

Flugbetrieb**Kraftstoff**

Braunschweig, den 9. 6.1982

LBA 111 32-956.4,002/82 Nachdruck 1992

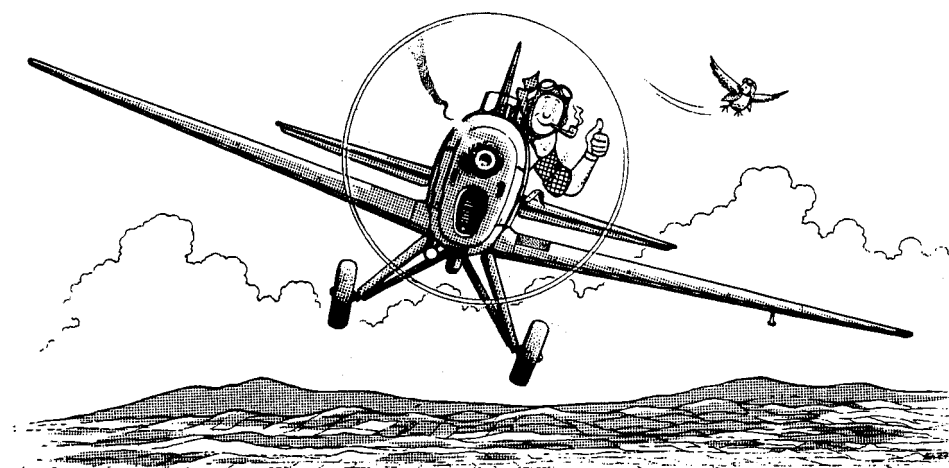
Plane in der Zeit, so hast Du in der Not!

Ein einmotoriges Flugzeug landet. Noch während des Ausrollens bleibt plötzlich der Motor stehen.

Kraftstoffmangel!

Glück für Pilot und Passagiere - einige Minuten früher hätte das gleiche Malheur zu einer Notsituation geführt.

Nehmen Sie sich deshalb die Zeit und bedenken Sie vor Antritt des Fluges, wieviel Kraftstoff voraussichtlich benötigt wird. Sie können dadurch gefährvolle Situationen vermeiden.



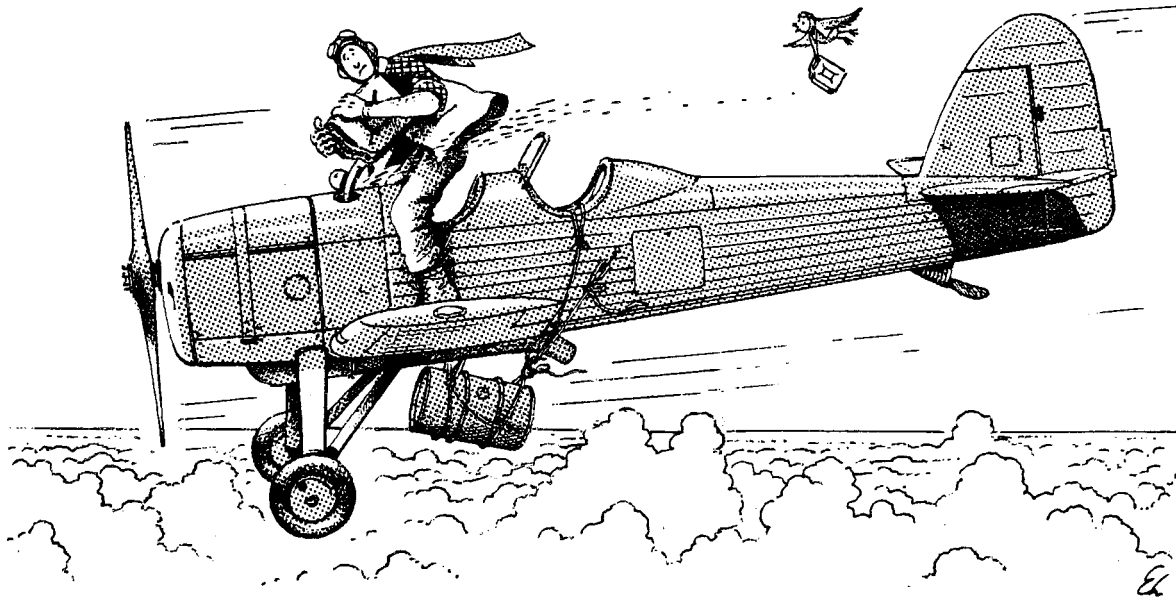
Herausgeber: Luftfahrt-Bundesamt, Flughafen, 3300 Braunschweig

