

# FAIL SAFE GEARED ROTARY ACTUATORS

B. Dorr, Airbus Operation GmbH, Airbus Allee 1, 28199 Bremen, Deutschland

## Zusammenfassung

Das Hochauftriebssystem heutiger Verkehrsflugzeuge besteht gewöhnlich aus Slats an der Flügelvorderkante und Flaps an der Flügelhinterkante, die über Linearaktuatoren oder Rotationsaktuatoren bewegt werden.

Um ein Verkanten oder Tordieren der Landeklappen (Flaps) aufgrund schwerwiegender Fehler zu vermeiden (wie zum Beispiel der Bruch einer Antriebsstange), ist der Einsatz von „Fail-Safe Aktuatoren“ oder „Interconnection Struts“ (Verbindungsstreben zwischen zwei Landeklappen) erforderlich.

Bei einem Hochauftriebssystem mit Fowler Kinematik wird jede Landeklappe über zwei Stationen gestützt. Handelt es sich bei diesen Antrieben um Antriebe mit einfachem Lastpfad, so ist zusätzlich zu diesen beiden Lastpfaden ein weiterer Lastpfad in Form einer Interconnection Strut installiert. Aufgrund der Kinematik könnte ansonsten ein Bruch einer Antriebsstation zu einem Abreißen der Landeklappe führen, was durch die Interconnection Strut verhindert wird. Die Interconnection Strut besteht aus einer Verbindungsstrebe, die eine gewisse differentielle Bewegung der inneren und äußeren Klappe zulässt und Sensoren, die im Fehlerfall den Steuerungsrechner für das Hochauftriebssystem (SFCC) entsprechend informieren.

Durch den Einsatz von Interconnection Struts wird jedoch die Umsetzung neuer Funktionalitäten des Hochauftriebssystems (wie beispielsweise differentielles Klappenfahren) verhindert. Hingegen lassen sich durch den Einsatz von Fail-Safe Aktuatoren viele dieser neuen Funktionen realisieren, da auf die Verwendung dieser Kopplung verzichtet werden kann.

Dieser Typ von Aktuator hat zudem merklichen Einfluss auf die dimensionierenden Lasten, was zugleich verbunden ist mit dem Potential signifikanter Gewichtseinsparungen. Wie groß der Nutzen sein wird, hängt dabei stark von der Art der Kinematik des Hochauftriebssystems ab.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens sollen für eine Hinterkantenklappe Lösungen für Fail-Safe Rotationsaktuatoren erarbeitet, als Prototyp gefertigt und abschließend am Prüfstand verifiziert werden. In diesem Beitrag werden die Anforderungen an einen Fail Safe Rotationsaktuator hergeleitet und der Nutzen auf Flugzeugebene demonstriert.

## 1. EINLEITUNG

Heutige Verkehrsflugzeuge sind mit einem Hochauftriebssystem ausgestattet, um eine Auftriebserhöhung bei geringen Flugeschwindigkeiten während der Start und Landephase zu erzielen.

Die Einführung von Strahltriebwerken bei kommerziellen Flugzeugen führte zu einer drastischen Erhöhung der Reisegeschwindigkeit, was zugleich mit einer Erhöhung der Flügelbelastung

verbunden war. Um den Widerstand zu reduzieren und die Flugeigenschaften zu optimieren wurden über die Jahrzehnte hinweg zahlreiche Modifikationen am Flügel vorgenommen. Durch Optimierung des Flügelprofils und der Flügelpfeilung wurde das aerodynamische Verhalten stetig verbessert, was sich auf den Kraftstoffverbrauch und die Lärmemission positiv auswirkte.

Mit dem Anstieg der Reisegeschwindigkeit und der Zunahme der Nutzlast wurde die Entwicklung leistungsstärkerer Hochauftriebssysteme gefordert, was zunächst zu immer komplexeren



Transmissionswellensystem und der Kinematik bestehen.

