

1 Einführung..... 6

2 Die Rahmenbedingungen..... 9

3 Definitionen und Konventionen 12

3.1 Koordinatensysteme..... 12

3.2 Massenträgheitsmomente 13

3.3 Anstellwinkel..... 14

3.4 Geschwindigkeitsdefinitionen 16

4 Strömungsabriss und Post Stall Gyrationen 17

4.1 Strömungsabriss 17

4.2 Post Stall Gyrationen 17

4.2.1 Übersicht..... 17

4.2.2 Gerissene Rolle (Flick Roll, Snap Roll) 19

4.2.3 Selbstinduzierte Rolle..... 19

4.2.4 Taumeln (Tumbling)..... 20

4.2.5 Spiralsturz, Steilspirale 20

5 Das Trudeln 21

5.1 Die Trudelphasen..... 21

5.1.1 Die Eingangsphase..... 22

5.1.2 Die Übergangsphase 24

5.1.3 Die ausgebildete Trudelbewegung 25

5.1.4 Die Beendigungsphase..... 28

5.2 Trudelformen 28

5.2.1 Flachtrudeln 29

5.2.2 Rückentrudeln (Inverted Spin) 30

5.2.3 Oszillierendes Trudeln..... 31

5.3 Trudeleffekte 35

5.3.1 Accelerated Spin..... 35

5.3.2 Crossover Spin..... 36

5.3.3 Pirouetteneffekt..... 36

6 Masseneffekte beim Trudeln..... 37

6.1 Grundlagen..... 37

6.1.1 Analogie zwischen Translation und Rotation..... 37

6.1.2 Massenträgheitsmoment 37

6.2 Trägheitskopplung (Inertial Coupling)..... 38

6.2.1 Zentrifugalkräfte/Kräfte nicht auf einer Wirkungslinie..... 39

6.2.2 Präzessionsmomente..... 41

6.3 Trudeln Ausleiten unter Ausnutzung der Präzessionsmomente..... 45

6.3.1 Rumpflastige Flugzeuge ("fuselage loaded" aircraft)..... 45

6.3.2 Flügellastige Flugzeuge ("wing loaded" aircraft)..... 46

7	Konstruktive Beeinflussung der Trudeleigenschaften.....	47
7.1	<i>Allgemeines.....</i>	47
7.2	<i>Leitwerk und Massenträgheitsmomente</i>	47
7.2.1	Auslegung des Seitenleitwerks	48
7.2.2	Massenverteilung und Trägheitsmomente.....	51
7.2.3	Relative Dichte μ	53
7.2.4	Zusammenführung dieser drei Merkmale.....	54
7.2.5	Bestimmung der Massenträgheitsmomente.....	55
7.2.5.1	Rechnerische Methode.....	55
7.2.5.2	Experimentelle Methode.....	55
7.2.5.3	Statistische Methode.....	56
7.3	<i>Weitere Möglichkeiten</i>	63
7.3.1	Rumpfquerschnitt	63
7.3.2	Bestimmung der Rumpfseitenfläche.....	65
7.3.3	Verhältnis von Rumpf-Nasenlänge zu Rumpf-Hecklänge	66
7.3.4	Strakes und Finnen	67
7.3.5	Drooped Leading Edge/MOLE.....	68
8	Die Bauvorschriften	70
8.1	<i>Geschichtliche Entwicklung.....</i>	70
8.2	<i>Übersicht der Bauvorschriften</i>	71
8.2.1	Zweimotorige Flugzeuge	74
8.2.2	"Spin resistant"-Zulassung.....	75
8.2.2.1	Hintergründe	75
8.2.2.2	"Spin resistant" unter CS-23 und FAR-23.....	77
8.2.2.3	"Spin resistant" unter CS-LSA	79
8.2.3	Zulassung von Experimentals/Homebuilts/Oldtimers.....	80
8.2.4	Ultraleichtflugzeuge	81
8.3	<i>Gesamtrettungssysteme.....</i>	82
8.4	<i>Anstellwinkelfühler, Überziehwarngeräte und Stick Pusher</i>	82
9	Erprobung der Trudeleigenschaften	85
9.1	<i>Vorversuche</i>	85
9.1.1	Allgemeines	85
9.1.2	Modellgesetze	85
9.1.3	Erprobung im Trudelwindkanal.....	87
9.1.4	Erprobung mit ferngesteuertem Flugmodell.....	88
9.2	<i>Der Flugversuch</i>	90
9.2.1	Ziele der Trudelerprobung.....	90
9.2.2	Flugversuche vor der Trudelerprobung	91
9.2.2.1	Stabilitätsuntersuchungen	91
9.2.2.2	Überziehversuche	92
9.2.3	Vorbereitung der Versuche.....	93
9.2.4	Sicherheitsvorkehrungen	94
9.2.4.1	Anti-Trudelschirm	95
9.2.4.2	Raketen, Ballast und Spreizflosse.....	97
9.2.4.3	Fallschirm, Absprung, Notausstieg.....	97
9.2.4.4	Begleitflugzeug (Chase Airplane)	98
9.2.4.5	Vorbesprechung der Versuche (Preflight Briefing).....	99

9.2.4.6	Vorbereitung und Voraussetzungen des Testpiloten	99
9.2.5	Testinstrumentierung	100
9.2.6	Trudeln einleiten und Aufbau der Versuche (Spin Build-up)	102
9.2.7	Trudelmatrix	104
9.2.8	Testkarte und Dokumentation am Beispiel der Hoffmann H 40	106
9.2.9	Stone-Prinzip	109
10	Trudeln ausleiten.....	110
10.1	<i>Generelles zum Ausleiten.....</i>	110
10.2	<i>Drehrichtung bestimmen</i>	111
10.3	<i>Das NASA-Standardverfahren.....</i>	113
10.4	<i>PARE.....</i>	115
10.5	<i>Beggs-Müller-Verfahren.....</i>	116
10.6	<i>Weitere unterstützende Möglichkeiten.....</i>	116
10.7	<i>Ausleiten aus dem Rückentrudeln.....</i>	118
11	Festlegen des Notverfahrens zum Ausleiten von Trudeln	119
12	Fazit und Schlussbemerkung	121
12.1	<i>An den Piloten.....</i>	121
12.2	<i>An den Konstrukteur</i>	124
13	Literaturverzeichnis.....	125