Herstellung: Wehmeyer-Offset, Druck und Verlag, Volkmaroder Str. 6, 3300 Braunschweig

Nachforderungen mit ausreichend frankiertem und adressiertem Umschlag bitte richten an:
DAeC-Wirtschaftsdienst GmbH, Lyoner Str. 16, 6000 Frankfurt/M. 71

Abdruck, auch auszugsweise, nur mit Quellenangabe gestattet

Triebwerksausfall infolge Kraftstoffmangel hat schon häufig zu schwerwiegenden Unfällen geführt.



Was kann man tun, um nicht in eine solche Situation zu geraten? Es fängt zuerst bei der Flugvorbereitung an. Eine genaue Berechnung der erforderlichen Kraftstoffmenge ist besonders dann von großer Bedeutung, wenn die zu fliegende Entfernung an die Reichweitengrenze des Flugzeuges geht. Lesen Sie deshalb sorgfältig alle Angaben, die über Kraftstoffberechnung im Flughandbuch geschrieben stehen.

Dazu noch eine Anmerkung:

Häufig sind neben tabellarischen und graphischen Darstellungen Korrekturwerte angegeben, die verschiedene Faktoren wie z. B. Wind und Temperatur berücksichtigen. Beachten Sie diese Angaben, die Kraftstoffberechnung führt sonst zu einem falschen Ergebnis.

Wir wollen jetzt gemeinsam eine Kraftstoffberechnung für einen Überlandflug durchführen.

Dazu nehmen wir die folgenden Werte an:

FLUGZEUGKONFIGURATION:

max. Abflugmasse 1.043 kg
 ausfliegbarer Kraftstoff 151,4 l(40 US Gal)

STARTBEDINGUNGEN:

Platzdruckhöhe 1.500 ft Temperatur 32° C(20° C über Standardtemperatur) Wind 20 kn Gegenwind

REISEFLUGBEDINGUNGEN:

Gesamtflugstrecke 740 km (400 NM)
 Druckhöhe 4.500 ft
 Temperatur 26° C(20° C über Standardtemperatur)
 Streckenwind 20 kn Gegenwind

Zur Erinnerung hier noch einmal die wichtigsten Werte der **ICAO-Standardatmosphäre** bezogen auf Meeresspiegelhöhe (MSL):

Luftdruck $p_0 = 1013,25 \text{ mb}$
 Temperatur $t_0 = 15^\circ \text{ C}$
 Temperaturgradient

(Temperaturabnahme mit der Höhe) = $0,65^\circ \text{ C}/100 \text{ m}$ bzw. $2^\circ \text{ C}/1000 \text{ ft}$

Lesen wir jetzt, was in einem Flughandbuch über die Leistungen des Flugzeugs ausgesagt wird:

„Die Leistungstabellen und -diagramme auf den folgenden Seiten sind so dargestellt, daß sie einerseits erkennen lassen, welche Leistungen Sie von Ihrem Flugzeug unter verschiedenen Bedingungen erwarten können, und daß Sie andererseits eine **eingehende** und **hinreichend genaue** Flugplanung erleichtern. Die Werte in den Tabellen und Diagrammen wurden aus den Ergebnissen von neueren Erprobungsflügen mit einem in **gutem Betriebszustand** befindlichen **Flugzeug und Triebwerk** errechnet, wobei **durchschnittliche Pilotentechnik** zugrundegelegt wurde.