Das Transmissionswellensystem setzt sich aus mehreren Wellen, Getrieben und Verbindungselementen zusammen. Bremsen an den Transmissionswellenenden können das System im Fehlerfall schnell und sicher arretieren. Mit Hilfe von Sensoren, die sich ebenfalls an den Enden des Wellensystems sowie innerhalb der Antriebseinheit befinden, kann ein fehlerhaftes Fahren des Hochauftriebssystems detektiert werden.

An den einzelnen Stationen erfolgt die Umsetzung der Rotationsbewegung in eine Auslenkbewegung der Klappen.

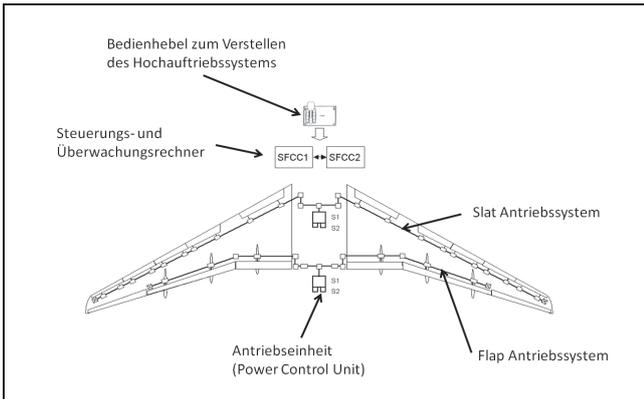


BILD 3: Übersicht eines typischen Abschnittsüberschrift

Für das Hinterkantensystem wurden verschiedene Kinematiken entwickelt, wobei sich vor allem die Fowler Kinematik als auch die Dropped Hinge Kinematik durchgesetzt haben.

Am Beispiel A320 setzt sich die Hinterkante aus 2 Landeklappen (Flaps) zusammen, die jeweils über zwei Stationen angesteuert werden und über eine Verbindungsstange (Interconnection Strut) miteinander gekoppelt sind.

Die hier verwendete Fowler Kinematik zeichnet sich dadurch aus, dass beim Ausfahrvorgang die Landeklappe zunächst eine hauptsächlich geradlinig ausfahrende Bewegung erfährt und zum Ende des Fahrvorgangs eine zunehmende rotierende Bewegung hinzukommt.

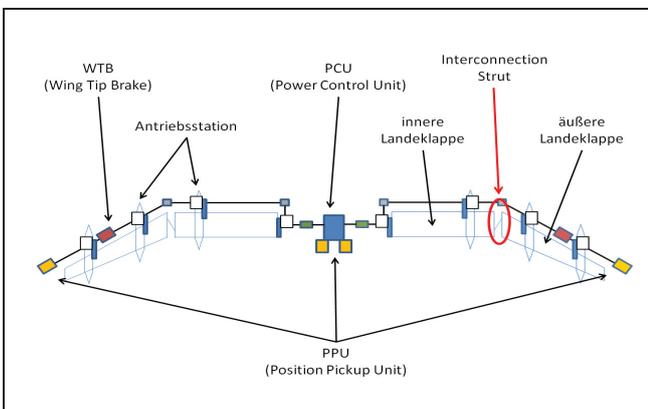


BILD 4: A320 Hinterkante mit Interconnection Strut

Die Landeklappe ist über eine Schubstange mit dem Rotationsaktuator verbunden, der die Rotationsbewegung des Transmissionswellensystems in die erforderliche Auslenkbewegung umwandelt. Um die gewünschte Fowler Bewegung zu bewirken, bewegt sich die Landeklappe auf einem Schlitzen entlang einer Führungsschiene.

Jede Landeklappe wird über zwei Rotationsaktuatoren angesteuert und gehalten. Wenn in einem dieser Lastpfade ein Fehler auftritt (z.B. Bruch einer Komponente) besteht die Gefahr, dass sich die Landeklappe aufgrund der Luftlasten verdreht. Im schlimmsten Fall könnte die Verdrehung zu einem Abreißen der Landeklappe führen, was dadurch vermieden wird, dass ein weiterer Lastpfad in Form einer „Interconnection Strut“ existiert, der die beiden Landeklappen miteinander verbindet.

