

## Verallgemeinertes Vorgehensmodell zum Entwicklungs- und Konstruktionsprozess von Flugkörpern

Betaneli, A.J.; Saginadse, N.R.

*Die konstruktionsmethodische Vorgehensweise zur Gestaltung von Produkten von der Idee zur Realisierung ist in sehr vielen Aufgabenbereichen mit nur kleinen Adaptionen sinnvoll anwendbar. Der folgende kurze Anwendungsbericht wurde an unserem befreundeten Institut für Flugzeugbau der Georgischen Universität in Tbilissi erarbeitet. In diesem Bericht wird die Anwendung auf ein sehr ergeiziges Projekt mit besonders hohem Neuerungsgrad beschrieben.*

*The application of design theories in the design process of new products from the idea to the manufacturing is almost a common tool. The following brief report on a sophisticated aeronautical vehicle was elaborated by our colleagues of the Aviation Institute from the Georgian Technical University.*

### 1 Einleitung

Beim Entwickeln und Konstruieren technischer Produkte muss eine Vielzahl unterschiedlicher Probleme gelöst werden. Es liegt deshalb nahe, das Vorgehen bei einem allgemeinen Problemlösungsprozess auch auf den Entwicklungs- und Konstruktionsprozess zu übertragen. Das Systemtechnische Vorgehensmodell als Problemlösungsmethodologie für künstliche Systeme gliedert zunächst den zeitlichen Werdegang eines Systems vom Abstrakten zum Konkreten in Lebensphasen /1/.

In einem systemtechnischen Vorgehensmodell wiederholen sich die Vorgehensschritte in sogenannten Lebensphasen des Systems, indem der zeitliche Werdegang des Systems vom Abstrakten zum Konkreten verläuft /2/.

Das Vorgehensmodell ist ein konsequentes aufeinander folgendes Tätigkeitsschema für die optimale Organisation des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses /3/.

Nach der VDI-Richtlinie 2221 wird der Entwicklungs- und Konstruktionsprozess in generelle Arbeitsschritte (Phasen zunehmender Konkretisierung = Konstruktionsphasen) aufgeteilt, die das Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren überschau-

bar, rationell und branchenunabhängig machen. Das Gesamtverfahren wird in sieben Arbeitsschritte gegliedert, aus denen entsprechend sieben Arbeitsergebnisse hervorgehen. Diese Arbeitsschritte werden je nach Aufgabenstellung vollständig, nur teilweise oder mehrfach iterativ durchlaufen. Die Arbeitsschritte können je nach Branche und Erfahrung zu einzelnen Entwicklungs- oder Konstruktionsphasen zusammengefasst werden, an denen sich auch terminliche und organisatorische Abläufe orientieren /1/.

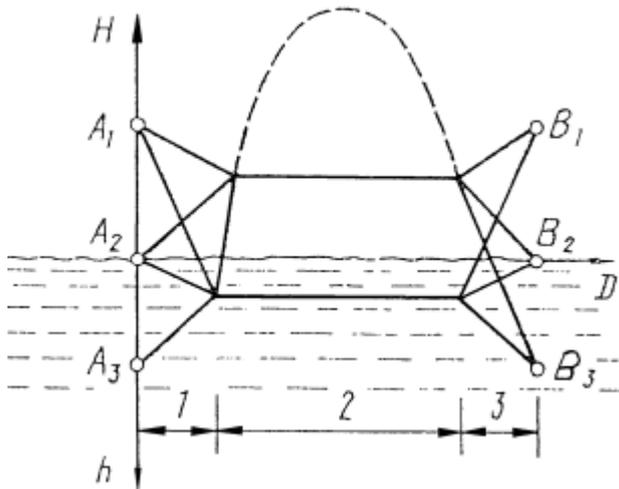
Der Mitverfasser dieses Aufsatzes hat nach /4/ ein Vorgehensmodell zum Entwicklungs- und Konstruktionsprozess von Flugkörpern (Luftballonen, Stratosphärenballonen, Luftschiffen, Flugzeugen, Hubschraubern, Kosmoflugzeugen und Raumfahrzeugen) erarbeitet /3/.

In diesem Aufsatz wird ein verallgemeinertes Vorgehensmodell zum Entwicklungs- und Konstruktionsprozess von Flugkörpern für verschiedene, mögliche Wirkprinzipien dargestellt.