Es ist zu beachten, daß die Leistungsangaben in den Diagrammen für **Reichweite und Flugdauer** eine Kraftreserve für 45 min. bei **45 % Triebwerksleistung** (15,51) einschließen. Die Werte für den Kraftstoffdurchfluß im Reiseflug basieren auf der Einstellung für empfohlenes armes Gemisch. Einige unbestimmbare Variablen wie die Technik der Abmagerung des Gemisches, die Kraftstoffzumeßeigenschaften, der Betriebszustand von Triebwerk und Propeller sowie Turbulenz können **Änderungen der Reichweite und Flugdauer von 10 % und mehr bewirken!**

Deshalb ist es wichtig, bei der Berechnung der für den jeweiligen Flug erforderlichen Kraftstoffmenge alle verfügbaren Informationen auszuwerten."

Sie können hieraus ersehen, daß zahlreiche Faktoren den Kraftstoffverbrauch beeinflussen und beträchtlich erhöhen können. Wir müssen dies in unserer Berechnung durch **entsprechende Zuschläge** berücksichtigen.

An dieser Stelle sei auch einmal auf die Auswirkungen der Kraftstoffdichte hingewiesen.

In den meisten Flughandbüchern beruhen die Angaben zur Kraftstoffberechnung auf der Annahme, die Dichte des Flugbenzins habe einen Wert von 0,72 kg/Liter. In vielen Fällen jedoch ist der Wert geringer. Der in der Bundesrepublik Deutschland verfügbare Kraftstoff AVGAS 100LL schwankt in seiner Dichte zwischen den Werten 0,700 und 0,725, bezogen auf eine Temperatur von 15° C.

Ändert sich die Temperatur des Kraftstoffes, dann ändert sich seine Dichte.

Dies hat natürlich Einfluß auf Reichweite und Flugdauer!

Das nachfolgende Diagramm zeigt die Abhängigkeit der Dichte von der Temperatur sowie die Auswirkung auf Flugdauer und Reichweite.

Betanken Sie Ihr Flugzeug beispielsweise mit einem Kraftstoff, der 30° C warm ist und dessen Dichtewert 0,700 bei einer Temperatur von 15° C beträgt, so wird die Flugdauer um **fast 5 % verringert!**

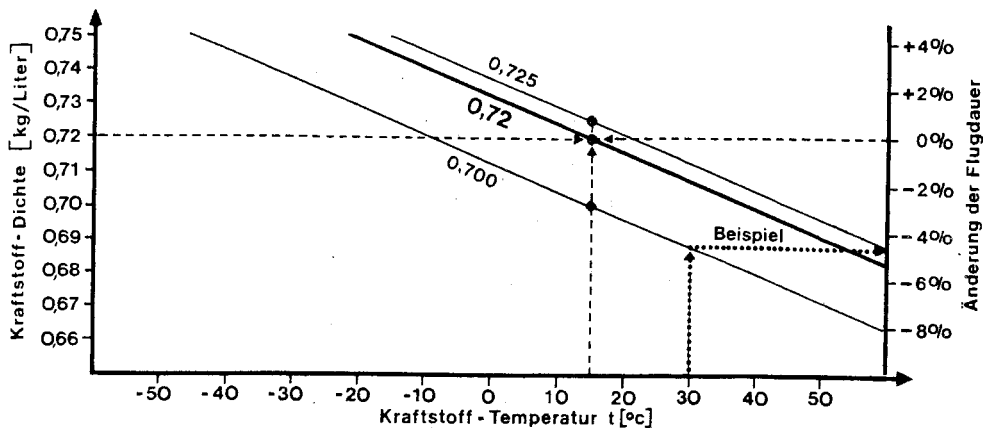
In diesem Zusammenhang sei noch einmal auf das Flughandbuch verwiesen, wonach einige unbestimmbare Variablen Flugdauer und Reichweite um „**10 % oder mehr**“ beeinflussen können. Allein der Einfluß der Kraftstoffdichte kann also bereits die Hälfte des im Flughandbuch geforderten Zuschlags ausmachen!

Nun ist der im Beispiel gewählte Fall sicherlich nicht die Regel, er kann jedoch auftreten. Das Flugbenzin, das in der Bundesrepublik Deutschland verwendet wird, liegt mit seiner Dichte **häufig** bei nur 0,702.

