

# EIN MISSIONSORIENTIERTES ENTWURFSWERKZEUG FÜR MILITÄRISCHE MEHRZWEKHUBSCHRAUBER

Christoph C. Heister<sup>\*</sup>  
 Bauhaus Luftfahrt e.V.  
 85748 Garching b. München  
 c.heister@bhl-bayern.de

Volker Gollnick<sup>\*\*</sup>  
 EADS CRC  
 81663 München  
 volker.gollnick@eads.net

## 1. ZUSAMMENFASSUNG/ABSTRACT

Die Anforderungen an ein modernes militärisches Hubschraubersystem haben sich mit dem Ende des Kalten Krieges grundlegend gewandelt. Neue Szenarien sind vermehrt in politischen Konflikten angesiedelt, die polizeiliche, interventionsgeprägte oder humanitäre Einsatzrollen fordern. Um sich den dynamischen Missionserfordernissen anzupassen zu können, müssen militärische Hubschrauber Mehrrollencharakter besitzen. Zunehmend wird hierbei auf kommerzielle Grundmuster zurückgegriffen, um Entwicklungsaufwand und Kosten zu minimieren (Commercial Off The Shelf - COTS). Hierfür wurde das Entwurfswerkzeug COMMANDO-H entwickelt (Conceptual Method for Mission based Analysis and Design of Helicopters). Es ermöglicht dem Benutzer eine missionsspezifische Konfektion notwendiger Avionik- und Ausrüstungskomponenten, eine missionsspezifische Analyse flugmechanischer Leistungen und Sensorreichweiten, sowie eine prozentuale Bewertung der Gesamtmissionserfüllung. Das Entwurfswerkzeug COMMANDO-H wurde am Beispiel zweier ziviler Leichthubschrauber der 3t und 3,5t Klasse des Hauses Eurocopter entwickelt. Der Nutzen eines solchen Werkzeugs zeigt sich dabei u.a. an der erfolgreichen Beauftragung Eurocopters für den LUH 145.

With the end of the cold war conflict, requirements for a modern military helicopter system have changed fundamentally. Recent scenarios are more and more dedicated to political conflicts with a strong demand for parapublic, intervention or humanitarian relief operations. Multi role capability of the helicopter system is vital due to the dynamically changing mission requirements. To keep development effort and costs at a minimum the use of commercially available helicopters is more and more considered (commercial off the shelf - COTS). For this purpose the tool COMMANDO-H (Conceptual Method for Mission based Analysis and Design of Helicopters) was developed together with Eurocopter Germany. It features mission specific configuration of essential avionic and mission equipment, mission specific analysis of helicopter flight mechanics and integrated sensor models for FLIR and NVG systems as well as an integrated mission rating process. Using COMMANDO-H the military multi role capability of two light helicopters was investigated resulting in a conceptual design for each helicopter.

## 2. ABKÜRZUNGEN

ASUW	Anti surface unit warfare
ASW	Anti submarine warfare
CAS	Close air support
COTS	Commercial off the shelf
CSAR	Combat search and rescue
ETD	Equivalent temperature difference
FLIR	Forward looking infra red
GUI	Graphical user interface
HOGE	Hover out of ground effect
ISA	International standard atmosphere
LS	Laser
MEDEVAC	Medical evacuation
MRT	Minimum resolvable temperature
MTE	Mission task element
NOE	Nap of earth
NVG	Night vision googles
OAT	Overall ambient temperature
RDR	Radar
SAR	Search and rescue
SOPS	Special operations
UV/IR	Ultraviolet/infrared
WSPS	Wire strike protection system

## 3. EINFÜHRUNG

Die Szenarien, in denen sich ein modernes militärisches Hubschraubersystem heutzutage wiederfindet, haben sich im Rahmen der veränderten sicherheitspolitischen Herausforderungen grundlegend gewandelt. Neue Szenarien sind vermehrt in politischen Konflikten angesiedelt, die häufig durch Staatszerfall und Bürgerkrieg gekennzeichnet sind [7]. Besonders gefährdete Gebiete sind die Balkanregion, der Nahe und Mittlere Osten, Zentralasien und dritte Welt Länder, insbesondere weite Teile Afrikas. Konflikte dieser Art sind von unbestimmter Dauer und unterliegen einer Eigendynamik und Eskalation, die schwer abschätzbar ist. Schauplätze des Konfliktes befinden sich meist im Inneren eines Landes und sind regional oder provinziell beschränkt. Der Gegner ist meist schwer zu definieren, da es sich um nicht homogene Konfliktparteien handelt, die in Clans, Fraktionen, Parteien oder ähnlichen Teilgruppen organisiert sein können [7]. Gruppierungen dieser Art sind weiterhin in einem zivilen Umfeld eingebunden und können auch untereinander verfeindet sein. Zivile Infrastruktur ist meist nicht vorhanden

\* ehem. Lehrstuhl für Luftfahrttechnik, TU München  
 \*\* ehem. Eurocopter Deutschland GmbH

oder zerstört, und verhindert somit den Aufbau volkswirtschaftlicher Strukturen. Illegale Tätigkeiten wie Waffen- schmuggel, Drogenhandel oder terroristische Aktivitäten bilden die Grundlage finanzieller Einnahmequellen [9]. Mögliche Interventionen der Staatengemeinschaft in derartig konfliktbehafteten Gebieten werden im multilateralen Verbund ausgeführt. Sie finden in dicht besiedelten Gebieten statt. Aufgrund der Präsenz von Zivilisten und Anlagen von hohem Wert sind althergebrachte Taktiken konventioneller Truppen nicht mehr mit der Forderung nach präzisen Operationen kompatibel. Der vermehrte Einsatz von Sondereinsatzkommandos ist zwingend [10]. Friedenssicherung, ökonomische Stabilisierung oder Krisenprävention stehen im Rahmen einer Intervention im Mittelpunkt der zu erfüllenden Aufgaben und weichen von den althergebrachten Aufgaben, wie Eroberung oder Verteidigung von Gebieten ab. Für moderne Hubschraubersysteme werden vor dem Hintergrund dieser asymmetrischen Auseinandersetzungen im Wesentlichen 4 Hauptrollen identifiziert:

- Transportrollen
- Aufklärungs- und Interventionsrollen
- Sondereinsatzrollen
- Polizei-/Trainingsrollen

Das hier vorgestellte Entwurfswerkzeug wurde entwickelt, um die militärische Eignung ziviler Leichthubschrauber für die genannten Rollen feststellen und eine Gesamtsystemauslegung insbesondere im Rahmen von komplexen Angeboten vornehmen zu können.

#### 4. FÄHIGKEITEN UND FUNKTIONALITÄT DES ENTWURFSWERKZEUGES

Das entwickelte Entwurfswerkzeug COMMANDO-H dient der Auslegung und missionsorientierten Konzeption leichter, mehrmotoriger Hubschrauber. Der Benutzer hat die Möglichkeit:

- ein Missionsprofil für Hubschrauber anhand standardisierter Flugsegmente modular zu konfigurieren;
- eine Missionsszenerie (meteorologisch, geographisch) zu definieren und die Präsenz eines Zielobjektes festzulegen;
- erforderliche Avionik, Sensorik und missionsspezifische Ausrüstung zu selektieren;
- die missionsspezifischen, flugmechanischen Leistungen des konzipierten Hubschraubersystems zu analysieren;
- missionsspezifisch erzielbare Auflösungsreichweiten verfügbarer Sensorsysteme, wie Wärmebildkamera (FLIR) oder Restlichtverstärker (NVG), zu analysieren;
- die Missionserfüllung des konzipierten Hubschraubersystems anhand einer prozentualen Bewertung zu quantifizieren;
- einen missionsspezifischen Entwurf interaktiv zu optimieren;
- die gewonnenen Ergebnisse zu visualisieren.

Das Entwurfswerkzeug COMMANDO-H erlaubt somit dem Benutzer, in kurzer Zeit einen leichten zweimotorigen Hubschrauber missionsspezifisch auszulegen und seine Eignung zur Erfüllung der definierten Mission festzustellen. Der Auslegungsprozess ist interaktiv vom Benutzer steuerbar und kombiniert umfangreiche Avionik- und Ausrüstungskonfek-

tionen mit detaillierter flugmechanischer Analyse eines Hubschraubersystems.