### 2 Problemstellung

Gemäss des Vorgehensmodell /3/ muss in der Funktionsstruktur das konkrete Flugprinzip (Gesamtfunktion) formuliert werden. Der hier zu entwerfende Flugkörper soll aber nicht nur im Luft- und Weltraum sondern auch in Wasserraum einsetzbar sein. Neben der Nutzung des Konstruktionswissens für die Troposphäre, die Stratosphäre und den Weltraum, wird die Flug- und Raumfahrttechnik, vollkommen gesetzmässig, in das neue Anwendungsgebiet der Hydrosphäre übertragen. Das ist möglich dank teilweise analoger Randbedingungen: dreidimensionale Bewegungsprinzipien in Luft- und Wasserraum, Wirkprinzip der Triebwerksanlagen und der Konstruktionsprinzipien. Auf dieser Basis ist die Bewegung des aerodynamischen Flugkörpers im Wasserraum mit grosser Schnelligkeit eine neue wissenschaftlich-technische Aktivität auf dem Gebiet der Flugtechnik. Dies führt zu sogenannten in zwei Substanzen funktionierenden Flugkörpern (Zweisubstanzenflugkörper ZSF).

Die Bewegungsbahnkurven solcher Flugkörper sind in zwei Substanzen gültig: Wasser- und Luftraum einschliesslich Weltraum (**Bild 1**).



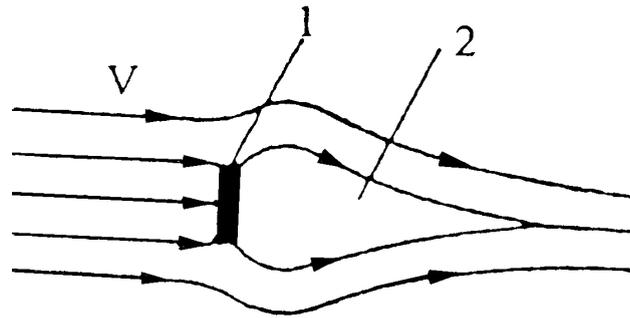
**Bild1:** Typische Bahnkurvenstrecken der in zwei Substanzen funktionierenden Flugkörper. A-Startphase; B-Ziellage; 1- Startstrecke; 2- Marschflugstrecke; 3-Zielanflugstrecke

In den 60er Jahren des XX-Jahrhunderts waren solche unbemannten Flugkörper, als wirkungsvolles Mittel gegen Atom-Unterseeboote erarbeitet worden. Zweifellos werden in Zukunft auch bemannte ZSF entwickelt. ZSF können auch eine sehr wichtige wirtschaftliche Bedeutung haben (Ozeanographie, Wasserbau, grundwassergeologische Forschung, Fischerei, usw.). Hohe Geschwindigkeiten bei der Unterwasserfahrt des Flugkörpers sind durch den Kavitationsbeginn realisierbar /5,6/.

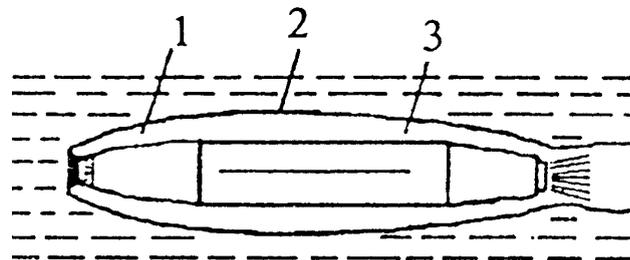
Durch den Kavitationsbeginn soll die Dichte und die Viskosität des Wasserraumes ringsum den Flugkörper vermindert werden bis der Bewegungswiderstand im Wasserraum dem aerodynamischen Widerstand in der dichten Atmosphäre gleich wird. Zu diesem Zweck muss ringsum den Flugkörper eine dünne Dampfschicht oder Schicht eines unkondensierbaren Gases entstehen. Eine solche Gashülle (Kaverne) kann man aus Wasser oder an Bord des Flugkörpers befindlicher Flüssigkeit bilden.

Den Kavitationsbeginn kann man durch Anwendung eines strömungsgünstigen Körpers (Kavimator), Erhitzung des Flugkörperrumpfes, Radiolyse des Wassers, Einführung in die Grenzschicht von solchen Stoffen die mit Wasser isothermisch reagieren, Polymerflüssigkeiten oder Einführung in die Grenzschicht unlöslicher und unkondensierbarer Gase verwirklichen (**Bilder 2 und 3**) /5,6/. Während einer Unterwasserfahrt, ist bei Anwendung eines

Propellertriebwerkes, die für den Kavitationsbeginn notwendige Geschwindigkeit nicht erreichbar. Dafür muss man einen Raketenantrieb anwenden. /5/.



