

Übersetzung des USAF Handbuchs

Die US Air Force hat die ASK 21 mit Trudelgewichten 1989 eingehend erprobt. Die Ergebnisse sind auch in das Konzept der TM 4a eingeflossen. In dem USAF-Bericht wird auch eine Empfehlung für das Flughandbuch gegeben. Der Text ist für den Flugschüler zu detailliert. Da er aber dem Fluglehrer nicht vorenthalten werden soll, wird er nachstehend abgedruckt. Da er älter ist, gibt es Abweichungen zur TM4a (z.B. Konzept der Trudelgewichtstabelle).

Schleicher ASK-21 (TG-9) Stall and Spin Evaluation

Doyle B. Janzen, Charles J. Precourt

July 1989,

Air Force Flight Test Center Edwards Air Force Base

*Übersetzung durch AS, nach bestem Wissen und Gewissen. Dies ist ein zusätzlicher Text zur Information des Piloten.
Er ist nicht Teil des anerkannten Handbuchs der ASK 21.*

[..] Die folgende Besprechung ist die empfohlene Ausarbeitung für Abschnitt VI (Flugeigenschaften) des Flughandbuchs. Diese Informationen sind ebenfalls für das Flughandbuch des Herstellers geeignet.

[..]

Abkippen und Trudelneigung

Einleitverfahren

Das einfachste Verfahren Trudeln einzuleiten, besteht darin, aus dem schiebefreien Geradeausflug heraus, bis zum Überziehen die Flugzeugnase konstant 10° über dem Horizont zu halten, und gleichzeitig sanft Seitenrudervollaus-schlag zu geben und voll zu ziehen. Im rechten Zeitpunkt vor dem Überziehen Querruderausschläge zu geben, kann eine zusätzliche Drehbeschleunigung um die Hochachse erzeugen (negatives Wendemoment des Querruders) und damit das Einleiten des Trudelns unterstützen. Das gilt besonders für eher vorlastige Schwerpunktlagen, bei denen Seitenruder und Höhenruder alleine kein richtiges Trudel-Einleiten erreichen. Das Einleiten des Trudelns hängt von den Umständen ab. Wenn das Einleiten mit zu viel Anstellwinkel durchgeführt wird, entsteht ein Spiralsturz. Wenn der Anstellwinkel beim Einleiten zu flach ist, entsteht ein Seitengleitflug mit viel Querneigung. Spiralsturz und Seitengleitflug treten häufiger auf, je vorlastiger die Schwerpunktlage ist. Mit Schwerpunktlagen vor 315mm [bzgl. Bezugspunkt (BP)] wird ein erfolgreiches Einleiten des Trudelns unwahrscheinlich. In diesem Fall führt das Einleiten zu Spiralstürzen und Seitengleitflügen, unabhängig von dem Einleite-Verfahren.

Einfluss der Massenverteilung

Ob das Einleiten des Trudelns erfolgreich ist, hängt auch von der Massenverteilung ab. Die ASK 21 besitzt die besondere Möglichkeit Heckballast anbringen zu können, das heißt, dass sie an beiden Enden des Rumpfs beladen werden kann. Obwohl die Ballastgewichte dafür ausgelegt wurden, den Schwerpunkt zu verschieben, beeinflussen sie auch stark die Trägheitsmomente, die ihrerseits das Verhalten des Flugzeugs in Flugmanövern bestimmen. Da der Heckballast maßgeblich die Massenträgheit der Längsachse erhöht, führt jedes anfängliche Gieren zu mehr Drehimpuls, verglichen mit dem Fall ohne Gewichten. Dieser größere Drehimpuls führt dazu, dass Trudeln bei vorlastigeren Schwerpunktlagen eingeleitet werden kann, als es im Fall geringeren Trägheitsmomentes der Fall wäre.

In der Flugerprobung konnte Trudeln bis zu vorlastigen Schwerpunktlagen von 328mm erreicht werden. Bei Beladungen mit minimalem Trägheitsmoment (einsitzig, leichter Pilot, ohne Heckballast), konnte instationäres Trudeln bei Schwerpunktlagen hinter 330mm, und stationäres Trudeln bei Schwerpunktlagen hinter 381mm erreicht werden.

Mit größerem Trägheitsmoment (zwei Piloten und Heckballast), kann instationäres Trudeln ab 318mm auftreten und stationäres Trudeln bereits ab 343mm. Damit sorgt der Heckballast dafür, dass die Soll-Schwerpunktlage, bei der getrudelt werden kann, sukzessive nach vorne wandert, wenn die Gewichte der Piloten zunehmen.