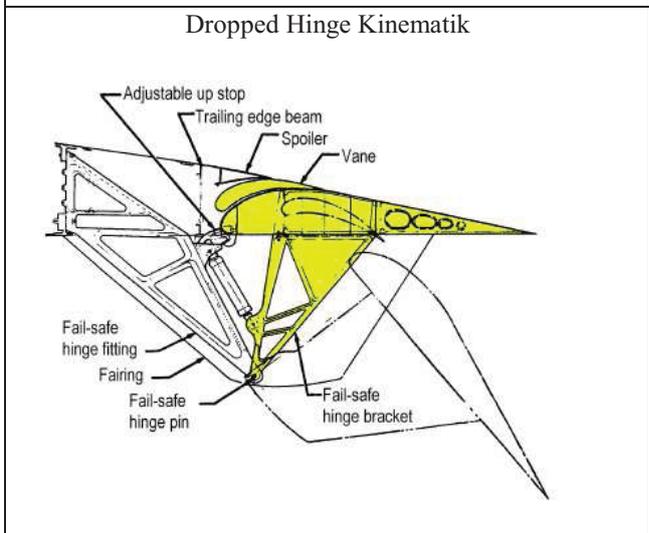
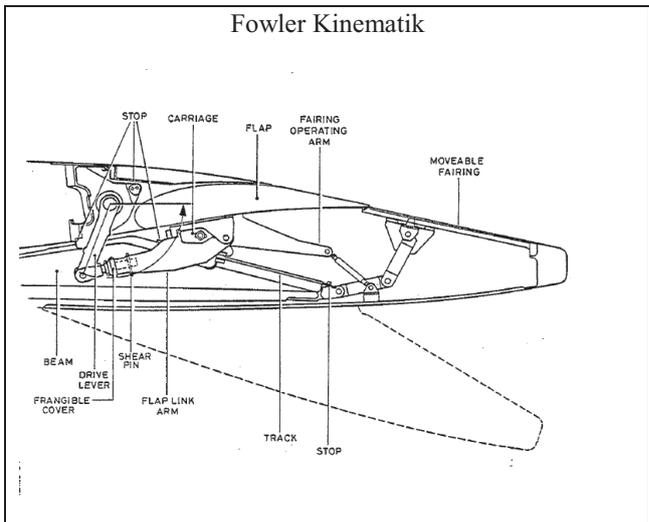


BILD 5: Konventionelle Antriebskinematik für die Landeklappe [3]

Bei einer "Hinge Kinematik", wie sie beispielsweise bei A350 oder A400M zum Einsatz kommt, führt die Landeklappe eine rein rotatorische Bewegung um einen fixen Drehpunkt aus. Tritt in einem der beiden Lastpfade der bereits oben genannte Fehlerfall (d.h.

Bruch einer Komponente) ein, würden die Luftlasten die Landeklappe zum Rotieren zwingen. Ein Abreißen der Klappe aufgrund zu starker Torsion ist bei dieser Kinematik nicht möglich, sofern die Klappe ausreichend steif ausgeführt ist.

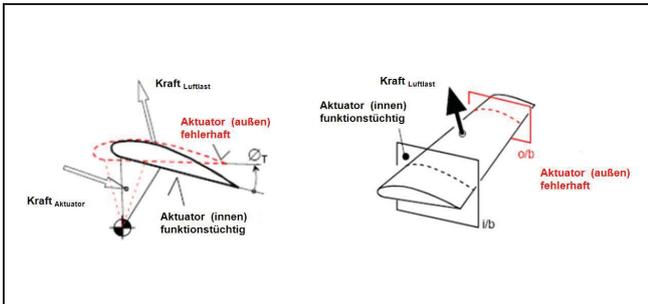


BILD 6: Fehlerfall bei Dropped Hinge Kinematik [3]

