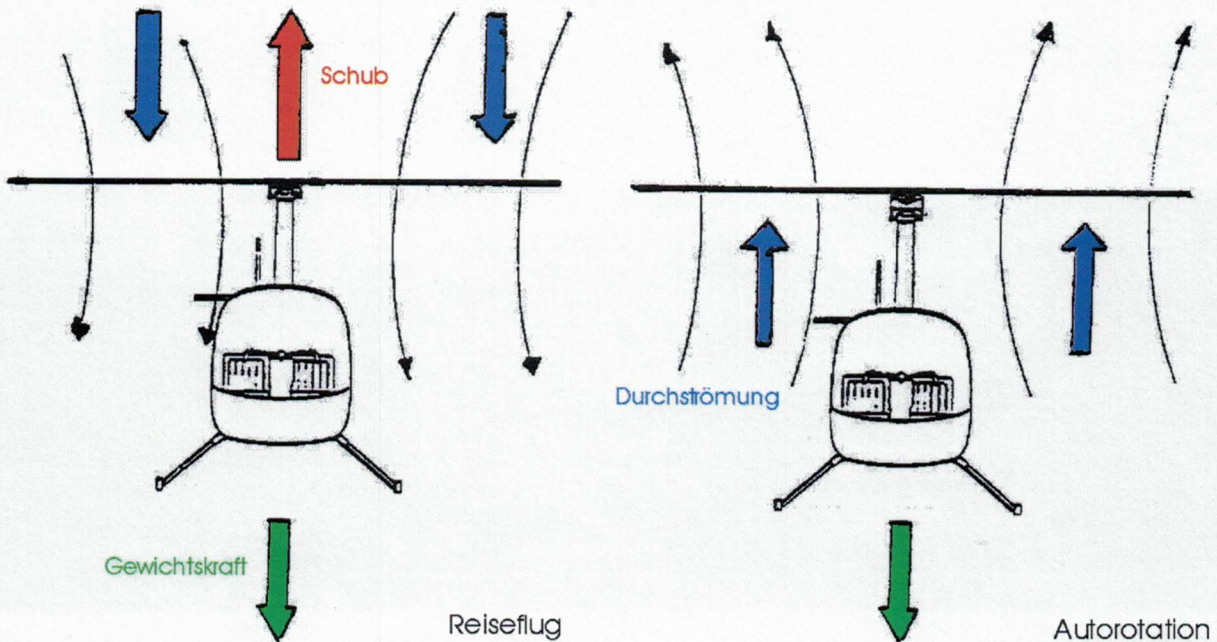


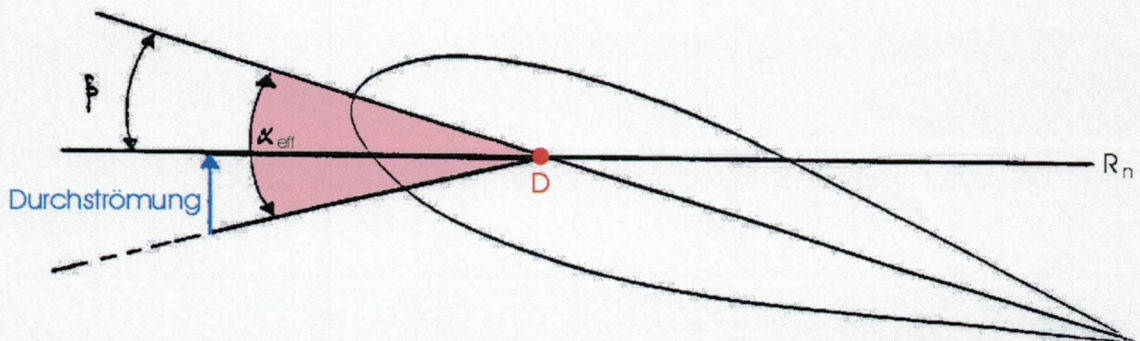
2.13 Autorotation

Die *Autorotation* ist ein Manöver, bei dem ein Hubschrauber ohne Motorleistung eine Landung durchführt (Autorotation = selbständiges Drehen). Im Falle eines Triebwerksausfalles geschieht folgendes:

Wenn man im Moment des Triebwerksversagens weder die kollektive noch die periodische Blatteinstellung verändert, ändert sich trotzdem der effektive Anstellwinkel. Das liegt daran, dass sich die Richtung der effektiven Anströmung umdreht, da der Hubschrauber durch den Auftriebsverlust sinkt. So entsteht eine Anströmung von unten nach oben.