[..] Mit Bezug auf die Testergebnisse [...] liegt die beste Schwerpunktlage für Trudeleinweisungen bei 406mm. [...] Die maximale Anzahl von Heck-Trimmplatten beträgt [12]. Wenn die Pilotengewichte es notwendig machen würden, mehr als [12] Heck-Trimmplatten zu montieren [...], sollen [12] Platten montiert werden, was zu einer Schwerpunktlage leicht vor 406mm führt. Durch das erhöhte Trägheitsmoment in diesem Fall, wird das Flugzeug für die Einweisung trotzdem leicht zu trudeln sein.

Einleitverfahren ohne Seitenruder

Unter bestimmten Bedingungen kann Trudeln ohne Seitenrudereingabe auftreten. Beginnendes Abkippen beim Überziehen kann ein ausreichend starkes Gieren erzeugen, so dass das Seitenruder in die trudeleinleitende Richtung ausweht. Ein Abkippen kann durch das negative Wendemoment verursacht werden, wenn in der Nähe des Überziehens oder bei Turbulenz Querruderausschläge ohne die passenden Seitenruderausschläge gegeben werden. In diesen Fällen, wenn das Flugzeug nicht wieder eingefangen wird, indem das Seitenruder entgegen der Abkipprichtung ausgeschlagen und das Überziehen durch Nachdrücken beendet wird, kann das Flugzeug ins Trudeln kommen.

[...] Wenn nahe am Überziehen nicht sauber mit koordinierten Quer- und Seitenruderausschlägen geflogen wird, kann das Flugzeug allein durch Steuerknüppeleingaben abkippen oder ins Trudeln kommen.

Trudel-Eigenschaften

Trudel-Formen

Die ASK 21 hat zwei Trudelformen, eine aufrechte und eine in Rückenlage. Beide kann man als schnell, steil und schwingend bezeichnen. Jedoch sorgt die Schwingung in der Trudelbewegung für eine Veränderung der Längsneigung, die von extrem steil bis fast flach schwanken kann. Die mittlere Längsneigung wird als steil klassifiziert.

Die Trudelbewegung kann auch ruhig erscheinen, anstelle von schwingend, in Fällen, in denen nur drei Umdrehungen oder weniger geflogen wurden. Das kommt daher, dass die Schwingungsdauer und Frequenz der Anstellwinkelschwingung sich mit der Schwerpunktllage und dem Trägheitsmoment verändern. Man kann eine Bandbreite von einer Schwingung pro Umdrehung bis zu einer Schwingung pro drei Umdrehungen beobachten, abhängig von der Beladung.

Trudel-Parameter

Die Längsneigung der ASK 21 während aufrechten Trudelns pendelt um 40° bis 50° Nase unter dem Horizont. In der steilen Phase der Schwingung ist die Nase bis zu 70° unter dem Horizont, und in der flachen Phase kommt die Nase bis zum Horizont nach oben. In keinem Fall neigt die flache Phase dazu, sich zu einer Situation zu entwickeln, aus der nicht mehr ausgeleitet werden kann. Bei manchen Gelegenheiten ist die Längsneigung steil genug, dass der Anstellwinkel kurzfristig kleiner ist als im überzogenen Flugzustand, wodurch sich das Trudeln beendet, sobald das Flugzeug nach unten pendelt. Die Frequenz der Schwingung nimmt zu, wenn der Schwerpunkt weiter hinten liegt; wogegen eine Zunahme des Trägheitsmomentes sich in größeren Schwingungsamplituden niederschlägt.

Beispielsweise, bei vordersten Schwerpunktllagen, tritt eine Schwingung pro drei Umdrehungen auf. An der hinteren Schwerpunktllage, tritt die Schwingung jede $\frac{1}{4}$ bis ganze Umdrehung auf. Bei niedrigem Trägheitsmoment schwingt die Längsneigung etwa $\pm 15^\circ$ um 50° unter dem Horizont, wogegen bei großem Trägheitsmoment die Längsneigung $\pm 30^\circ$ um 40° unter dem Horizont pendelt. Die Drehgeschwindigkeit beträgt immerhin $140^\circ/\text{s}$, oder eine Umdrehung in 2,5 Sekunden. Diese Drehgeschwindigkeit tritt in der steilen Phase der Trudelbewegung auf. Während der flachen Phase ist die Drehung nur $90^\circ/\text{s}$ langsam, also eine Umdrehung in 4,5 Sekunden. Die mittlere Drehrate ist am schnellsten bei vorderen Schwerpunktllagen und großen Trägheitsmomenten, wo also die Schwingungsdauer am größten ist. Hin zur hinteren Schwerpunktsgrenze, wo Schwingungen in Richtung flacherer Längsneigungen häufiger sind, ist die mittlere Drehrate am langsamsten.