**Bild 2:** Kavernenbildungsschema  
1-Scheibe (Kavimator); 2-Kaverne

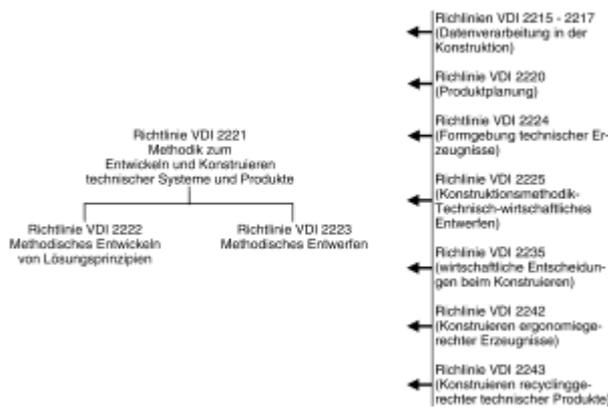


**Bild 3:** Flugkörperbewegungsschema im Wasser  
1-Gashülle; 2-Wassergrenze; 3-Flugkörper

Ziel des Vorhabens ist ein verallgemeinertes Vorgehensmodell zum Entwicklungs- und Konstruktionsprozess von Flugkörpern für alle möglichen Wirkprinzipien zu erarbeiten.

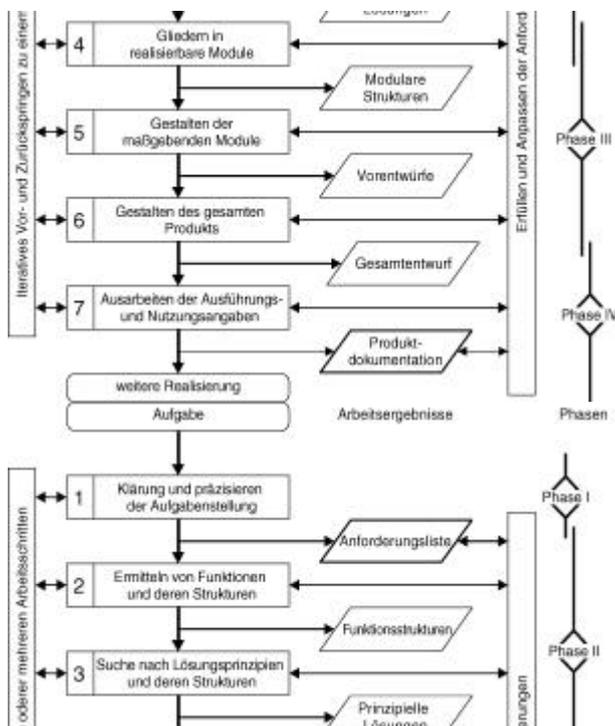
### 3 Verallgemeinertes Vorgehensmodell zum Entwicklungs- und Konstruktionsprozess von Flugkörpern

Die Dachrichtlinie VDI 2221 /4/ strukturiert den gesamten Entwicklungs- und Konstruktionsprozess und formuliert dafür die inhaltlichen und begrifflichen Grundlagen. Die Detailrichtlinie VDI 2222 Blatt „Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien“ /7/ umfasst das „Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung“, das „Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen“ und das „Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen (Arbeitsabschnitte 1 bis 3)“. Die Richtlinie VDI 2223 /8/ umfasst die Phase III mit den Arbeitsabschnitten 4 bis 6. In diesem Zusammenhang sind auch die in **Bild 4** aufgeführten Richtlinien zu nennen, die den Entwurfsprozess zusätzlich unterstützen.



**Bild 4:** Einordnung der Richtlinien

Die Verfasser haben nach /3, 4, 7, 8/ ein verallgemeinertes Vorgehensmodell zum Entwicklungs- und Konstruktionsprozess von Flugkörpern für alle möglichen Wirkprinzipien in Anlehnung an **Bild 5** erarbeitet.