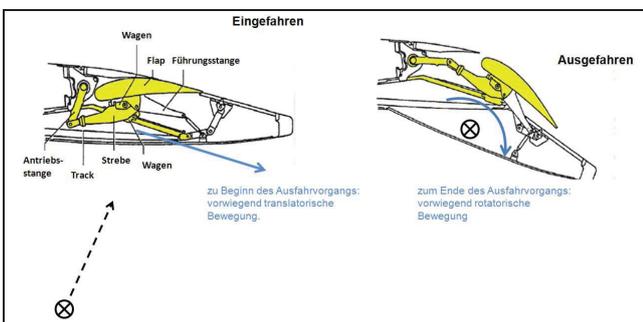


BILD 7: Ausfahrvorgang bei Fowler Kinematik [3]

### 3. VERWENDUNG EINES "FAIL-SAFE GEARED ROTARY ACTUATORS"

Durch den Einsatz von Aktuatoren mit doppeltem Lastpfad können neue Funktionen entwickelt und angewendet werden. Die folgende Abbildung zeigt zwei Antriebssysteme (entwickelt im Rahmen von IHK-HISYS (LuFo2)), die ein differentielles Fahren der inneren und äußeren Landeklappe ermöglichen.

In der ersten Darstellung (a) ist ein Einzelklappenantriebssystem zu sehen, bei dem in jeder Antriebsstation ein elektrischer Motor (inklusive Elektronik, Bremse) und ein Spindelaktuator zum Einsatz kommen.

Die zweite Architektur (b) sieht eine Reduktion der Komponenten gegenüber der ersten Variante vor, sodass pro Landeklappe nur ein redundanter Antrieb (bestehend aus Motor, Elektronik und Bremse) benötigt wird. Die Kopplung der beiden Spindelaktuatoren einer Landeklappe erfolgt über ein verkürztes Transmissionswellensystem.

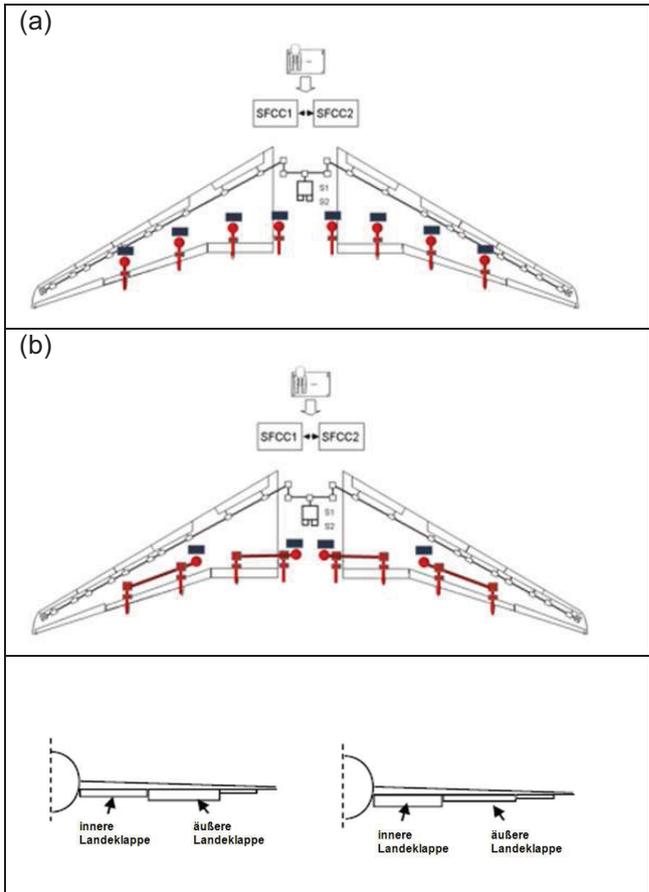


BILD 8: Landeklappen Antriebssystem mit Fail Safe Rotationsaktuatoren

#### Potential bei Fowler Kinematik

Durch den Einsatz von Aktuatoren mit doppeltem Lastpfad wird die Voraussetzung geschaffen, die Interconnection Strut als Verbindungselement zweier Landeklappen zu eliminieren. Dadurch können neue Funktionalitäten umgesetzt werden, wie das differentielle Verstellen der äußeren und inneren Landeklappe.