Bei allen Trudelformen beträgt der Höhenverlust pro Drehung ungefähr 60m, mit einer Spanne von 46m bis 79m. Das zeigt, dass unabhängig von der überlagerten Längsschwingung, die Sinkrate relativ konstant bleibt.

Die Fahrtmesseranzeige variiert während des Trudelns mit der Längsneigung. In den meisten Fällen pendelt die Fahrtmesseranzeige zwischen 56 km/h. und 74 km/h. Während größerer Schwingungsausschläge der Längsneigung treten auch größere Schiebewinkel auf und der Fahrtmesser zeigt fehlerhafterweise Null oder weniger (Der Zeiger läuft rückwärts [...]).

Da die Fahrtmesseranzeige während des Trudelns unzuverlässig sein kann, ist besondere Aufmerksamkeit notwendig, um den Übergang in eine Steilspirale wahrzunehmen. Wenn das Strömungsgeräusch durch die Außenströmung bis zu dem Punkt anschwillt, dass eine Verständigung zwischen der Besatzung schwierig wird, oder wenn die Fahrtmesseranzeige ansteigt und die 110 km/h durchsteigt, dann trudelt das Flugzeug nicht mehr, sondern befindet sich wahrscheinlich in einer Steilspirale. Es sollte sofort [das Flugzeug mit Seiten- und Querruder aufgerichtet werden], und der Knüppelkraft nachgegeben werden, um ein mögliches Überschreiten der zulässigen Geschwindigkeiten oder ein mögliches Überlasten zu vermeiden, was mit schnellen Steilspiralen verbunden sein kann. Bremsklappen sollten nach Bedarf verwendet werden, um die Geschwindigkeit während des Abfangens aus jeder Art Trudeln oder Steilspirale zu kontrollieren [Anmerkung: AS empfiehlt, die Bremsklappen *nicht* im Abfangbogen zu verwenden. Durch das Ausfahren der Bremsklappen wird die Auftriebsverteilung ungünstig beeinflusst, und das erträgliche Lastvielfache nimmt auf +3,5g / -0g ab, siehe Flughandbuch Abschnitt II.5].

[...]

Das Geräusch im Cockpit ändert sich ebenfalls durch die Längsneigungsschwingung im stationären Trudeln. Während steiler Phasen der Trudelbewegung ist das Cockpitgeräusch durch die Außenströmung am lautesten, während in den flachen Phasen das Cockpit sehr ruhig ist.

WARNUNG:

Das sich ändernde Cockpitgeräusch, die sich ändernde Längsneigung und die sich ändernden Drehgeschwindigkeiten und Fahrtmesseranzeigen können zusammenwirken und bei solchen Piloten Desorientierung erzeugen, die nicht mit dem Trudeln dieses Flugzeugs vertraut sind. Falls das passiert, sollten sofort die für das Ausleiten notwendigen Steuerausschläge gegeben werden, um jede mögliche Folge dieser Desorientierung zu minimieren.

Ruderkräfte im Trudeln sind gering. Die Querruder haben die Tendenz in Trudelrichtung auszuweichen, einhergehend mit einer seitlichen Kraft von 2,3 bis 4,5 daN am Knüppel. Bei den höheren Drehgeschwindigkeiten im Trudeln fallen die Höhen- und Seitenruderkräfte, wenn voll in Trudelrichtung ausgeschlagen, auf Null ab.

Ruderwirksamkeit

Ausleiten nach Handbuch

Wenn Gegenseitenruder an einem langsamen Punkt, oder einer flachen Phase des Trudelns gegeben wird, hört die Drehung in $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ Umdrehung auf und das Flugzeug beendet das Trudeln. In der Mehrzahl der Fälle, selbst bei höheren Drehgeschwindigkeiten, beendet Gegenseitenruder das Trudeln in $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ Umdrehung nach dem Beginn der Eingabe. Bei Schwerpunktlagen zwischen 355 und 406mm und bei größeren Trägheitsmomenten kann das Flugzeug bis zu $1\frac{1}{2}$ Umdrehungen nachdrehen. Es ist zwingend erforderlich, dass eine kurze Pause zwischen Gegenseitenruder und Nachlassen des Knüppels eingehalten wird, andernfalls können noch größere Verzögerungen beim Ausleiten auftreten.