#### 4.1. Aufbau und Programmmodul

Zur Konzeption militärischer Mehrzweckhubschrauber bietet das Entwurfswerkzeug COMMANDO-H eine modulare Programmstruktur, die den Entwurfsablauf in vier Hauptmodule gliedert:

- ein **Missionsmodul** zur Definition von Missionsszenerie und Missionsprofil,
- ein **Flugmechanikmodul** zur Berechnung flugmechanischer und sensorspezifischer Leistungen,
- ein **Sensormodul** zur Selektion und Berechnung sensor-spezifischer Leistungen,
- ein **Modul zur Bewertung** des Hubschraubergesamtentwurfs und **Visualisierung** missionspezifischer Leistungen.

BILD 4.1 zeigt den modularen Aufbau und das Ablaufschema des Entwurfswerkzeugs. Als Ausgangspunkt des Entwurfsprozesses definiert der Benutzer im Missionsmodul ein für den Hubschrauber zu absolvierendes Flugprofil. Zusätzlich generiert er eine Szenerie, in der die Mission des Hubschraubers stattfindet.

Anhand der Vorgaben von Flugprofil und Szenerie entstehen Anforderungen an Ausrüstung und Flugleistungen des zu konzipierenden Hubschraubersystems. Forderungen an die notwendige Missionsausrüstung werden durch die Avionik und mechanische Ausrüstung abgedeckt, die in der Ausrüstungsdatenbank hinterlegt sind.

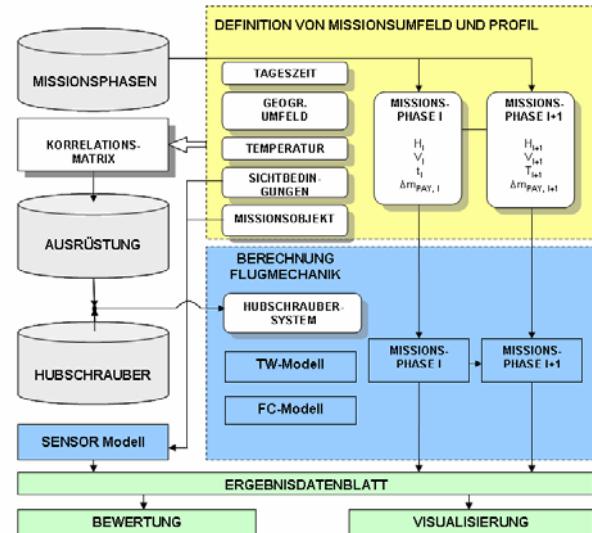


BILD 4.1: Aufbau und Ablaufschema des Entwurfswerkzeugs COMMANDO-H

Technische Grunddaten ziviler Hubschrauberplattformen sind in einer editierbaren Hubschrauberdatenbank abgelegt. Flugmechanische Leistungen werden im Flugmechanikmodul analysiert, unter Berücksichtigung des Ausrüstungsgewichtes des konfigurierten Hubschraubersystems. Um Allwetterfähigkeit und Aufklärungspotential des Hubschraubers bewerten zu können, errechnet ein Sensormodell die erzielbaren Reichweiten taktischer Sensoren (FLIR, NVG). Basierend auf errechneten flugmechanischen und sensorspezifischen Leistungen des Hubschraubersystems bietet ein prozentualer Bewertungsprozess die Möglichkeit zur Beurteilung des Hubschrauberentwurfs in Hinblick auf das generierte Szena-

rio. Optimierung des konzipierten Hubschrauberdesigns kann der Benutzer hinsichtlich der Missionserfüllung interaktiv vornehmen.

#### 4.2. Definition eines Missionsprofils

Das Missionsmodul erlaubt dem Benutzer, ein Flugprofil für den Hubschrauber zu definieren. Das Gesamtflugprofil wird aus einem Satz definiert Einzelsegmente (Mission Task Elements, MTE) kombiniert und somit die zu absolvierende Hubschraubermission räumlich (Druckhöhe [ft]) und zeitlich (Segmentdauer [min]) beschrieben. Verfügbare Einzelsegmente sind Taxi/Warmup, Start/Landung, Steig-/Sinkflug, Reiseflug, Tiefflug, Konturenflug, Tiefstflug (NOE), Warteschleifen/Suchmuster und Schwebeflug (HOGE/HIGE). Zur Generierung einer Mission werden die Einzelsegmente sequentiell kombiniert. Die jeweilige Segmentdauer [min] und horizontale, wahre Fluggeschwindigkeit [kt] werden vom Benutzer festgelegt. Die Dauer der Einzelsegmente wird vom Benutzer aus dem Zeitbereich  $t = \{1, 2, 5, 10, \dots, 35\text{min}\}$  gewählt. Segmentgeschwindigkeiten bewegen sich im Bereich von 0 bis 60 kt (HOGE/NOE), 50 bis 100kt (Konturenflug) und 40 bis 140kt (Reiseflug). Optional stehen für Reiseflugsegmente Geschwindigkeiten für beste Reichweite  $v_{BSR}$  und höchste Ausdauer  $v_{BE}$  zur Verfügung. Höhenunterschiede des Flugprofils werden über Steig- oder Sinkflugsegmente definiert, in Schritten von  $\Delta H = \{100, 200, 500, 1000, 2000\text{ft}\}$ . Steig- oder Sinkflugsegmente werden stets bei maximaler Steiggeschwindigkeit des Hubschraubers und somit minimaler Steigzeit geflogen. Den modularen Kombinationsprozess zur Erstellung eines Flugprofils zeigt BILD 4.2.

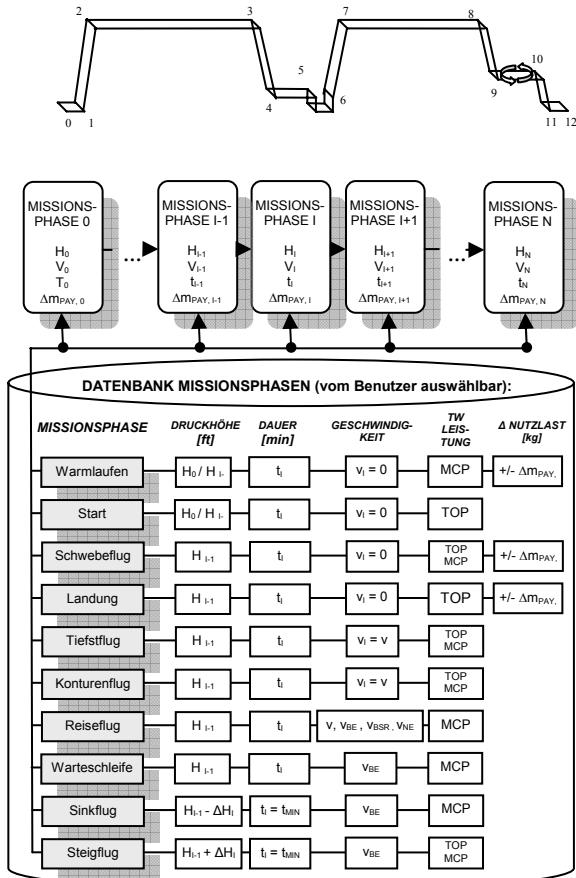


BILD 4.2: Satz modularer Missionsphasen zur Konfiguration eines Missionsprofils

Mit allen verfügbaren Segmenten ist jeweils ein triebwerkseitig zulässiges Leistungsniveau definiert (Maximum Continuous Power – MCP, Take Off Power – TOP), welches das maximal verfügbare Triebwerksleistungsniveau für den Flugzustand des Hubschraubers vorgibt. Schwebeflugphasen bieten dem Benutzer die Möglichkeit, das Absolvieren von Missionzielen zu simulieren (z.B. Zu- und Aussteigen von Personen, Aufnehmen von geretteten Personen, Waffeneinsatz) indem er interaktiv die Nutzlast des Hubschraubers verändert kann. Das Entwurfswerkzeug gibt dem Benutzer somit größte Flexibilität in der detaillierten Gestaltung beliebiger realer Hubschraubermissionen. Als Alternative zur manuellen Erstellung eines Flugprofils per Kombination der Einzelsegmente enthält das Entwurfswerkzeug 11 bereits vollständig vorkonfigurierte Missionsprofile, die ausgewählt werden können. Somit kann der Benutzer eine schnelle Generierung einer Mission vornehmen und diese gegebenenfalls seinen Wünschen entsprechend modifizieren. Zum Spektrum der 11 vorkonfigurierten Missionsprofile zählen Missionen im Rahmen von Transportrollen (taktischer/logistischer Transport, MEDEVAC, Command and Control), von Erkundungs- und Interventionsrollen (Erkundung, Panzerabwehr, CAS, ASUW, ASW), von Sondereinsatzrollen (CSAR, SOPS) und sonstiger Rollen (Grenzüberwachung, SAR, Flugtraining).