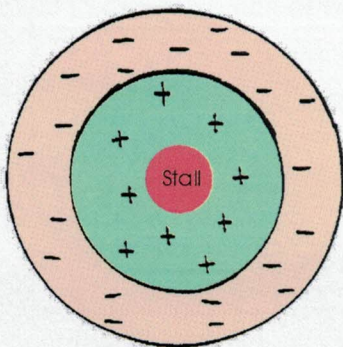
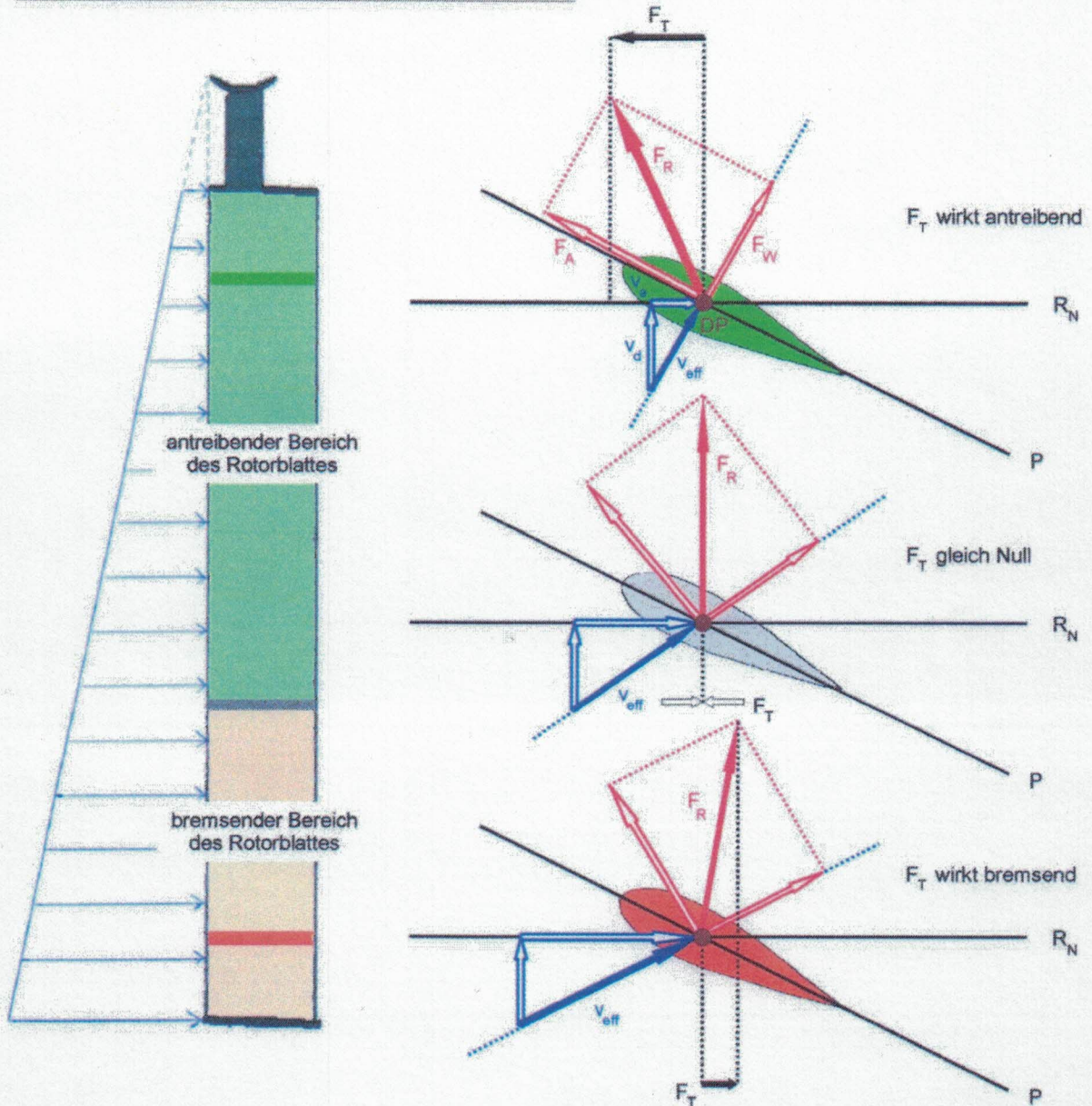
Der effektive Anstellwinkel vergrößert sich. Deswegen verändert sich auch die Luftströmung am Profil. Der turbulente Anteil der Grenzschicht wird größer, somit erhöht sich der Widerstand. Die Folge davon ist ein Zusammenbrechen der Drehzahl. Um dies zu vermeiden, muss der effektive Anstellwinkel verkleinert werden. Dies wird u.a. durch eine Verkleinerung des Einstellwinkels mittels der kollektiven Blattsteuerung (Pitch senken) erreicht. Die Strömung liegt nun wieder am Profil an und die Rotordrehzahl steigt wieder.



Bei der Autorotation ist der effektive Anstellwinkel α_{eff} größer als der Einstellwinkel β .

Die Richtung der Tangentialkraft F_T , die beim normalen Flug immer bremsend auf die Blätter wirkt und mit Motorleistung überwunden werden muss, ändert sich bei einer Autorotation teilweise grundlegend. Durch die Richtungsänderung entstehen am Rotorblatt bremsende und antreibende Tangentialkräfte.