[Aufgrund dieser Aussagen wurde das Flughandhandbuch ergänzt und der Hinweis auf die Pause zwischen Gegenseitenruder und Nachlassen des Knüppels aufgenommen]

Ein Nachdrehen von $1\frac{1}{2}$ Umdrehungen kann bis zu 5 Sekunden beanspruchen, was einem unerfahrenen Piloten überaus lang erscheinen kann. Das Ausleitverfahren nach Flughandbuch hat eine 100% Erfolgsquote, wenn ihm genügend Zeit gegeben wird zu wirken.

Einfluss der Querruder

Bei der ASK 21 erzeugt ein Querruderausschlag entgegen der Trudelrichtung sowohl eine spürbare Querneigung entgegen der Trudelrichtung, als auch eine abnickende Drehbewegung. Das beendet manchmal das Trudeln, weil zum einen durch die Trägheitskopplung das Gieren verlangsamt, und zum anderen das Abnicken das Flugzeug in einen steilen Seitengleitflug bringt. In anderen Fällen bleibt das Flugzeug mit einer Querneigung entgegen der Trudelrichtung im Trudeln. Deswegen bringt ein Querruderausschlag entgegen der Trudelrichtung keinen zuverlässigen Beitrag zum Ausleiten des Trudelns.

Querruder in Trudelrichtung erhöhen die Drehgeschwindigkeit des Trudelns, aber dieser Effekt wird überdeckt durch das schwingende Verhalten der Trudelparameeter. In den meisten Fällen vergrößern Querruder in Trudelrichtung die Drehgeschwindigkeit geringfügig und stabilisieren das Trudeln. Die Ergebnisse von Versuchen allein mit dem Querruder weisen darauf hin, dass Querruder neutral die beste Stellung zum Ausleiten ist.

Einfluss des Höhenruders

In manchen Fällen, wenn ohne Seitenruderausschlag nur nachgedrückt wird, dauert das Trudeln an. Sowohl in der anfänglichen Trudel-Phase, direkt nach dem Abkippen, als auch zu Beginn der Aufnickenden Schwingung, kann volles Nachdrücken das Ausleiten um bis zu drei Umdrehungen verzögern.

WARNUNG:

Beim Beenden des überzogenen Flugzustandes, wenn der Flügel beginnt abzukippen, oder bei vollem Abkippen oder beim Trudeln kann das Wiederherstellen der Normalfluglage um bis zu drei zusätzliche Umdrehungen verzögert werden, wenn vor dem Gegenseitenruder nachgedrückt wird.

Freigeben der Steuerung

In der Mehrzahl der Fälle, wenn die Steuerung während des Trudelns freigegeben wird, bewegt sich der Knüppel seitlich in Trudelrichtung. Der Knüppel erreicht normalerweise den Anschlag der Quersteuerung und bewegt sich dann nach vorne Richtung neutral. Die Längsneigung des Flugzeugs wird steiler und dann kehrt das Seitenruder auf neutral zurück. An diesem Punkt leitet das Flugzeug von alleine in einer sehr steilen Fluglage aus.

Wenn die Steuerung losgelassen wird, just nachdem die Längsneigung den tiefsten Punkt durchquert hat, und die Drehgeschwindigkeit groß ist, bewegt sich der Knüppel abrupt in Trudelrichtung und bleibt in der Position Voll gezogen / Voller Querruderausschlag. Die Seitenruderpedale bleiben ebenfalls im Vollausschlag, oder zumindest annähernd so, und das Trudeln setzt sich ohne Ende fort, bis der Pilot die Steuerung in die Position zum Ausleiten bringt. Das ist besonders häufig im Bereich der Schwerpunktlage von 355 bis 406mm, bei Beladungen mit großem Trägheitsmoment. Da die Luftkräfte die Steuerung gelegentlich in trudelbegünstigende Richtung auswehen können, ist es kein brauchbarer Ansatz, die Steuerung freizugeben, um das Trudeln zu beenden. Das Trudel-Ausleitverfahren muss angewendet werden um ein zuverlässiges Ausleiten zu gewährleisten.