#### 4.3. Definition einer Missionsszenerie

Zusätzlich zur Konfiguration eines Flugprofils besitzt das Entwurfswerkzeug die Fähigkeit, die Szenerie einer Mission zu generieren. Somit können Hubschraubereinsätze in unterschiedlichsten Regionen bei diversen Wetterbedingungen abgebildet werden.

MISSIONSSZENERIE	
Geogr. Umfeld	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stadt</li> <li>• Wald/Gebirge</li> <li>• Wüste</li> <li>• Meer/Küste</li> </ul>
Platz(druck)höhe [ft]	$\geq 0$
OAT [K]	ISA + $\Delta T$ , $\Delta T = \{-20; -15; \dots; 30\}$
Tageszeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tag</li> <li>• Nacht</li> </ul>
Sichtbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klar</li> <li>• Nebel/Rauch</li> <li>• Regen (25mm/h)/Schnee</li> </ul>
Missionsobjekt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keins</li> <li>• Person/PKW</li> <li>• Panzer</li> <li>• Seefahrzeug/U-Boot</li> </ul>

TAB 4.1: Parameter zur Generierung einer Missionsszenerie

Das Entwurfswerkzeug erlaubt, eine Missionsszenerie in ihren geographischen, meteorologischen und visuellen Eigenschaften zu beschreiben. So können Temperaturniveau (OAT) und Platzhöhe definiert werden, um beispielsweise ein „Hot and High“ Szenario (ISA+20 @ 4000ft) zu erstellen. Dies beeinflusst wesentlich die Triebwerksleistung und somit den möglichen Operationsbereich des Hubschraubersystems. Operationen unter Allwetterbedingungen oder nächtliche Einsätze zu generieren, ist durch die Wahl der

Sichtbedingungen und der Tageszeit möglich. Dies erfordert umfangreiche Sichthilfen und Unterstützungssysteme für die Besatzung.

Die Präsenz von Missionsobjekten sowie die Art des geografischen Umfeldes und dessen Übersichtlichkeit repräsentieren ein Bedrohungsszenario, indem sich der Hubschrauber während seiner Mission bewegt.

Ein Bedrohungsszenario verlangt unterschiedliche offensive und defensive Ausrüstungskomponenten des Hubschraubers zur Steigerung der Überlebensfähigkeit (Survivability). Die möglichen Optionen für den Benutzer zur Generierung einer Missionsszenerie und den damit verbundenen Anforderungen an das Hubschraubersystem fassen TAB 4.1 und 4.2 zusammen. Das Entwurfswerkzeug lässt den Benutzer eine Missionsszenerie aus den in TAB 4.1 aufgezeigten Parametern erstellen und berücksichtigt dementsprechend im Entwurfsprozeß Anforderung an das Hubschraubersystem. Dies beinhaltet die Beeinträchtigung flugmechanischer Leistungen, die Erfordernis von Avionik/mechanischer Ausrüstung sowie wetter- und zielabhängige Sensorleistungen. Die Ausrüstungsanforderungen an das Hubschraubersystem basieren auf JAR OPS3 [11] und Aspekten der Survivability sowie Lethality.

#### EINFLUSS DER MISSIONSSZENERIE AUF DAS HUBSCHRAUBERSYSTEM

Szenerieparameter	Hubschraubersystem		
	TW-Leistung	Erf. Ausrüstung/Avionik	Takt. Sensorleistung
Geogr. Umfeld		● (Survivability, JAR-OPS3)	
Platz(druck)höhe	● (TW-Modell)		
OAT	● (TW-Modell)		
Tageszeit		● (JAR-OPS3)	
Sichtbedingungen		● (JAR-OPS3)	● (atmos. Dämpfung)
Missionobjekt		● (Lethality)	(Geometrie, Kontrast, Temperatur)

TAB 4.2: Einfluss der Missionsszenerie auf den Hubschrauberentwurf

#### 4.4. Selektion der Avionik- und Missionsausrüstungskomponenten

Basierend auf Flugprofil und Missionsszenerie erstellt das Entwurfswerkzeug mit Hilfe der integrierten Anforderungsmatrix einen Missionsausrüstungsvorschlag für die zivile Hubschrauberplattform. Die Notwendigkeit von Avionik/mechanischer Ausrüstung für einen militärischen Mehrzweckhubschraubers ist in der Anforderungsmatrix aufgrund der folgenden Vorschriften hinterlegt:

- Erforderliche Basisavionik in zivilem Umfeld nach JAR-OPS 3;
- Erforderliche Missionsavionik zur Missionserfüllung in militärischem Umfeld;
- Erforderliche mechanische und elektrische Missionsausrüstung zur Erfüllung missionsspezifischer Aufgaben.

Vor dem Hintergrund dieser Anforderungen kategorisiert, ist die Avionik- und Missionsausrüstung für Hubschrauber systematisch in einer Datenbank hinterlegt. Anhand dieser Systematik kann der Benutzer die Ausrüstung gezielt den missionsspezifischen Notwendigkeiten entsprechend auswählen. BILD 4.3 zeigt die systematische Gliederung der Ausrüstung für militärische Mehrzweckhubschrauber anhand einer Busstruktur. Die in BILD 4.3 dargestellte Busstruktur ist im Entwurfswerkzeug implementiert und dient dem Benutzer als Selektionsmaske der missionsnotwendigen Ausrüstung.

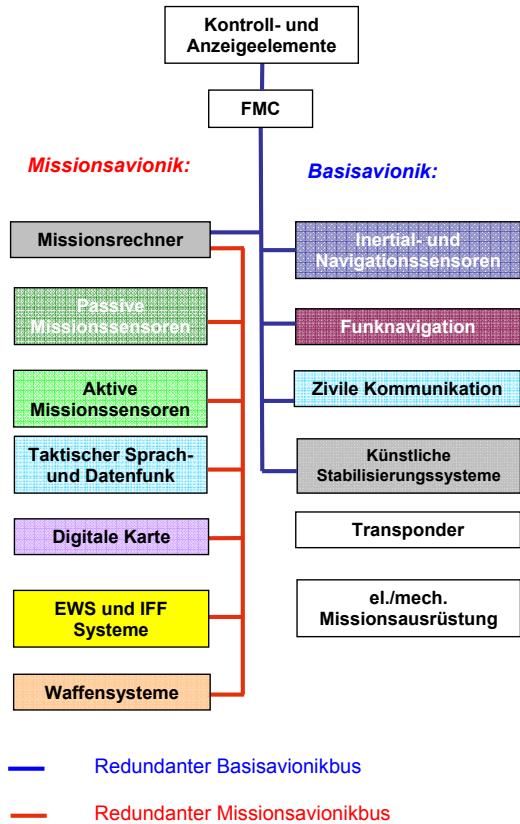


BILD 4.3: Systematik der Ausrüstungsgliederung und zugehörige Busstruktur

Avioniksubsysteme, die zur Erfüllung ziviler Vorschriften nach JAR-OPS 3 [11] notwendig sind, wurden in einer **Basis-Avionikbusstruktur** modular eingegliedert. Die Orientierung an dieser Vorschrift ist für militärische Hubschrauber zur Teilnahme am zivilen Luftverkehr zunehmend notwendig, da sich das Missionsspektrum verstärkt zu Einsätzen über städtischem und somit zivilem Gebiet verschoben hat. Auch in Überführungsflügen eines Hubschraubers wird ziviler Luftraum durchquert. Daher sind Forderungen an die Integration ziviler Basisavionik nach JAR-OPS 3 bei der Hubschrauberkonzeption mit zu berücksichtigen, um VFR/IFR Regularien einhalten zu können. Zur Basisavionik zählen Inertial- und Navigationssensoren, Funknavigationsausrüstung, künstliche Stabilisierungssysteme, zivile Kommunikationsausrüstung, sowie Transponder und Funkgeräte, um zivile VFR/IFR Bedingungen erfüllen zu können. Avioniksubsysteme, die der Missionserfüllung und der Überlebensfähigkeit des Hubschraubersystems dienen, werden in einem **Missions-Avionikbus** zusammengefasst. Dieser ist ebenfalls modular ausgelegt. Er beinhaltet Avionikkomponenten, die zur Erfüllung einer Missionsaufgabe notwendig

sind oder die Besatzung bei der Ausführung unterstützen. Der Benutzer kann aus aktiven und passiven Missionssensoren, taktischer Sprach- und Datenfunkausrüstung, digitalen Kartengeräten, Systemen zum Selbstschutz des Hubschraubers (EWS) sowie (un)gelenkten Waffensystemen wählen. Im Rahmen des Entwurfswerkzeugs wird das Bedrohungsszenario vor städtischem, maritimem, wüstenartigem oder bewaldetem Hintergrund beleuchtet, indem der Benutzer Geographie und Zielobjekt der Mission definiert. EWS und ballistische Panzerung stehen zur Ausrüstung des Hubschraubers in der Datenbank zu Verfügung, um die Überlebensfähigkeit des Hubschraubers gegenüber infrarot-, ultraviolett- oder radarbasierten Boden/Luft oder Luft/Luft Systemen zu erhöhen. Die Missionsavionik ist zur gegenseitigen Kommunikation ebenfalls über ein zweifach redundantes Missionsbussystem miteinander verbunden.