**Bild 5:** Verallgemeinertes Vorgehensmodell zum Entwicklungs- und Konstruktionsprozess von Flugkörpern mit verschiedenen Wirkprinzipien

**Arbeitsabschnitt 1**

*Arbeitsschritt 1:*

Die Markt- und Kundenbedürfnisse (Flugverkehrsleistung, Raumfahrtprogramme, Umweltschutzbeschränkungen usw.) müssen unter Anwendung konventioneller oder rechnergestützter Informationssysteme festgelegt werden /3/. Die Hauptaufga-

be, d.h. die Aufgabe, zu deren Erfüllung das Produkt überhaupt konstruiert wird /7/.

*Arbeitsergebnis 1:*

Die Anforderungsliste muss als taktisch-technische Anforderungen (TTA) formuliert werden. Daraus kann die technische Aufgabe (TA) abgeleitet werden /3/.

**Arbeitsabschnitt 2**

*Arbeitsschritt 2:*

Der Flug ist die Hauptfunktion des Flugkörpers. Hierüber bestimmt man in erster Linie das Flugprinzip /3/. Wenn die Flugkörper nicht nur im Luft- und Weltraum, sondern auch in Wasserraum einsetzbar sein sollen, genügt dafür nicht allein eine Betrachtung des Flugprinzips, in diesem Fall benötigt man auch ein verallgemeinertes Wirkprinzip.

Um die Funktionsstruktur in ein funktionierendes Produkt umzusetzen, muss für jede festgelegte Funktion ein physikalischer Effekt gefunden werden, mit dessen Hilfe sie realisiert werden kann /7/. Die grosse Geschwindigkeit der Unterwasserfahrt des Flugkörpers ist durch den hydrodynamischen Effekt der Kavitation möglich. Deswegen kann man das verallgemeinerte Wirkprinzip als technische Synthese aerodynamischer und hydrodynamischer Wirkprinzipien formulieren.

*Arbeitsergebnis 2:*

In der Funktionsstruktur muss das konkrete Wirkprinzip (Gesamtfunktion) formuliert werden.

**Arbeitsabschnitt 3**

*Arbeitsschritt 3:*

Das Vorgehen ist hier identisch mit dem in /3/ beschriebenen. Zusätzlich muss für das Wirkprinzip folgendes berücksichtigt werden.

Die physikalischen Effekte sind in der Regel mit geometrischen und stofflichen Ausprägungen verbunden, die sogenannten „Effektträger“. Solche „Effektträger“ bestimmen entscheidend die gestalterische Ausprägung einer „Prinzipiellen Lösung“ als Arbeitsergebnis des dritten Abschnitts /7/.

**Arbeitsabschnitt 4**

*Arbeitsschritt 4:*

Das Vorgehen ist auch hier identisch mit dem in /3/ beschriebenen. Zusätzlich ist folgendes /8/ zu berücksichtigen.

**Arbeitsschritt 4.1:** Erkennen der gestaltbeeinflussenden Anforderungen und Bedingungen.

In Arbeitsschritt 4.1 gilt es, die gestaltbeeinflussenden Anforderungen zu erkennen und sie hinsichtlich ihrer Priorität zu beurteilen.

**Arbeitsschritt 4.2:** Modularisieren der prinzipiellen Lösung.

Zunächst wird in Arbeitsschritt 4.2 geklärt, in welche Module die prinzipielle Lösung für die weitere Bearbeitung zweckmässig zerlegt werden muss. Module sind dabei hinsichtlich spezieller Gesichtspunkte abgegrenzte Gestaltungselemente.

**Arbeitsabschnitt 5**

*Arbeitsschritt 5:*

Das Vorgehen ist auch hier identisch mit dem in /3/ beschriebenen. Darüber hinaus muss folgendes nach /8/ berücksichtigt werden.

*Arbeitsschritt 5.1:* Erstellung von Gestaltstudien und Vorentwürfen.

Im Arbeitsschritt 5.1 werden zu Beginn Gestaltstudien für die vorher definierten Module erstellt, in denen grobmasstäblich oder sogar unmasstäblich skizzenhaft Gestaltungsideen dokumentiert, analysiert und optimiert werden.

*Arbeitsschritt 5.2:* Beurteilen von Vorentwürfen.

Auch wenn das Beurteilen von Vorentwürfen oft unbewusst und parallel zum Gestalten stattfindet, ist es sinnvoll, in regelmässigen Abständen die gestalteten Module anhand von Kriterien aus der Anforderungsliste bewusst zu beurteilen. Um die Beurteilungssicherheit zu erhöhen, sind erfahrene Mitarbeiter hinzu zuziehen (Konstruktionskritik).