Die Temperatur des Flugbenzins, das Sie aus einem Erdtank erhalten - und das ist der Normalfall - liegt bei 15° C.

An einigen Tankstellen jedoch liegen die Kraftstoffbehälter oberirdisch. Diese können an heißen Sommertagen Temperaturen von 40° C und mehr erreichen, so daß auch das Flugbenzin durchaus auf diese Temperaturen aufgeheizt werden kann, das gleiche gilt für Tankfahrzeuge. Bei geringer Dichte und hoher Temperatur des Flugbenzins sollte bei der Berechnung von Reichweite und Flugdauer ein Sicherheitszuschlag von **mehr als 10 %** gewählt werden.

Im folgenden Rechenbeispiel gehen wir von einer Kraftstofftemperatur von 15° C aus. Der Einfluß auf Reichweite und Flugdauer ist daher so klein, daß er durch den 10 % igen Sicherheitszuschlag abgedeckt ist.



Einfluß von Kraftstofftemperatur und -dichte auf Flugdauer und Reichweite (aus Aviation Safety Digest)

Anlassen, Rollen, Startlauf

Schon beim Anlassen des Triebwerkes wird Kraftstoff verbraucht. Hinzu kommt noch der Verbrauch für das Rollen zum Startpunkt und für den Startlauf. Im Flughandbuch ist hierfür ein **Standardwert von 4,2 l (1,1 US Gal) angegeben.**

Diesen Wert notieren wir uns:

Kraftstoffbedarf zum Anlassen, Rollen und Startlauf: **4,2 l (1,1 US Gal)**

Steigflug

Um von unserem Startflugplatz auf die gewünschte Reiseflughöhe zu kommen, müssen wir einen Höhenunterschied von 3000 ft überwinden. Aus der Tabelle entnehmen wir die Werte für Zeit, Kraftstoffmenge und

Steigstrecke:

Wie aus den Anmerkungen zu der Tabelle ersichtlich ist, müssen für je 10° C über der Standardtemperatur die Werte für Zeit, Kraftstoffmenge und Steigstrecke um 10 % vergrößert werden.

Da wir in unserem Beispiel mit einer Temperatur von 32° C (Standardtemperatur + 20° C) rechnen, vergrößern wir sämtliche Werte um 20 %.

1. **Kraftstoffverbrauch** für den Steigflug
 bei Standardtemperatur: 3,6 l (0,9 US Gal)
 + Erhöhung wegen 20° C Abweichung
 von der Standardtemperatur: 0,7 l (0,2 US Gal)
[3,6 l (0,9 US Gal) x 20 %]
 Berichtigter Kraftstoffverbrauch für
den Steigflug: 4,3 l (1,1 US Gal)

FÜR DEN STEIGFLUG ERFORDERLICHE ZEIT, STRECKE UND KRAFTSTOFFMENGE (NIMMALE STEIGGESCHWINDIGKEIT)

Bedingungen:

- Klappen eingefahren
- Vollgas
- Normtemperatur

Anmerkungen:

1. Für Anlassen, Rollen und Start ist eine Kraftstoffmenge von 4,2 l (1,1 US gal) hinzuzurechnen.
2. Gemisch in Höhen über 3000 ft am für maximale Drehzahl.
3. Für je 10 °C über der Normtemperatur sind die Werte für Zeit, Kraftstoffmenge und Steigstrecke um 10% zu vergrößern.
4. Die angegebenen Strecken gelten bei Windstille.