Unter **elektrischer/mechanischer Missionsausrüstung** werden Subsysteme zusammengefasst, die der operativen Missionserfüllung dienen. Dies können Systeme wie Sandfilter für Triebwerke, Klimaanlagen, Notschwimmsysteme, Winden, Suchscheinwerfer, Außenlastträger etc. sein.

#### 4.5. Wahl eines zivilen Hubschraubergundmusters

Neben der missionsnotwendigen Avionik/mechanischen Ausrüstung wählt der Benutzer eine zivile Hubschrauberplattform aus der Hubschrauberdatenbank aus, die auf ihre missionsspezifische Eignung untersucht werden soll. Die Hubschrauberdatenbank enthält derzeit zwei zivile Grundmuster konventioneller Konfiguration (Haupt- und Heckrotor/Fenestron) der 3 und 3,5t Klasse und ist beliebig erweiterbar. Die Hubschrauberplattformen werden anhand ihrer technischen Daten im Entwurfswerkzeug hinterlegt (siehe BILD 4.4).

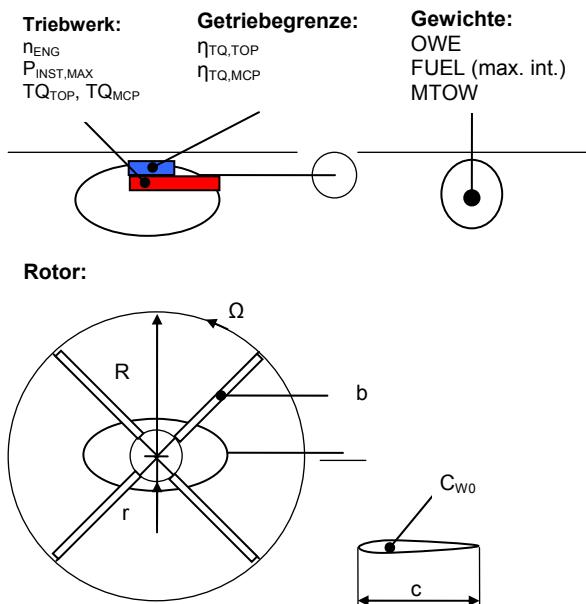


BILD 4.4: Parametrisierung einer konventionellen Hubschrauberkonfiguration

Ein ziviles Hubschraubergundmuster wird durch Gewichtsdaten des Hubschraubers (OWE, MTOW, max. int. FUEL), Daten des Hauptrotors ( $b$ ,  $R$ ,  $r$ ,  $c$ ,  $C_{w0}$ ,  $\sigma$ ,  $\Omega$ ) und Antriebskennwerte beschrieben. Die Antriebskennwerte sind zur

Beschreibung des Leistungsvermögen und Kraftstoffverbrauchs für das globale Triebwerks- und Kraftstoffverbrauchsmodell des Entwurfswerkzeugs notwendig. Die Rotordaten gehen in die Berechnungsmethodik des Flugmechanikmoduls ein. In der Datenbank können fünf zivile Grundmuster anhand ihrer technischen Daten hinterlegt werden. Durch Auswahl eines zivilen Grundmusters in Kombination mit einer missionsspezifischen Ausrüstungskonfiguration erzeugt der Benutzer ein Hubschraubergesamtsystem. Das Hubschraubergesamtsystem wird im Flugmechanik-/Sensormodul hinsichtlich flugmechanischer Punkt- und Streckenleistungen sowie Sensorreichweiten detailliert analysiert.

Technische Größen	Hubschraubersystem		
	Klasse	3t	3,5t
Leergewicht	OWE [kg]	1460	1792
Kraftstoffgewicht (max., int.)	max. FUEL (intern) [kg]	560	694
Max. Startgewicht	MTOW [kg]	2835	3585
Anz. Rotorblätter	$b$ [-]	4	4
Sehnenlänge Rotor	$c$ [m]	0,3	0,3
Nullwiderstand	$C_{w0}$ [-]	0,007	0,007
Rotordurchmesser	$R$ [m]	5,1	5,5
Profilierungsbeginn	$r$ [-]	0,2	0,2
Drehfrequenz	$\Omega$ [1/s]	41,36	38,35
Leistungsanteil Heckrotor	$P_{TR}/P_{MR}$ [-]	0,16	0,16
Mech. Wirkungsgrad	$\eta_{mech}$ [-]	0,92	0,92
Anz. Triebwerke	$n_{ENG}$ [-]	2	2
Installierte Leistung	$P_{INST,MAX}$ [kW]	411	427
Drehmoment TOP	$TQ_{TOP}$ [%]	106	122
Drehmoment MCP	$TQ_{MCP}$ [%]	94	117
Getriebegrenze	$\eta_{MCP/TOP}$ [%]	69/76	71/93
Kraftstoffverbrauch	$FC_{TQ=70\%, H=0}$ [kg/h]	81	119

TAB 4.3: Flugmechanische Systemparameter zur Beschreibung einer konventionellen Hubschrauberkonfiguration

#### 4.6. Berechnung flugmechanischer Leistungen für Drehflügler

Unter Verwendung der Energiemethode [12] werden flugmechanische Kennwerte des generierten Hubschraubersystems je Missionsphase berechnet und die Verläufe über die gesamte Missionsdauer graphisch in Diagrammform dargestellt. Unter Berücksichtigung der konfektionierten Ausrüstung liefert das Entwurfswerkzeug dem Benutzer die Verläufe folgender missionsrelevanter Größen des Hubschraubersystems:

- Erforderliche/verfügbare Triebwerksleistung  $P_{REQ}/P_{AV}$
- horizontale Fluggeschwindigkeit  $v_X$
- maximal mögliche Steiggeschwindigkeit  $v_{Z,MAX}$
- Hubschraubergesamtgewicht  $GW$
- verbleibendes Kraftstoffgewicht  $m_{FUEL}$
- und Nutzlastverlauf  $m_{PAY}$ .

Anhand der errechneten flugmechanischen Kennwerte kann überprüft werden, ob der Hubschrauberentwurf die missionsseitigen Anforderungen von Nutzlast, Reichweite, Ausdauer, Schwebeflug, Schnellflug, MTOW Limit, minimal erzielbaren Steigvermögen und Kraftstoffmenge erzielt. Die missionsspezifisch erzielten flugmechanischen Leistungen gehen in den integrierten Bewertungsprozess ein.

Zur numerischen Leistungsrechnung des entworfenen Hubschraubergesamtsystems nutzt das Flugmechanikmodul die Energiemethode für Drehflügler nach [12]. Eine detaillierte Darstellung der Flugmechanik ist in [8] aufgeführt. Bei der Verwendung der Energiedemethode zur Analyse einer Mission werden folgende Voraussetzungen getroffen:

- Die ungleichmäßige Verteilung der induzierten Geschwindigkeit über dem Rotorblatt wird mittels eines Korrekturfaktors erfasst [12].
- Kompressibilitäts- oder Abreißeffekte bei hohen Umlaufgeschwindigkeiten oder hohen Blattstellwinkeln werden nicht berücksichtigt [12].
- Getriebeverluste sind ein konstanter Prozentsatz und gehen mittels eines mechanischen Wirkungsgrades in die Rechnung ein.
- Das Verhältnis der Leistung des Heckrotors zur Leistung des Hauptrotors ist ein konstanter Prozentsatz.