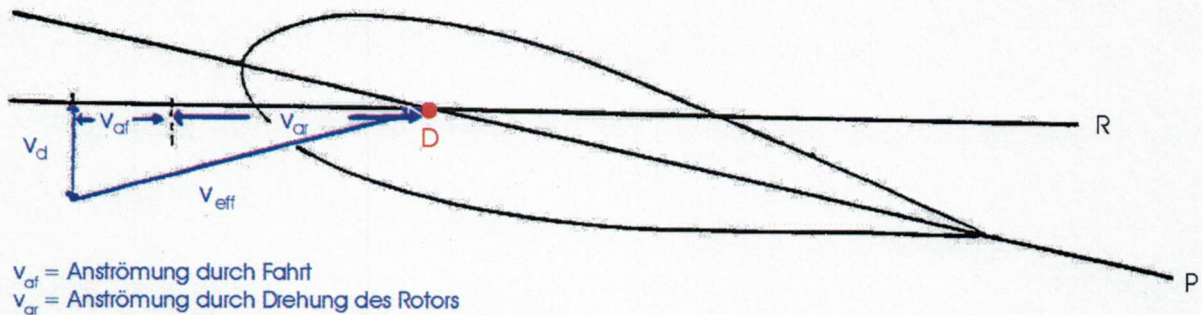
Kräfteverhältnis bei einer senkrechten Autorotation



Betrachtet man jetzt die Rotorkreisfläche in der Draufsicht bei einer senkrechten Autorotation, kommt folgendes Bild der bremsenden und antreibenden Kräfte zustande. Im Bereich der Rotorblattwurzeln kann es aufgrund der geringen Anströmgeschwindigkeit in Verbindung mit dem hohen effektiven Anstellwinkel außerdem zu einem *Strömungsabriss* (engl. *stall*) kommen (Erklärung, siehe Seite 36 unten).

Das Verhältnis von **bremsenden und antreibenden Kräften** wirkt vereinfacht betrachtet im **Verhältnis 1:1** (Flächenvergleich).

Autorotation mit Vorwärtsfahrt



Bei einer Autorotation mit Vorwärtsfahrt addieren sich am vorlaufenden Blatt die Fluggeschwindigkeit und die Drehgeschwindigkeit zur Durchströmgeschwindigkeit (\rightarrow kleinerer Anstellwinkel). Beim rücklaufenden Blatt wird dagegen die Fahrt von der Drehgeschwindigkeit subtrahiert (größerer Anstellwinkel \Rightarrow größere antreibende Tangentialkraft). Die dadurch entstehende Unsymmetrie des Auftriebes wird wieder gemäß Kapitel 2.7.2 durch das Schlagen der Blätter ausgeglichen. Der Gesamtauftrieb ist jedoch immer kleiner als die Gewichtskraft der Maschine und verringert die Sinkrate lediglich.

Eine sichere Autorotation wird mit Fahrt durchgeführt, da hierbei die nötige Energie zum antreiben der Rotorblätter in drei Formen gespeichert ist:

Kinetische Energie (Bewegungsenergie):

1. Drehgeschwindigkeit der Blätter - geringste Energiereserve!
2. Fluggeschwindigkeit

Potentielle Energie (Höhenenergie):

3. Flughöhe

Die günstigste Vorwärtsgeschwindigkeit für eine Autorotation bewegt sich bei fast allen Hubschraubern um 60 kt (knots = Knoten). In diesem Falle sind die den Rotor antreibenden Kräfte nach vorne geneigt und befinden sich verstärkt am rücklaufenden Blatt aufgrund der niedrigeren anliegenden effektiven Anströmgeschwindigkeit. Beim Flug mit Motorleistung ist es umgekehrt, das vorlaufende Blatt liefert den meisten Auftrieb.

Die nächste Skizze zeigt die tangentialen Kraftverhältnisse bei einer Autorotation mit Fahrt in der Draufsicht. Je schneller der Helikopter fliegt, desto weiter wandert der Bereich der antreibenden Kräfte nach links. Überschreitet die antreibende Fläche jedoch die Grenzen der Rotorfläche, so ist das vorhin angesprochene Antriebsverhältnis von ca. 1:1 gestört - die bremsenden Kräfte überwiegen und bewirken einen Drehzahlverlust, der Auftrieb fällt ab und die Sinkrate erhöht sich extrem. Eine zu hohe Anströmgeschwindigkeit kann außerdem einen *Strömungsabriss* am Blatt hervorrufen, was ebenfalls fatale Folgen haben kann (siehe Kapitel 2.14.1: Strömungsabriss aufgrund zu hoher Fluggeschwindigkeiten, Seite 40).

Strömungsabriss: Mit zunehmendem effektiven Anstellwinkel wandert der Ablösepunkt auf der Oberseite des Profils nach vorne. Erreicht man den kritischen Anstellwinkel, so ist die Luft nicht mehr in der Lage, dem oberen Profilverlauf zu folgen - die Strömung reißt ab und der Auftrieb bricht zusammen.