**Arbeitsabschnitt 6**

*Arbeitsschritt 6:*

Das Vorgehen ist auch hier identisch mit dem in /3/ beschriebenen. Zusätzlich muss folgendes nach /8/ berücksichtigt werden.

Die Arbeitsschritte 6.1 bis 6.6 führen von den Vorentwürfen der massgeblichen Module im allgemeinen zu einem grobmasstäblichen Gesamtentwurf des zu entwickelnden Produktes, der durch Teilentwürfe (Gruppenzeichnungen) ergänzt und durch eine vorläufige Stückliste spezifiziert wird.

**Arbeitsabschnitt 7**

*Arbeitsschritt 7:*

Das Vorgehen entspricht in diesem Punkt dem in /3/ dargestellten ohne weitere Ergänzungen.

**3.1 Beispiel zur Anwendung eines verallgemeinerten Vorgehensmodells zum Entwicklungs- und Konstruktionsprozess von Flugkörpern**

Das Beispiel ist der Entwicklungs- und Konstruktionsprozess eines bemannten Zweisubstanzenflugkörpers (ZSF) mit Hilfe diskursiver und intuitiver Methoden. Dieses Beispiel wurde zunächst nur für die Phasen: „Aufgabe klären“ und „Konzipieren“ erarbeitet. Die Phasen des Entwerfens und Ausarbeitens, der oben genannten ungewöhnlichen Neukonstruktion, sind mit vielen sehr umfangreichen Detailproblemen verknüpft. Die konsequente Anwendung des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses erlaubt mit fortschreitendem Verlauf eine immer fundiertere Entscheidung über die Realisierbarkeit der Produktidee.

**Arbeitsabschnitt 1**

*Arbeitsschritt 1:*

Für die Umweltschutz-, die Ozeanographische- und Grundwassergeologische-Forschung ist es zweckmässig ein bemanntes ZSF zu konstruieren. Dazu wird zunächst die Anforderungsliste mit den taktisch-technischen Anforderungen (TTA) formuliert. Danach kann man die technische Aufgabe (TA) beschreiben.

*Arbeitsergebnis 1:*

| Georgische Technische Universität Tbilissi |        | Anforderungsliste für Zweisubstanzenflugkörper (ZSF) | Blatt: 1<br>Seite: 1 |
|--|--------|--|----------------------|
| Änder.                                     | F<br>W | Taktisch-technische Anforderungen (TTA)              | Verantw.             |
|  |        | 1. Geometrie   |                      |
|  | F      | Spannweite 6,0 - 15,0 m                              |                      |
|  | F      | Länge 16,0 - 18,0 m                                  |                      |
|  | W      | Flugfläche 28,0 m <sup>2</sup>                       |                      |
|  | W      | Höhe 4,0 - 6,0 m                                     |                      |
|  |        | 2. Kinematik   |                      |
|  | F      | Bewegungsort: Atmo- und Hydrosphäre                  |                      |
|  | F      | Höchstgeschwindigkeit M = 2,0 - 2,5                  |                      |
|  | W      | Reisegeschwindigkeit M = 1,4 - 1,7                   |                      |
|  | W      | Landegeschwindigkeit 220 - 280 km/h                  |                      |
|  | F      | Eintauchgeschwindigkeit 180 - 220 km/h               |                      |
|  | F      | Unterwasserfahrtgeschw. 12,0 - 20 m/s                |                      |
|  |        | 3. Kräfte  |                      |
|  | F      | Rüstmasse 20.000 kg                                  |                      |
|  | F      | Startmasse 35.000 kg                                 |                      |
|  |        | 4. Energie   |                      |
|  | F      | Raketenantrieb                                       |                      |
|  | F      | Startschub 120 - 130 kN                              |                      |
|  |        | 5. Flug- und Unterwasserfahrtleistungen              |                      |
|  | F      | Gipfelhöhe 30.000 m                                  |                      |
|  | W      | max. Tauchtiefe 300 m                                |                      |
|  | F      | 6. Stoffe  |                      |
|  | F      | Kavitationshilfe - Radiolyse des Wassers             |                      |

**Bild 6:** Anforderungsliste für das ZSF

Die technischen Daten des ZSF als technische Aufgabe (TA) sind in **Bild 7** zusammengestellt.