Je Missionsphase errechnet das Entwurfswerkzeug die benötigte Leistung des Hubschraubers. Die benötigte Leistung wird der triebwerkseitig verfügbaren Leistung gegenübergestellt. Somit wird überprüft, ob ein Flugzustand erfließbar ist oder ein Leistungsdefizit besteht. Zur Berechnung der triebwerkseitig verfügbaren Leistung des Hubschraubers unter verschiedenen atmosphärischen Bedingungen (z.B. „hot and high“) enthält das Entwurfswerkzeug ein Triebwerksmodell für Gasturbinen. Das Triebwerksmodell errechnet die verfügbare Triebwerksleistung in Abhängigkeit von Dichtehöhe und ISA Temperaturlevel und basiert auf Daten von Triebwerksherstellern (Pratt&Whitney/Turbomeca).

MISSION ANALYSIS - PERFORMANCE [kW]

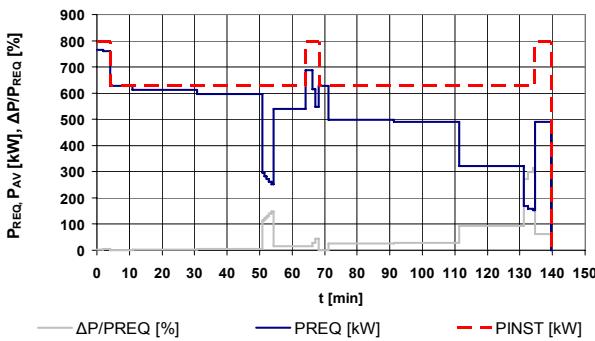


BILD 4.5: Verlauf der verfügbaren/erforderlichen Leistung [kW] über der Gesamtmissionsdauer [min] (TOW 3446 kg, 4000ft @ ISA+20)

MISSION ANALYSIS - VELOCITIES [m/s]

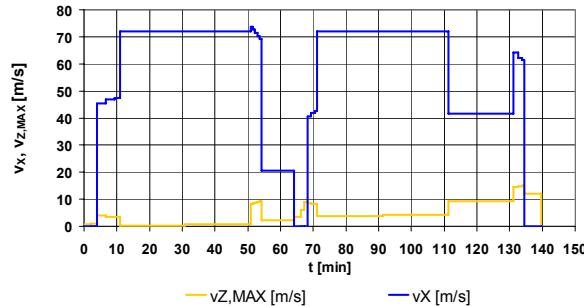


BILD 4.6: Verlauf der horizontalen/max. vertikalen Steiggeschwindigkeit [m/s] über der Gesamtmissionsdauer [min] (TOW 3446 kg, 4000ft @ ISA+20)

BILD 4.5 zeigt die anhand des Entwurfswerkzeug berechnete erforderliche und triebwerkseitig verfügbare Leistung über der Missionsdauer für einen Hubschrauber (TOW 3446 kg, 4000ft @ ISA+20). Aus einem Leistungsüberschuss wird unter Berücksichtigung der horizontalen Fluggeschwindigkeit die max. Steiggeschwindigkeit des Hubschraubers errechnet (siehe BILD 4.6). Um genaue Aussagen über erzielbare Reichweite und Ausdauer des Hubschraubergesamtsystems zu ermöglichen, berechnet ein Kraftstoffverbrauchsmodell die benötigte Kraftstoffmenge pro Missionssegment in Abhängigkeit der Dichtehöhe und des erforderlichen Rotor-drehmomentes. BILD 4.7 zeigt den berechneten Verlauf der internen Kraftstoffmenge über der Missionsdauer eines Hubschraubers (TOW 3446 kg, 4000ft @ ISA+20).

MISSION ANALYSIS - PAYLOAD [Kg]

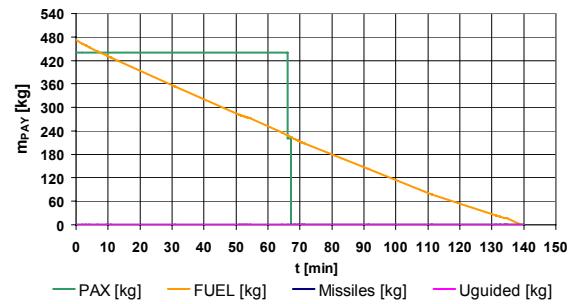


BILD 4.7: Nutzlastverlauf [kg] (PAX, FUEL, WPN) über der Gesamtmissionsdauer [min] (TOW 3446 kg, 4000ft @ ISA+20)

Änderungen der Nutzlast des Hubschraubers während der Mission (z.B. bei Zu-/Aussteigen von Passagieren, Waffen-einsatz) können vom Benutzer interaktiv simuliert werden und beeinflussen direkt das Hubschraubergesamtgewicht und die flugmechanischen Leistungen des Hubschraubers. BILD 4.8 zeigt den Verlauf des Hubschraubergesamtgewichtes über der Missionsdauer, inklusive dem Aussteigen von vier Personen a 110Kg, für einen Hubschrauber (TOW 3446 kg, 4000ft @ ISA+20).

MISSION ANALYSIS - GROSS WEIGHT [kg]

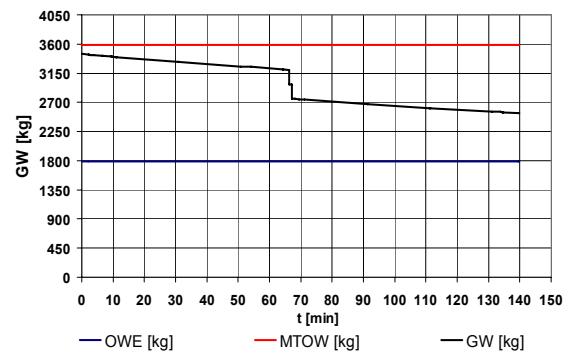


BILD 4.8: Gesamtgewichtsverlauf [kg] über der Gesamtmissionsdauer [min] – Absetzen 4 SOPS a 110Kg (TOW 3446 kg, 4000ft @ ISA+20)

Anhand der interaktiven Verknüpfung von Missionsgenerierung, berechneter/visualisierter Flugmechanik und Editierbarkeit des Hubschrauberdesigns (z.B. Veränderung der Nutzlast, Triebwerkscharakteristik, Rotorparameter) kann der Benutzer anhand des Entwurfswerkzeuges seinen Hub-

schrauberentwurf detailliert analysieren und gezielt modifizieren.

#### 4.7. Berechnung taktischer Sensorleistungen

Taktische Sensoren sind von hoher Bedeutung zur Erfüllung einer Hubschraubermission. Wärmebildsensoren (FLIR) oder Nachtsichtgeräte (NVG) helfen der Besatzung, Flugführungsaufgaben oder das Beobachten/Erfassen von Zielen bei Dunkelheit oder Schlechtwetterlagen durchzuführen.

Wählt der Benutzer im Missionsausrüstungspaket des Hubschrauberentwurfs ein taktisches Sensorsystem (FLIR, NVG) aus, bietet das Entwurfswerkzeug COMMMANDO-H die Möglichkeit, Auflösungsreichweiten für Aufklärungs- oder Zielerfassungsaufgaben über integrierte Sensormodelle zu berechnen. Hierzu werden die erzielbaren Sichtweiten zur Entdeckung, Erkennung und Identifizierung von Missionssobjekten berechnet. Atmosphärische Einflüsse, wie Niederschlag oder Nebel werden im Rechenmodell berücksichtigt und beeinträchtigen die Leistung vorhandener Sensorik. Die erzielten Auflösungsreichweiten werden bei der Bewertung der Gesamtmissionserfüllung des Hubschraubersystems berücksichtigt.