Die Potentiale lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Reduktion der Lärmemission in der Start und Landephase
- Reduktion des Kraftstoffverbrauchs in der Start und Landephase
- Unterstützung der Querruderwirkung
- Reduktion der Belastung aufs Flugzeug durch Böen oder Turbulenzen
- Reduktion von Strukturgewicht

#### Potential bei Hinge Kinematik:

Bei der Hinge Kinematik ist die Verwendung eines dritten Lastpfades in Form einer Interconnection Strut nicht erforderlich, da bei Verlust eines Lastpfades (durch Bruch einer Komponente in einer der beiden Stationen) das Abreißen der Landeklappen bereits durch das Design vermieden wird.

Tritt bei einer Hinge Kinematik mit herkömmlichen

Aktuatoren in einer Antriebsstation ein Bruch auf, so muss die noch verbleibende Station die gesamte Last tragen. Damit die Landeklappe aufgrund der auftretenden Luftlasten nicht verdreht und im schlimmsten Fall abreißt, ist diese entsprechend steif ausgelegt.

Tritt hingegen bei einer Hinge Kinematik mit Fail-Safe Aktuatoren in einem Lastpfad ein Bruch auf, so ist weiterhin pro Station mindestens ein Lastpfad vorhanden, um die Landeklappe zu fixieren. Folglich wird ein Verdrehen der Landeklappe verhindert, was eine weniger steife Auslegung der Landeklappe ermöglicht und eine deutliche strukturseitige Gewichtseinsparung bewirkt.

*Reduzierung der dimensionierenden Lasten durch Fail-Safe Design:*

Durch die Verwendung von Aktuatoren mit doppeltem Lastpfad können die dimensionierenden Lasten entsprechend BILD 9 gesenkt werden. Infolgedessen kann die Struktur leichter ausgelegt werden, da im Fehlerfall geringere Lasten aufzunehmen sind.

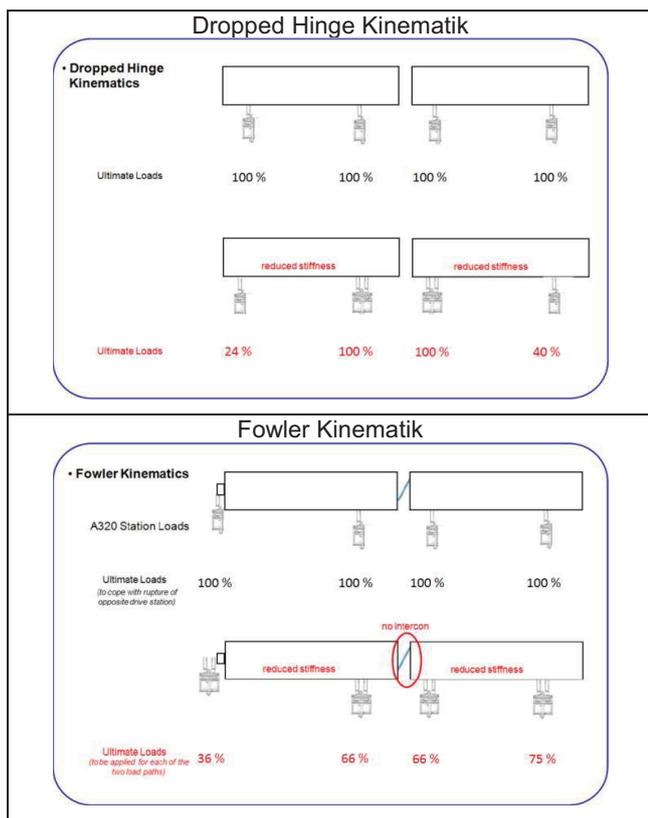


BILD 9: Reduzierung der Ultimate Loads aufgrund von Fail-Safe Aktuatoren

Der komplexere Aufbau der Fail-Safe Aktuatoren führt zwangsläufig zu einem Anstieg des Systemgewichts, sodass die Gewichtsbeurteilung für beide Kinematik Varianten folgendes Ergebnis liefert:

Bei der Fowler Kinematik sind die Gewichts-

einsparungen in der Struktur minimal, sodass mit Berücksichtigung des erhöhten Systemgewichts ein leichter Gewichtszuwachs resultiert. Das Potential beschränkt sich daher in der Umsetzbarkeit neuer Funktionalitäten, die u.a. auch zu einer Gewichtsreduktion auf A/C Level beitragen können.

Eine interdisziplinäre Bewertung des Gesamtgewichts bei der Hinge Kinematik hat hingegen ein deutliches Einsparpotential ergeben. Die Umsetzbarkeit neuer Funktionen ist bei dieser Kinematik bereits möglich, da eine Interconnection Strut nicht verwendet wird.

*Weitere generelle Design- und Integrationsaspekte:*

Bei der Entwicklung von Aktuatoren mit doppeltem Lastpfad ist eine interdisziplinäre Zusammenarbeit vor allem zwischen den Disziplinen Systeme und Struktur erforderlich, da im Klemmfall die Last über die Struktur aufgenommen werden muss. Folglich ist darauf zu achten, dass neben den Aktuatoren der gesamte Lastpfad Fail-Safe ausgelegt wird. Die folgende Abbildung gibt einen groben Überblick, welche Strukturbauteile betroffen sind und bei einem Fail-Safe Design entsprechend modifiziert werden müssen.

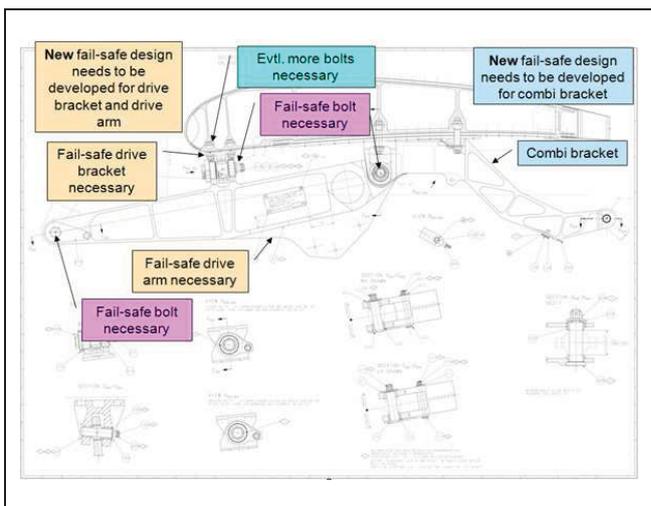


BILD 10: Zu modifizierende Strukturbauteile bei einem Fail-Safe Design

Bei einem Aktuator mit doppeltem Lastpfad kann auch bei Auftreten eines Fehlers (z.B. Bruch einer Komponente innerhalb eines Lastpfades) das Fahren der Landeklappen prinzipiell über den noch verbleibenden Lastpfad fortgesetzt werden.

Um jedoch einen zweiten Fehler im noch intakten Lastpfad nicht zu riskieren, empfiehlt es sich das System sofort zu arretieren.

Dadurch wird zwar die maximal mögliche Verfügbarkeit des Systems nicht ausgeschöpft, doch stattdessen können geringere dimensionierende Lasten angenommen werden, was sich wiederum positiv auf das Gewicht auswirkt.

Für die Zertifizierung einer Systemkomponente ist

aus Safety Sicht nachzuweisen, dass ein Fehler innerhalb von einem Flugzyklus erkannt wird und das schlafende Fehler (hidden failure) per Design vermieden werden. Für die Umsetzung eines derart robusten Systemdesigns bietet sich der Einsatz von mechanischen Lastbegrenzern oder Sensoren an. Ist das Erkennen schlafender Fehler nicht ausreichend zuverlässig möglich, kann die Zertifizierung dennoch durch Festlegung von Wartungsintervallen erreicht werden. Da der Einsatz wartungsfreier Komponenten zunehmend gefordert bzw. angestrebt wird, sollte die Festlegung von CMRs (Certification Maintenance Requirement) sofern möglich vermieden werden.