Flugge- wicht kp	Druck- höhe ft	Tempe- ratur °C	Geschw. im Steig- flug kn IAS	Steigge- schwin- digkeit ft/min	Von Meereshöhe		
					Zeit min	Kraftstoff- menge l	Steig- strecke km
1043	NN	15	73	770	0	0,0	0
	→ 1000	13	73	725	1	1,1	3,7
	→ 2000	11	72	675	3	2,3	5,6
	3000	9	72	630	4	3,4	9,3
	→ 4000	7	71	580	6	4,5	14,8
	5000	5	71	535	8	6,1	18,5
	6000	3	70	485	10	7,2	22,2
	7000	1	69	440	12	8,7	27,8
	8000	-1	69	390	15	10,2	35,2
	9000	-3	68	345	17	12,1	40,8
	10 000	-5	68	295	21	14,0	50,0
	11 000	-7	67	250	24	15,9	59,3
12 000	-9	67	200	29	18,5	70,4	

2. Steigstrecke

bei Standardtemperatur: 11,8 km (6,4 NM)
 + Erhöhung wegen 20° C Abweichung von der Standardtemperatur: 2,4 km (1,3 NM) [11,8 km (6,4 NM) x 20 %]

Errechnete Steigstrecke: 14,2 km (7,7 NM)

Während des Steigfluges sind wir aber schon dem Gegenwind von 20 kn ausgesetzt. Das bedeutet, daß sich die errechnete Steigstrecke verkürzt.

Errechnete Steigstrecke: 14,2 km (7,7 NM) - Verkürzung wegen 20 kn Gegenwind

(6 min x 20 kn) 3,7 km- (2,0 NM)

Berichtigte Steigstrecke 10,5 km (5,7 NM)

10,5 km (5,7 NM) vom Startflugplatz entfernt haben wir unsere gewünschte Reiseflughöhe erreicht und bis dahin 8,5 l(2,2 US Gal) Kraftstoff verbraucht.

Reiseflug

Für den Reiseflug bleibt dann noch eine Entfernung

von 740 km (400 NM) - 10,5 km (5,7 NM)

729,5 km (394,3 NM)

Der Reiseflug kann mit unterschiedlicher Triebwerksleistung durchgeführt werden. Am gebräuchlichsten ist eine **Leistung des Motors von 75 %** .

Häufig wird jedoch mit einer noch niedrigeren Leistung geflogen, um Kraftstoff zu sparen und somit zu einer größeren Reichweite zu gelangen.

Wir wollen vier verschiedene Motorleistungen (75 %° 65 % - 55 % - 45 %) betrachten und den entsprechenden Kraftstoffverbrauch für den Reiseflug ermitteln. In der Spalte „**20° C über Standardtemperatur**“ der untenstehenden Tabelle finden wir folgende Werte:

REISELEISTUNG

Bedingungen:

Empfohlenes armes Gemisch
 Fluggewicht 1043 kp
 Klappen eingefahren

Druck- höhe ft	U/ min	20 °C unter Normtemperatur			Normtemperatur			20 °C über Normtemperatur		
		BHP %	TAS kn	Kraftst. l/h	BHP %	TAS kn	Kraftst. l/h	BHP %	TAS kn	Kraftst. l/h
2000	2500	---	---	---	75	116	31,8	71	115	29,9
	2400	72	111	30,3	67	111	28,4	63	110	26,9
	2300	64	106	26,9	60	105	25,4	56	105	23,8
	2200	56	101	23,8	53	100	23,1	50	99	22,0
	2100	50	95	22,0	47	94	21,2	45	93	20,4
4000	2550	---	---	---	75	118	31,8	71	118	29,9
	2500	76	116	32,2	71	115	30,3	67	115	28,4
	2400	68	111	28,8	64	110	26,9	60	109	25,4
	2300	60	105	25,7	57	105	24,2	54	104	23,1
	2200	54	100	23,1	51	99	22,3	48	98	21,6
2100	48	94	21,2	46	93	20,8	44	92	20,1	
6000	2600	---	---	---	75	120	31,8	71	120	29,9
	2500	72	116	30,7	67	115	28,8	64	114	26,9
	2400	64	110	27,3	60	109	25,7	57	109	24,2
	2300	57	105	24,6	54	104	23,5	52	103	22,3
	2200	51	99	22,3	49	98	21,6	47	97	20,8
2100	46	93	20,8	44	92	20,4	42	91	19,7	
8000	2650	---	---	---	75	122	31,8	71	122	29,9
	2600	76	120	32,6	71	120	30,3	67	119	28,4
	2500	68	115	29,7	64	114	27,3	60	113	25,7
	2400	61	110	26,1	58	109	24,6	55	108	23,5
	2300	55	104	23,5	52	103	22,7	50	102	22,0
2200	49	98	21,6	47	97	20,8	45	96	20,4	
10 000	2650	76	122	32,2	71	122	30,3	67	121	28,4
	2600	72	120	30,7	68	119	28,8	64	118	26,9
	2500	65	114	27,6	61	114	25,7	58	112	24,6
	2400	58	109	24,6	55	108	23,5	52	107	22,7
	2300	52	103	22,7	50	102	22,0	48	101	21,2
2200	47	97	21,2	45	96	20,4	44	95	20,1	
12 000	2600	68	119	29,1	64	118	27,3	61	117	25,7
	2500	62	114	26,1	58	113	24,6	55	111	23,5
	2400	56	108	23,8	53	107	22,7	51	106	22,0
	2300	50	102	22,0	48	101	21,2	46	100	20,8
	2200	46	96	20,8	44	95	20,4	43	94	20,1