#### Implementierung eines Wärmebildsensormodells (FLIR)

Das Ziel der Implementierung einer Berechnungsmethode für ein FLIR System ist es, eine Abschätzung der zu erwartenden Auflösungsreichweite des Sensors zu gewinnen. Die Berechnung der Leistung ist abhängig von der Leistungsfähigkeit der vorhandenen Sensorik und der Szenerie, in dem sich das Hubschraubersystem bewegt:

- Sichtbedingungen der Szenerie
  - atmosphärischen Dämpfung  $L_{D,ATM}$
- Missionssobjekt der Szenerie
  - Abmessungen des Zielobjektes  $h \times w$
  - Temperaturdifferenz des Zielobjektes zum Hintergrund  $\Delta T_{BG}$
- Avionik/Sensorik des Hubschrauberentwurfs
  - Leistungsfähigkeit der Wärmebildkamera charakterisiert durch MRT-Kurve

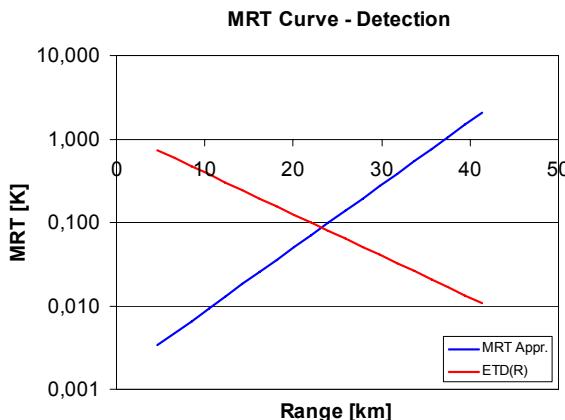


BILD 4.9: MRT (2.Gen) und ETD Linie (NATO Standardobjekt) Aufklärungsaufgabe: Entdeckung, 50% Auflösungswahrscheinlichkeit

Die Leistung eines Wärmebildsensorsystems wird anhand einer MRT-Kurve (Minimum Resolvable Temperature) im Rechenmodell charakterisiert. Basierend auf der MRT Kurve kann das Modell unter Verwendung der Johnson Kriterien [6] die Auflösungsreichweiten zur Entdeckung, Erkennung und

Identifizierung eines Objektes errechnen und graphisch anzeigen.

Es wird eine MRT Kurve der 2. Generation [1] verwendet, um das Leistungsverhalten aktueller FLIR Systeme zu simulieren. In BILD 4.9 wird exemplarisch die Entdeckungsreichweite eines NATO Standard Ziels (2,5 x 2,5m) für ein FLIR System (2.Gen) bei klarer Sicht (-0,5 dB/km) zu 23 km bestimmt.

#### 4.8. Bewertung und Optimierung eines Entwurfs

Um die Missionserfüllung des entworfenen Gesamthubschraubersystems evaluieren und quantifizieren zu können, enthält das Entwurfswerkzeug COMMMANDO-H eine Bewertungsmethodik. Die Bewertungsmethodik basiert auf den erzielten flugmechanischen und den sensorspezifischen Leistungen des konzipierten Hubschraubersystems. Der Bewertungsprozess liefert dem Benutzer eine schnelle Aussage über die missionsspezifische Leistungsfähigkeit des Hubschraubers und bietet die Möglichkeit, den Entwurf interaktiv zu optimieren. Bei der Bewertung der Missionserfüllung des Hubschrauberentwurfs werden die folgenden errechneten Größen berücksichtigt und bewertet:

- verfügbarer/benötigter Triebwerksleistungsbedarf
- zu erzielende/erreichte Missionsreichweite
- Nutzlastausnutzung
- erzielbare Sensorreichweite (FLIR)

Aus diesen sensorspezifischen und flugmechanischen Größen wird eine prozentuale Gesamtmissionsbewertung berechnet:

$$R_{\%,MR} = \frac{f_1 \cdot R_{\%,PL} + f_2 \cdot R_{\%,RNG} + f_3 \cdot R_{\%,PAY} + f_4 \cdot R_{\%,SEN}}{\sum_{i=1}^4 f_i}$$

$R_{\%,MR}$	[%] Gesamtmissionsbewertung
$R_{\%,PL}$	[%] Bewertung der Leistungsgrenzeinhal tung
$R_{\%,PAY}$	[%] Bewertung der Nutzlast- und Kraftstoffausnutzung
$R_{\%,RNG}$	[%] Bewertung der erzielten Reichweite
$R_{\%,SEN}$	[%] Bewertung der missionsspezifisch erzielten Sensorreichweite
$f$	[-] Gewichtungsfaktor {0, ..., 1}

Anhand der flugmechanischen und sensorspezifischen Leistungen wird die Missionseignung des Hubschraubersystems überprüft. Tritt während eines Missionssegmentes Überschreitung der verfügbaren Triebwerksleistung auf (z.B. HOGE, Schnellflugphasen) erfolgt ein Abschlag in prozentualer Höhe der Leistungsüberschreitung. Zur Überprüfung der erzielten Reichweite des Hubschraubersystems wird die anhand der internen Kraftstoffmenge erflogene Reichweite in Bezug zur geforderten Missionsreichweite gesetzt. Aus der Relation von verbleibender Kraftstoffmenge zu Missionsende und Nutzlast bei Missionsbeginn wird die Ausnutzung von Kraftstoff und Nutzlast bewertet. Somit wird Variationsspielraum im Entwurfsprozess für eine Nutzlasterhöhung/verringerung aufgrund überschüssiger/fehlender Kraftstoffmenge sichtbar gemacht.

Zur Bewertung der Sensorsicht wird die erzielte Erkennungsreichweite des Sensorsystems auf die systemspezifisch maximale Erkennungsreichweite bei idealen atmosphärischen

Bedingungen bei Betrachtung eines NATO Standardzieles bezogen. Jedes Kriterium geht über einen Faktor  $f$  gewichtet (Wertebereich  $\{0, \dots, 1\}$ ) in den Bewertungsprozess ein. Werden die Faktoren zu  $f_1 = f_2 = f_4 = 0,3$  und  $f_3 = 0,1$  gewählt (siehe BILD 4.10), erzielt ein Hubschraubersystem unter optimaler Einhaltung aller flugmechanischen Randbedingungen eine Gesamtmissionsbewertung  $R_{\%,MR} = 70\%$ . Die Mission ist somit prinzipiell aus flugmechanischer Sicht absolvierbar. Ein Gesamtmissionserfüllungsgrad  $R_{\%,MR} = 100\%$  wird vom Hubschrauberentwurf erzielt, wenn alle flugmechanischen Randbedingungen optimal erfüllt werden und ein eingerüsteter FLIR Sensor 2. Generation optimales Aufklärungspotential in der generierten Szenerie leistet. Zur Verbesserung des Missionserfüllungsgrades und Optimierung des Hubschrauberentwurfs hat der Benutzer die Möglichkeit, interaktiv die folgenden Parameter zu verändern:

- Art, Anzahl und Gewicht der Avionik, Sensorik und Missionsausrüstung;
- Erhöhung/Verringerung der internen Kraftstoffmenge;
- Erhöhung/Verringerung der Anzahl von Besatzung/Passagiere.

Die interaktive Variation der Kraftstoffmenge und Besatzung-/Passagieranzahl erfolgt über die in BILD 4.10 gezeigten Schaltflächen des Entwurfswerkzeuges. Avionik und mechanische Ausrüstung wird über die in BILD 4.3 gezeigte Maske vom Benutzer selektiert.

#### MISSION RATING

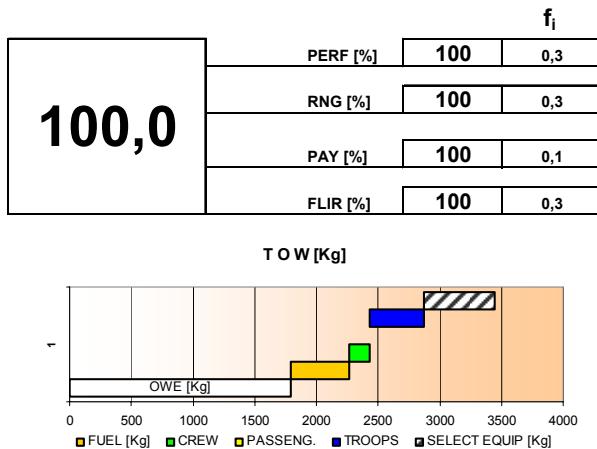


BILD 4.10: GUI des Entwurfswerkzeugs zur interaktiven Nutzlastvariation und Optimierung der Missionsleistung eines Hubschrauberentwurfs

Die Veränderungen wirken sich unmittelbar auf die flugmechanischen/sensorspezifischen Leistungen und die Gesamtmissionsbewertung aus. Die Veränderungen der flugmechanischen/sensorspezifischen Leistungen werden dem Benutzer anhand der gezeigten Diagramme (BILD 4.5 – 4.8, 4.10) visualisiert. Zur weitergehenden Optimierung eines Entwurfs können die technischen Daten des Hubschraubers editiert

werden. Hierdurch kann eine Modifikation oder eine neues Design erstellt werden, um die missionsseitigen Anforderungen an das Hubschraubersystem optimal abdecken zu können. Mögliche realisierbare Modifikationen sind z.B. Erhöhung der Rotorblattanzahl, Steigerung des MTOW, Erhöhung der Getriebegrenze, Einbau leistungsgesteigerter Triebwerke, Vergrößerung des Tankvolumens, etc.