Einen weiteren Einfluss auf das Gesamtgewicht hat der Sicherheitsfaktor auf die Klemmfalllast, der üblicherweise mit 1,5 angesetzt wird. Generell gilt, dass die Festlegung des Sicherheitsfaktors von der Zuverlässigkeit des Systems abhängt, sodass bei einer robusten Komponente mit einer entsprechenden Zuverlässigkeit von beispielsweise  $10 \exp(-9)$  durchaus ein Sicherheitsfaktor anwendbar ist, der bei knapp über 1,25 liegen könnte.

Folglich ist am Beispiel des Fail-Safe Rotary Actuators bei entsprechendem Design die Herabstufung des Sicherheitsfaktors von 1,5 auf beispielsweise 1,25 möglich.

#### 4. ZUSAMMENFASSUNG

Die Bewertung von Fail-Safe Aktuatoren hat gezeigt, dass der Nutzen stark von der Systemarchitektur des Hochauftriebssystems abhängt. Betrachtet wurden die Fowler Kinematik und die Dropped Hinge Kinematik.

Bei der Fowler Kinematik nimmt aufgrund der komplexeren und stabileren Bauweise des Aktuators das Systemgewicht zu. Gewichtsgewinn kann durch das Einsparen der Interconnection Strut und durch das optimierte Design der Landeklappe erzielt werden. In Summe ist jedoch mit einem Anstieg des Gewichts zu rechnen, sodass das Potential dieser Lösung in der Umsetzung neuer Funktionen liegt.

Bei der Hinge Kinematik nimmt ebenfalls aufgrund der komplexeren und stabileren Bauweise des Aktuators das Systemgewicht zu.

Gewichtseinsparungen sind durch eine weniger steife Landeklappe möglich, da selbst bei Bruch eines Lastpfades mindestens ein Lastpfad pro Station zur Verfügung steht und dadurch ein Verkanten oder gar Abreißen der Landeklappe verhindert wird.

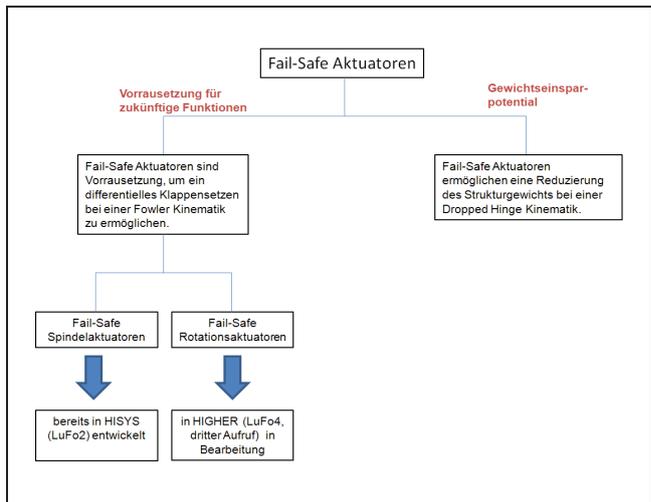


BILD 11: Übersicht der Entwicklung von Fail-Safe Aktuatoren

#### 5. REFERENZEN

Ref.	Autor, Titel, Datum der Veröffentlichung
[1]	U. Dreßler, Start- und Landekonfigurationen, DaimlerChrysler Aerospace, März 1999
[2]	Martin Recksiek, Advanced High Lift System Architecture with Distributed Electrical Flap Actuation, AST Konferenz in Hamburg 2009
[3]	Prof. U. Carl, High Lift Systems, EUROPADS 2003, Technische Universität Hamburg Harburg (TU-HH), Hamburg 2003