**TECHNISCHE AUFGABE (TA)  
für Zweisubstanzenflugkörper (ZSF)**

**Allgemeine Angaben**

|              |                       |  |
|--------------|-----------------------|--|
| Bewegungsort | Atmo- und Hydrosphäre |  |
| Besatzung    | 1                     |  |

**Abmessungen**

|              |                |            |
|--------------|----------------|------------|
| Spannweite   | m              | 8,3 - 15,8 |
| Länge        | m              | 16,8       |
| Höhe         | m              | 5,5        |
| Flügelfläche | m <sup>2</sup> | 27,3       |

**Antrieb**

|             |                |       |
|-------------|----------------|-------|
| Antriebsart | Raketenantrieb |       |
| Startschub  | kN             | 120,0 |

**Massen**

|            |    |          |
|------------|----|----------|
| Rüstmasse  | kg | 20.000,0 |
| Zuladung   | kg | 15.000,0 |
| Startmasse | kg | 35.000,0 |

**Flugleistungen**

|                        |          |         |
|------------------------|----------|---------|
| Höchstgeschwindigkeit  | Machzahl | M = 2,2 |
| Reisegegeschwindigkeit | Machzahl | M = 1,6 |
| Landegeschwindigkeit   | km/h     | 270     |
| Steigleistung          | m/s      | 100     |
| Gipfelhöhe             | m        | 30.000  |
| Reiseflughöhe          | m        | 20.000  |

**Unterwasserfahrtleistungen**

|                         |                       |     |
|-------------------------|-----------------------|-----|
| Eintauchgeschwindigkeit | km/h                  | 200 |
| Unterwasserfahrtgeschw. | m/s                   | 15  |
| max. Tauchtiefe         | m                     | 300 |
| Kavitationshilfe        | Radiolyse des Wassers |     |

**Bild 7:** Technische Aufgabe (TA)

**Arbeitsabschnitt 2**

*Arbeitsschritt 2:*

Für die Luftfahrt muss ein aerodynamisches Flugprinzip /3/ angewendet werden. Die grosse Geschwindigkeit der Unterwasserfahrt des Flugkörpers ist durch den hydrodynamische Effekt der Kavitation realisierbar.

*Arbeitsergebnis 2:*

Die Funktionsstruktur kann man als Synthese aerodynamischer und hydrodynamischer Wirkprinzipien formulieren.

**Arbeitsabschnitt 3**

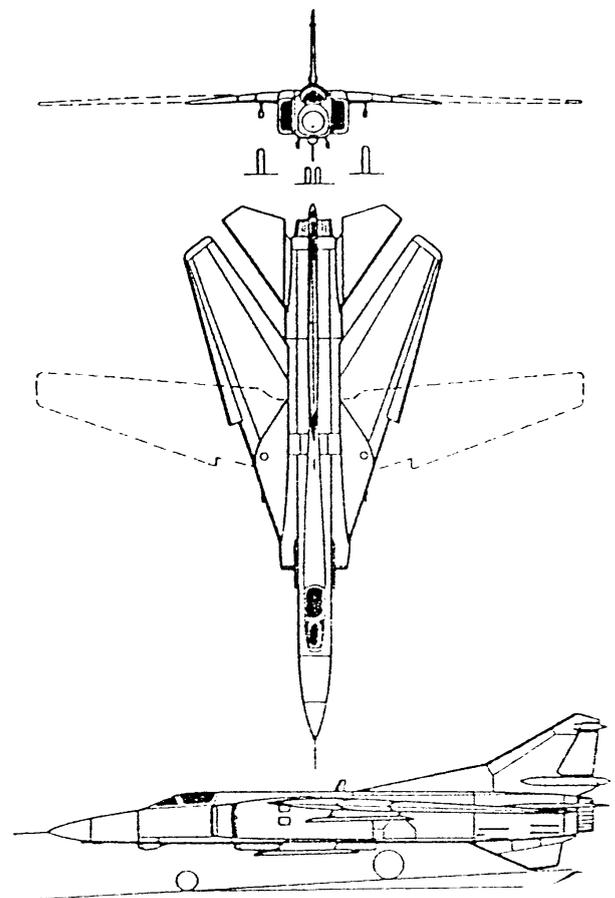
*Arbeitsschritt 3:*

Ausgehend von bestimmten Wirkprinzipien können durch die Anwendung eines zweidimensionalen