Trudeln im Rückenflug

Die [USAF]-Flugversuche haben bestätigt, dass die ASK 21 eine Trudelform im Rückenflug besitzt. Flugversuche wurden mit Schwerpunktlagen zwischen 401mm und der hintersten Schwerpunktlage durchgeführt.

WARNUNG: Beabsichtigtes Trudeln im Rückenflug ist verboten.

Anfälligkeit

[..] Trudeln im Rückenflug wird mit Schwerpunktlagen vor 401mm unwahrscheinlicher, da die Stellung der Ruder wichtiger wird. Insgesamt ist die ASK 21 „extremely resistant“ gegenüber Trudeln im Rückenflug, weil unabhängig von der Schwerpunktlage nur fortdauerndes Überziehen im Rückenflug zum Trudeln führt. Obwohl Flugversuche eine zunehmende Unwilligkeit bei Schwerpunktlagen vor 401mm nahelegen, kann daraus nicht geschlossen werden, dass bei Schwerpunktlagen weiter vorne Trudeln im Rückenflug unmöglich ist.

Eigenschaften

Das Abkippen im Rückenflug und der Eingang ins Trudeln sind im Wesentlichen ein Spiegelbild der Situation im Normalflug. Die Flugzeugnase senkt sich auf 60° unter Horizont und verharrt dort. Im Cockpit bauen sich Lastvielfache von $-2g$ auf und die Nase schwenkt zurück auf 40° unter Horizont. Das Trudeln entwickelt sich innerhalb einer Drehung um 180° und hat eine Schwingung, genau wie im aufrechten Trudeln. Der Höhenverlust beträgt 61 bis 91 m pro Umdrehung und die Drehgeschwindigkeit beträgt eine Umdrehung pro 3 bis $3\frac{1}{2}$ Sekunden. Bei den getesteten Schwerpunktlagen schwingt die Trudelbewegung alle $\frac{3}{4}$ bis ganze Umdrehung. Sobald das Trudeln ausgebildet ist, schwingen die Lastvielfachen zwischen -1 und $-1,5g$. Die Fahrtmesseranzeige pendelt in der Nähe von 75 km/h und bleibt durchgehend unbrauchbar. Die Lasten im Cockpit fühlen sich unangenehm an, aber die übrigen Trudeleigenschaften sind sehr vergleichbar mit dem aufrechten Fall.

Ausleiten des Rückentrudelns findet zügig statt ($\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ Umdrehung), wenn die Steuerorgane in Neutralstellung gebracht werden. Der Höhenverlust von Beginn des Ausleitens bis zum Horizontalflug beträgt 122 bis 152 m. Da die Trudelbewegung sowohl eine Rollkomponente als auch eine Gierkomponente beinhaltet, rollt das Flugzeug während des Abfangens selbstständig in den Normalflug, ohne dass der Pilot zusätzliche Steuereingaben macht. Die Fahrtmesseranzeige während des Abfangens beträgt typischerweise 167 bis 185 km/h.

Anmerkung zur Übersetzung

Die deutsche Übersetzung wirkt stellenweise hölzern, weil im Zweifelsfall versucht wurde, nahe am Original zu bleiben. Im englischsprachigen Original werden einige Fachbegriffe verwendet, für die es nicht immer 100%ige Entsprechungen im Deutschen gibt. Sie wurden daher im Text umschrieben.

Englischer Begriff	Deutsche Umschreibung	Definition im Original
Departure:	Nicht mehr aussteuerbares Abkippen	Ereignis des überzogenen Flugzustandes, das den Eintritt in eine poststall Drehbewegung oder in Trudeln auslöst. Der Moment, der durch unbefohlene, aus dem Ruder laufende Flugzeugbewegungen gekennzeichnet und synonym mit dem vollständigen Kontrollverlust ist.
G-break	Durchsacken	
Incipient spin	Instationäres Trudeln	Trudeln, das eine Umdrehung, aber nicht mehr als 5 Umdrehungen anhält, und sich selbst beendet, obwohl das Trudeln begünstigende Steuereingaben beibehalten bleiben.
Nose drop	Abnicken	
Sustained Spin	Stationäres Trudeln	Trudeln, das mindestens 5 Umdrehungen anhält, oder auch beliebig weiter andauern würde, solange das Trudeln begünstigende Steuereingaben beibehalten werden.
Wing drop	Beginnendes Abkippen über einen Flügel	