#### 5. ERGEBNIS EINES BEISPIELENTWURFES FÜR DIE ROLLE SOPS

Das vorgestellte Entwurfswerkzeug wurde vor dem Hintergrund entwickelt, zivile Hubschrauber auf ihre missionsspezifische Verwendbarkeit hin zu untersuchen und auszulegen. Im Folgenden wird eine Beispieldauslegung für ein Hubschraubersystem der 3,5t Klasse vorgestellt, die mit dem Entwurfswerkzeuges COMMANDO-H erarbeitet wurde. Die vorgestellte Auslegung basiert auf den Anforderungen einer Transportmission für Special Operations (SOPS). Des Weiteren soll der erarbeitete Entwurf in der Lage sein, SAR und CSAR Missionen durchzuführen.

##### Missionsprofil und Missionsszenerie SOPS

BILD 5.1 zeigt das für die Rolle SOPS verwendete Flugprofil. Dieses Flugprofil ist vom Hubschrauberentwurf zu absolvieren und definiert die flugmechanischen Anforderungen. Es gelten die folgenden Anforderungen:

- Missionsziel: Fast Roping von 4 Sondereinsatzkräften a 110Kg (Segment 5-6);
- Missionsgesamtdauer: 140min inklusive 2min. HOGE / Gesamtdistanz 450km;
- Start in freundlichem Gebiet, Wahl größerer Flughöhe über freundlichem Gebiet zur Vermeidung von Hindernissen (Segmente 2-3/7-8);
- Annäherung an Absetzzone: NOE-Flug von 10min bei 40kt (Segment 4-5);
- Feindliche Zone: städtisches Umfeld, mögliche Bedrohung durch feindliche Waffensysteme (IR, UV);
- Berücksichtigung einer 20min. Kraftstoffreserve (Segment 9-10).

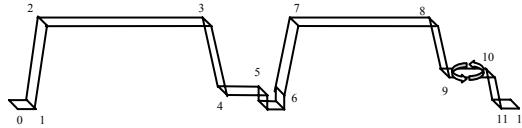
Das Profil der Mission SOPS ist anhand seiner Flugphasen dargestellt. Unter Verwendung der flexiblen, modularen Missionsgenerierung des Entwurfswerkzeugs COMMANDO-H wird die gezeigte Mission detailliert im Entwurfswerkzeug abgebildet.

Die Mission findet in einem städtischen Umfeld bei Nacht statt, um die visuelle Entdeckbarkeit des Hubschraubers zu minimieren und eigene taktische Vorteile mittels Allwettersensoren maximieren zu können. Das nächtliche Szenario findet unter hot and high Bedingung statt. Mittels der in TAB 5.1 zusammengefassten Parameter wird die Szenerie im Entwurfswerkzeug abgebildet.

##### SZENERIEDATEN SOPS

Geogr. Umfeld	Stadt
Platz(druck)höhe [ft]	4000ft
OAT [K]	ISA + 20
Tageszeit	Nacht
Sichtbedingungen	Klar (0,5 dB/Km)
Missionsobjekt	Keins

TAB 5.1: Daten zur Beschreibung eines städtischen Szenarios bei Nacht unter Hot and High Bedingung



MISSIONSPROFIL SOPS

NR	MISSIONSPHASE	H [ft]	t [min]	$\Delta \text{PAY}$ [kg]
0 1	Aufwärmen	0	5	
1 2	Start/Steigflug	5000	$t_{\min}$	
2 3	Reiseflug mit $v_{23} = v_H$	5000	40	
3 4	Sinkflug	0	$t_{\min}$	
4 5	NOE-Flug $v_{45} = 40 \text{ Kt}$	0	10	
5 6	Schwebeflug OGE, Fastropping	0	2	▼ 4 x 110 kg
6 7	Steigflug	5000	$t_{\min}$	
7 8	Reiseflug $v_{78} = v_{BSR}$	5000	40	
8 9	Sinkflug	1500	$t_{\min}$	
9 10	Warteschleife $t = 20 \text{ min}$ mit $v_{910} = v_{BSR}$		20	
10 11	Sinkflug/Landung	0	2	
11 12	Triebwerk aus			
<b>Zeit</b>	<b>gesamt [min]</b>		<b>140</b>	

BILD 5.1: Auflistung der Missionsphasen für das Missionsprofil SOPS

#### Ausrüstungskonfektion

Mit Hilfe der im Entwurfswerkzeug vorhandenen Avionikdatenbank wird anhand des definierten Missionsprofils SOPS und der Missionsszenerie eine Ausrüstungskonfektion generiert (siehe BILD 5.2). Diese deckt die folgenden Bedingungen hinsichtlich des definierten Profils und der generierten Missionsszenerie ab:

- Zivile Mindestausstattung nach JAR-OPS 3 für VFR und IFR Bedingungen
- Glasscockpit für Pilot/Copilot
- Gesteigerte Überlebensfähigkeit des Systems in städtischem Umfeld aufgrund vorhandener Selbstschutzsysteme (MS/LR/RDR) und möglichem Ausstoß von Täuschkörpern (C/F DISP)
- Überlebensfähigkeit des Systems aufgrund redundanter Avionikkomponenten (AFCS, GPS/INS, M-CPU, taktische V/UHF Kommunikation)
- Erfüllung der Flugeigenschaftsforderungen Level 1 für Schwebeflughphasen (minimaler Korrekturaufwand des Piloten) für UCE 2 (Nachtflug mit FLIR bei guten Sichtbedingungen) aufgrund 4 Achsen AFCS zur Stabilisierung von Lage, Richtung und Höhe
- Durchführung nächtlicher Flugführungs- und Navigationsaufgaben mit FLIR System und HMS/D (inkl. NVG) für Pilot/Copilot
- Absolvieren der missionsspezifischen Punkt- und Streckenleistungen unter Hot and High Bedingung (4000ft, ISA+20) [13] für die Mission Sondereinsatz (4 Personen a 110Kg)
- Schutz vor tiefhängenden Kabeln in Tiefstflughphasen aufgrund vorhandenem WSPS sowie Reduzierung der triebwerksseitigen Erosion durch Sandfilter für Triebwerkseinlauf
- Aufnahme von Personen mittels elektrischer Winde, Absetzen von Sondereinsatzkräften in unzugänglichem Gebiet mittels Abseilvorrichtung