Motorleistung %	TAS (kn)	Kraftstoffverbrauch	
		l/Std.	US Gal/Std.
~75	118	29,9	7,9
~65	115	28,4	7,5
~55	104	23,1	6,1
~45	92	20,1	5,3

Da die Geschwindigkeiten in **Knoten** angegeben sind, empfiehlt es sich, die Entfernung in **Nautischen Meilen (NM)** einzusetzen.

(1 kn = 1 NM/Std.)

Für die Flugzeiten ergeben sich folgende Werte:

Motorleistung %	GS (kn)	Zeit für Reiseflug
75	98	394,3 NM / 98 kn = 4,0
65	95	394,3 NM / 95 kn = 4,2
55	84	394,3 NM / 84 kn = 4,7
45	72	394,3 NM / 72 kn = 5,5

Auf unserem Reiseflug haben wir einen konstanten Gegenwind von 20 kn. Mit Hilfe der in der Tabelle angegebenen TAS (True-Air-Speed = Eigengeschwindigkeit) können wir nun die Geschwindigkeit über Grund" (Ground-Speed = GS) errechnen.

Wir ziehen dazu von der TAS die Gegenwindkomponente ab, in unserem Beispiel 20 kn:

Somit ergeben sich bei den entsprechenden Motorleistungen folgende Geschwindigkeiten:

Motorleistung %	TAS (kn)	GS (kn)
75	118	98
65	115	95
55	104	84
45	92	72

Multiplizieren wir nun die Flugzeit mit dem stündlichen Kraftstoffverbrauch, so erhalten wir den „Kraftstoffbedarf für den Reiseflug“.