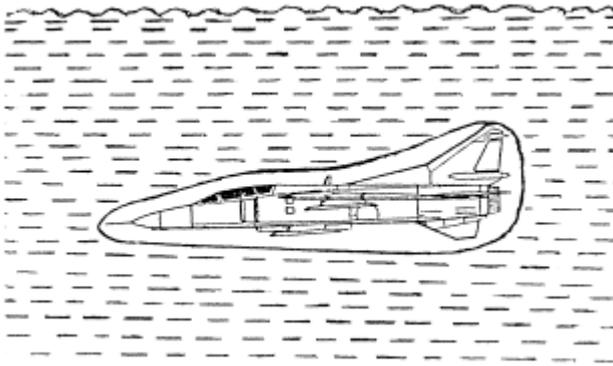
morphologischen Kastens /9/ und des Brainstormings in Übereinstimmung mit dem Gesetz des goldenen Schnittes /10/ die Proportionen und Hauptabmessungen für eine Vielfalt möglicher Lösungsprinzipien und deren Verknüpfungen erzeugt werden. Das Flugzeug soll für die Unterwasserfahrt mit teleskopisch oder fächerartig veränderbaren Flügeln ausgerüstet sein. Aus der Vielfalt von Konzeptvarianten des im Brainstormings erzeugten Lösungsfeldes, muss durch eine technisch-wissenschaftliche Beurteilung das günstigste Konzept ausgewählt werden. Mit Hilfe dieser Vorgehensweise kann der Flugkörper konkret festgelegt werden. (Die Abmessungen des Flugzeuges sind in /10/ Seite 162, Bild 3 graphisch dargestellt.

*Arbeitsergebnis 3:*

In **Bild 8** ist die Gestalt des Schwenkflügelflugzeuges mit fächerartig zusammenlegbaren Flügeln für die Luftfahrt und in **Bild 9** ist die Gestalt des ZSF für Wasserfahrt dargestellt. In diesem Fall sind die fächerartig zusammenlegbaren Flügel eingefahren. Um die Kavitation auszulösen kann man die Radiolyse des Wassers anwenden. Das Festlegen des Konzeptes ist eine Grundlage für die Freigabe der Entwurfsphase.



**Bild 8:** Die Gestalt des ZSF-Flugkörpers für Luftfahrt



**Bild 9:** Die Gestalt des ZSF-Flugkörpers bei Unterwasserfahrt

- /6/ Betaneli, A.J.; Saginadse, N.R.; Sanadse, G.O.: Einführung in das Fachgebiet „Flugzeugbau“ (in georgischer Sprache), Tbilissi 1998
- /7/ VDI-Richtlinie 2222, Blatt 1: Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien, Juni 1997
- /8/ VDI-Richtlinie 2223: Methodisches Entwerfen technischer Produkte, März 1999
- /9/ Betaneli, A.J.; Saginadse, N.R.: Institutsmitteilung Nr. 22, IMW TU Clausthal 1997
- /10/ Betaneli, A.J.; Sanadse, G.O.: Institutsmitteilung Nr. 23, IMW TU Clausthal 1998

#### 4 Zusammenfassung und Ausblick

1. Nach VDI-Richtlinien VDI 2221 (Mai 1993), VDI 2222 (Juni 1997), VDI 2223 (März 1999) und /3/ wurde das verallgemeinerte Vorgehensmodell zum Entwicklungs- und Konstruktionsprozess von Flugkörpern für alle möglichen Wirkprinzipien erarbeitet.
2. Das Vorgehensmodell ist ein konsequentes aufeinander folgendes schöpferisches und schematisches Tätigkeitsschema für die optimale Organisation des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses von Flugkörpern. Das Modell ist interaktiv.
3. Das Vorgehensmodell kann man auf konventionelle Methoden zur Lösungsfindung, als auch in CAD-Systemen anwenden.

Das Beispiel ist die Entwicklung, im Rahmen einer Konzeptstudie, eines bemannten Zweistubstanzenflugkörpers (ZSF). Konstruktionsart – Neukonstruktion.

#### 5 Literatur

- /1/ Dietz, P.: Konstruktionslehre, Vorlesungsmanuscript
- /2/ Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre, Methoden und Anwendung, 3. Auflage, Springer 1993
- /3/ Betaneli, A.J.: Institutsmitteilung Nr. 21, IMW TU Clausthal 1996
- /4/ VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte, Mai 1993
- /5/ Belov, G.W.: Entwicklung der Flugkörper (in russischer Sprache), Moskau 1995