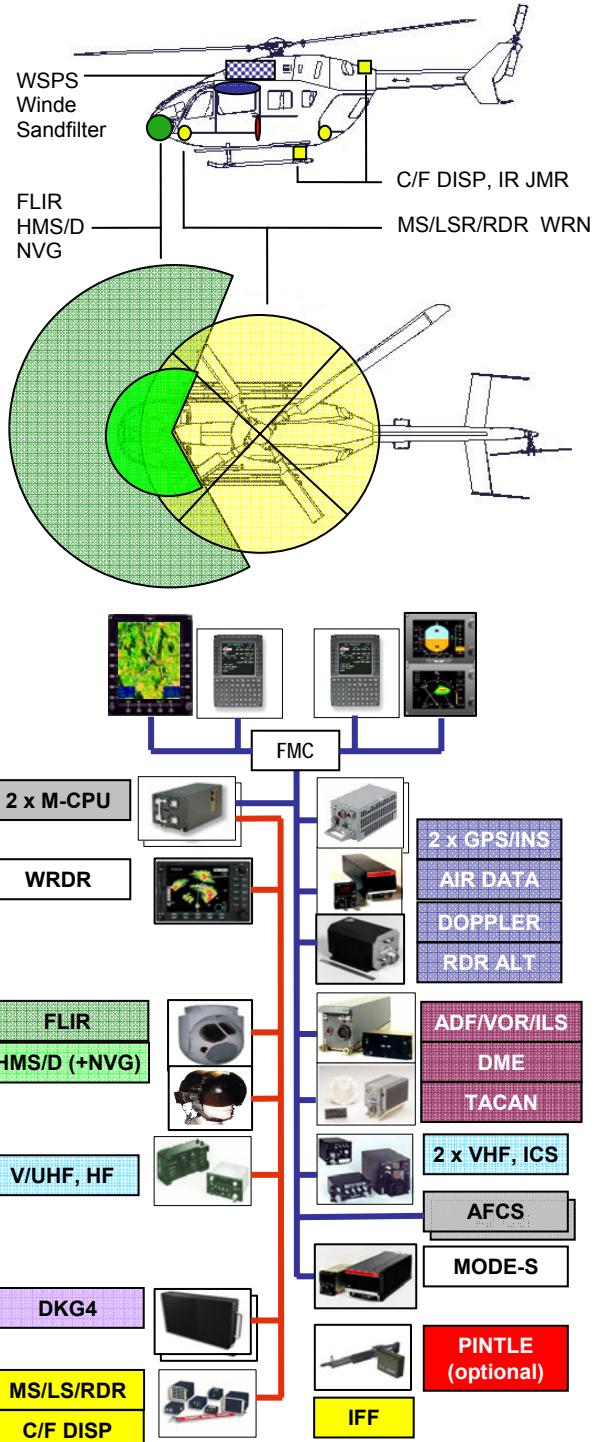


BILD 5.2: Avionik und mechanische Ausrüstung für den Entwurf eines Mehrzweckhubschraubers der 3,5t Klasse – SOPS,C/SAR

#### Flugmechanische/sensorspezifische Leistungen

Die zivile Hubschrauberplattform der 3,5t Klasse erfüllt mit der konfektionierten Ausrüstung alle flugmechanischen Randbedingungen des in BILD 5.1 definierten Missionsprofils SOPS optimal, die Gesamtmissionsbewertung beträgt  $R_{\%,MR} = 100\%$ . Der Nachweis der flugmechanischen Leistungen für die Mission SOPS wurde mit dem Entwurfswerkzeug COMMANDO-H errechnet und ist für die gezeigte

Ausrüstungskonfiguration im Detail in den BILDERN (4.5 – 4.8) dargestellt.

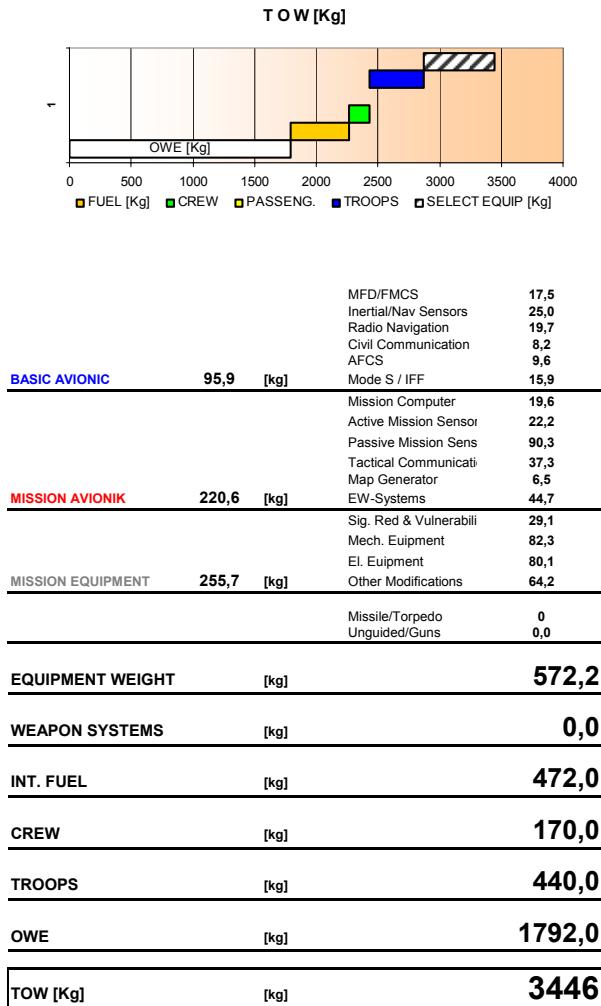


BILD 5.3: Gewichtsaufbruch der Avionik und mechanischen Ausrüstung für den Entwurf eines Mehrzweckhubschraubers der 3,5t Klasse – SOPS,C/SAR

## 6. ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen der Veröffentlichung wurde das Entwurfswerkzeug für militärische Mehrzweckhubschrauber COMMANDO-H (Conceptual Method for Mission based Analysis and Design of Helicopters) vorgestellt. Es stellt eine missionsorientierte Entwurfsumgebung für Drehflügler auf Laptopschreiber dar, mit deren Hilfe der Benutzer zivile Leichthubschrauber auf ihre missionsspezifische Eignung untersuchen und auslegen kann. Es vereint erstmalig realistische Missionssenerierung, Avionik- und Ausrüstungskonfektion mit detaillierter flugmechanischer Analyse für Drehflügler konventioneller Konfiguration in einem interaktiven Analyse- und Bewertungsprozess. Die Notwendigkeit und Leistungsfähigkeit taktischer Sensorik wird beim Konzeptionsprozess mit berücksichtigt. Sensorspezifische Reichweiten für FLIR oder NVG Systeme werden berechnet. Das Entwurfswerkzeug bringt umfangreiche Datenbanken realer Avionik und mechanischer Ausrüstung mit. Dies erlaubt dem Benutzer beliebige Hubschraubervarianten basierend auf zivilen Grundmustern zu generieren, flugmechanisch und sensorspezifisch zu analysieren und gegebenenfalls zu modifizieren. Die in der

Hubschrauberdatenbank hinterlegten zivilen Grundmuster können anhand des integrierten Bewertungsprozesses hinsichtlich ihrer missionsspezifischen Eignung miteinander verglichen und die geeignete Plattform zur Erfüllung der Missionsanforderungen identifiziert werden.

## Danksagung

Dieses Werkzeug wurde im Rahmen einer Diplomarbeit in Zusammenarbeit von Eurocopter Deutschland und dem Lehrstuhl für Luftfahrttechnik der TU München entwickelt. Die Autoren möchten allen Mitarbeitern der Firma EUROCOPTER danken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Insbesondere gilt der Dank der Programmleitung EC135 vertreten durch Herrn Dipl.-Ing. M. Steinke und Herrn Dipl.-Ing. M. Rudolph, die durch enge Kooperation und äußerst informative Gespräche diese Arbeit ermöglicht haben.

## 7. LITERATUR

- [1] Brooker, G.: *Sensors and Signals*. Australian Centre of Field Robotics, University of Sydney, 2006
- [2] Driggers, R.,G., Edwards, T., Cox, P.: *Introduction to Infrared and Electro-Optical Systems*. Artech House Optoelectronics Library, Februar 1999
- [3] Eurocopter Deutschland GmbH: *Flughandbuch EC135*.
- [4] Eurocopter Deutschland GmbH: *Flughandbuch EC145*.
- [5] Gollnick, V.: *Skript zu Vorlesung „Flugsystemtechnik der Drehflügler“*. Institut für Luftfahrttechnik, Technische Universität München, 2004
- [6] Harney, B.: *Skript zur Vorlesung “Combat Systems II: Sensor Technologies”*. Department of Systems Engineering, Naval Postgraduate School, 2005
- [7] Hauchler, I., Messner, D., Nuscheler, F.: *Globale Trends 2000: Fakten, Analysen, Prognosen*. Stiftung Entwicklung und Frieden, Frankfurt, 1999
- [8] Heister, C. C.: *Ein missionsorientiertes Entwurfswerkzeug für militärische Mehrzweckhubschrauber*, Lehrstuhl für Luftfahrttechnik, Technische Universität München, 2006
- [9] Heintschel von Heinegg, W.: *Maritime sicherheitspolitische Herausforderungen in der Region Asien-Pazifik*. Der Mittler-Brief, 20. Jahrgang Nr.3, 3. Quartal 2005
- [10] Hippler, J.: *Low intensity warfare and its implications for NATO*. Militärpolitik Dokumentation, Nr. 62/63, Juli 1988
- [11] JAR-OPS 3: *Bekanntmachung der Bestimmung über die gewerbsmäßige Beförderung von Personen und Sachen in Hubschraubern*. BMVBW, Bonn 2002
- [12] Johnson, W.: *Helicopter Theory*. Dover Publications, Inc., New York, 1994
- [13] [www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/luh.htm](http://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/luh.htm)