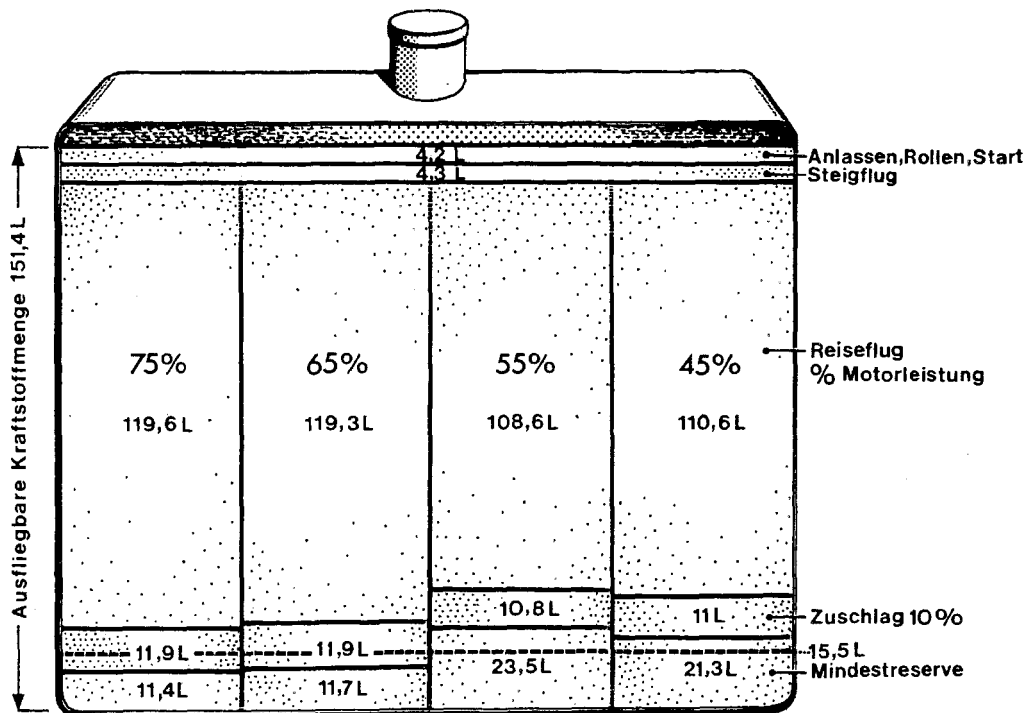
Motorleistung %	Flugzeit (Std.)	Kraftstoffbedarf für den Reiseflug
75	4,0	4,0 x 29,9 l (7,9 US Gal) = 119,6 l (31,6 US Gal)
65	4,2	4,2 x 28,4 l (7,5 US Gal) = 119,3 l (31,5 US Gal)
55	4,7	4,7 x 23,1 l (6,1 US Gal) = 108,6 l (28,7 US Gal)
45	5,5	5,5 x 20,1 l (5,3 US Gal) = 110,6 l (29,2 US Gal)

Aus der Geschwindigkeit, mit der sich unser Flugzeug über Grund bewegt, und der Entfernung, die für den Reiseflug errechnet wurde, läßt sich jetzt die Flugzeit bestimmen!

Wir dividieren die Entfernung durch die Geschwindigkeit über Grund und erhalten die „Flugzeit für den Reiseflug“.

Für den ganzen Flug ergibt sich somit folgender Kraftstoffbedarf:

	75%		65%		55%		45%	
	l	US Gal	l	US Gal	l	US Gal	l	US Gal
Kraftstoffbedarf zum Anlassen, Rollen und Startlauf	4,2	1,1	4,2	1,1	4,2	1,1	4,2	1,1
Kraftstoffbedarf für den Steigflug	4,3	1,1	4,3	1,1	4,3	1,1	4,3	1,1
Kraftstoffbedarf für den Reiseflug	119,6	31,6	119,3	31,5	108,6	28,7	110,6	29,2
Zuschlag von 10 % des für den Reiseflug ermittelten Kraftstoffbedarfs wegen Alterung des Luftfahrzeuges, ungenaue Gemischeinstellung, ungenaues, unruhiges Fliegen u. a.	12,0	3,2	12,0	3,2	11,0	2,9	11,0	2,9
Gesamtbedarf	140,1	37,0	139,8	36,9	128,1	33,8	130,1	34,3



Kraftstoffreserve

Nachdem wir nun den Gesamtkraftstoffbedarf errechnet haben, ist zu überprüfen, ob der Flug ohne Zwischenlandung durchgeführt werden kann. Der ausfliegbare Kraftstoff beträgt 151,4 l (40 US Gal). Am Zielflugplatz soll noch die **Kraftstoffreserve von 15,5l (4,1 US Gal)** für 45 Minuten Flugdauer bei 45 % Motorleistung vorhanden sein.

Zur Durchführung des Fluges bleibt dann noch eine Kraftstoffmenge von

$$\begin{aligned}
 &151,4 \text{ l (40,0 US Gal)} \\
 &- \underline{15,5 \text{ l (4,1 US Gal)}} \\
 &\underline{135,9 \text{ l} = 35,9 \text{ US Gal}}
 \end{aligned}$$

Vergleichen wir diesen Wert mit dem errechneten Gesamtkraftstoffbedarf, so ist ersichtlich, daß der Flug unter den gegebenen Bedingungen nur mit **55 % bzw. 45 % Motorleistung ohne Zwischenlandung** durchzuführen ist.

Wir haben die Kraftstoffberechnung in unserem Beispiel anhand eines Flughandbuches durchgeführt, welches sehr genaue Angaben über den Kraftstoffverbrauch in unterschiedlichen Höhen und bei unterschiedlichen Temperaturen enthält. Der Kraftstoffbedarf für den Triebwerksstart und den Steigflug wird ebenfalls berücksichtigt.

Leider sind die Flughandbücher von Muster zu Muster sehr unterschiedlich. Gerade zur Berechnung des erforderlichen Kraftstoffbedarfs sind die Angaben teilweise sehr mangelhaft. Häufig sind aufgrund der Angaben nur **Kraftstoffkalkulationen für den Reiseflug** möglich.

Sollten Sie Ihre Kraftstoffberechnungen anhand eines solchen Flughandbuches durchführen müssen, so verweisen wir in diesem Fall auf die fsm 4/77 und geben folgende Empfehlungen:

1. Kraftstoffbedarf vom Anlassen bis zum Erreichen der Reiseflughöhe:

(Anlassen des Triebwerks, Rollen, Startlauf, Steigflug)

Verbrauch für **15 min. Flugzeit** mit ca. **50 % Triebwerksleistung**.

2. Kraftstoffverbrauch für Ab- und Anflugverfahren:

Verbrauch für **10 min. Flugzeit** mit ca. **50 % Triebwerksleistung**.

3. Zuschlag für **Ungenauigkeiten** durch Alterung des Luftfahrzeuges, ungenaue Gemischeinstellung, ungenaues, unruhiges Fliegen:

10 % des für diesen Reiseflug errechneten Kraftstoffbedarfes bei Luftfahrzeugen mit starrer Luftschaube und **ohne Anzeige der Abgastemperatur (EGT) sonst 5 % Zuschlag**.

4. Kraftstoffreserve bei Landung am Zielflugplatz:

Kraftstoffvorrat für **30 min. Reiseflugzeit**.

Eine nach diesen Empfehlungen durchgeführte Kraftstoffberechnung liegt in jedem Fall auf der sicheren Seite.

Eine sorgfältig und genau durchgeführte Ermittlung des Kraftstoffbedarfs nützt jedoch wenig, wenn bei der Vorflugkontrolle nicht darauf geachtet wird, daß sich die errechnete Kraftstoffmenge auch in den Tanks befindet. -

Dies kann zum Problem werden, denn die elektrischen Tankanzeigen arbeiten nicht immer genau.

Wenn immer es aus Gewichtsgründen möglich ist, sollten Sie deshalb bei Überlandflügen mit vollen Kraftstofftanks starten!

Trotzdem sollten Sie während des Reisefluges mehrmals überprüfen, ob Sie Ihr Ziel ohne Zwischenlandung zum Auftanken erreichen. Die aktuellen meteorologischen Bedingungen müssen nicht immer mit den vorausgesagten übereinstimmen. Das gilt besonders für den Wind. Wenn Sie also feststellen, daß Sie zum Zurücklegen eines einzelnen Streckenabschnittes länger brauchen als vorausberechnet, so ist dies ein erstes Warnsignal. Die Flugzeit kann sich erheblich verlängern und somit der Kraftstoffverbrauch erhöhen. In einem solchen Fall ist es empfehlenswert, zum Auftanken zwischenzulanden, Sie vermeiden dadurch jedes Risiko!

Merke:

1. Wenn die zu fliegende Entfernung annähernd so groß ist wie die max. Reichweite des Flugzeuges, sollte eine besonders sorgfältige Kraftstoffberechnung erfolgen.
2. Am Zielflughafen sollte stets noch ein Reservekraftstoffvorrat für mindestens 30 min. Flugzeit vorhanden sein.
3. Während des Fluges ist es angebracht, den tatsächlichen Kraftstoffverbrauch zu bestimmen (Zeitkontrollen!).
4. Wenn Sie Zweifel haben, den Zielflughafen mit dem verbleibenden Kraftstoff zu erreichen, sollte unbedingt eine Zwischenlandung durchgeführt werden.