

# Projekt

## „Entwicklung einer Fluidenergiemaschine zum temperierten Transport von Frischwasser“

Schlussbericht zum Verbundvorhaben

„Die Technologien für eine energieautarke, intelligente Kabine (DIANA)“

TAP 1.1.2 Frischwassersystem



Technische Universität Berlin

Berlin, den 30.04.2015

Institut für Strömungsmechanik und Technische Akustik (ISTA)

Sekretariat K2 - Fachgebiet Fluidsystemdynamik

Prof. Dr.-Ing. P. U. Thamsen

Wissenschaftlicher Mitarbeiter: Dipl.-Ing. D.T. Naumann

Straße des 17. Juni 135

10623 Berlin



Förderkennzeichen: 20K1101S

---

<b>1</b>	<b>Allgemein</b> .....	<b>3</b>
1.1	Aufgabenstellung .....	3
1.2	Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	3
1.3	Ablauf des Vorhabens.....	4
1.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand an den angeknüpft wurde.....	4
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen .....	6
<b>2</b>	<b>Eingehende Darstellung</b> .....	<b>7</b>
2.1	Der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele .....	7
2.2	Wichtigste Positionen des Zahlenmäßigen Nachweises.....	10
2.3	Der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	10
2.4	Des voraussichtlichen Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans .....	11
2.5	Des Fortschritts auf diesem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	11
2.6	Erfolge und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses .....	11
<b>3</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>12</b>

# 1 Allgemein

## 1.1 Aufgabenstellung

Die TU Berlin wird am Fachgebiet Fluidsystemdynamik – Strömungstechnik in Maschinen und Anlagen einen neuartigen integrierten Lösungsansatz für eine Kombination des Frischwassersystems im Flugzeug mit dem erforderlichen Beheizungssystem zur Eisfreiheit erforschen und entwickeln. Hierbei soll eine neuartige Fluidenergie-maschine entstehen, welche zwei notwendige Aufgaben in einer Maschine vereint: die Förderung des Frischwassers und ein Wärmeeintrag in das Frischwasser.

Hierzu wird ein spezielles Laufrad für den Frischwassertransport sowie die entsprechende Leitvorrichtung konzipiert und gefertigt. Die Hydraulikeinheit wird durch einen passenden Antriebsmotor und Frequenzumrichter vervollständigt. Mit einer geeigneten Regelung wird sichergestellt, dass die zusätzliche Heizleistung an das Fluid übertragen und bei einer Wärmesenke die Temperatur im Hinblick auf hygienische Aspekte positiv beeinflusst wird.

Das neuartige integrierte System soll die bisherige Frischwasserfördereinheit ersetzen und erspart große Teile der vorhandenen elektrischen Begleitheizung, welche über weite Strecken der Rohrleitungssysteme innerhalb des Flugzeuges zum Frostschutz eingesetzt werden müssen. Damit wird eine Reduzierung des Flugzeuggewichts erzielt, der elektrische Energieverbrauch verringert sowie der Montage- und Wartungsaufwand für das Rohrleitungssystem vereinfacht.

## 1.2 Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Projekt wurde an der TU Berlin, in den Räumlichkeiten und dem Labor des Fachgebiets Fluidsystemdynamik durchgeführt. Hier wurde der Prüfstand aufgebaut und der Prototyp vermessen.

### 1.3 Ablauf des Vorhabens

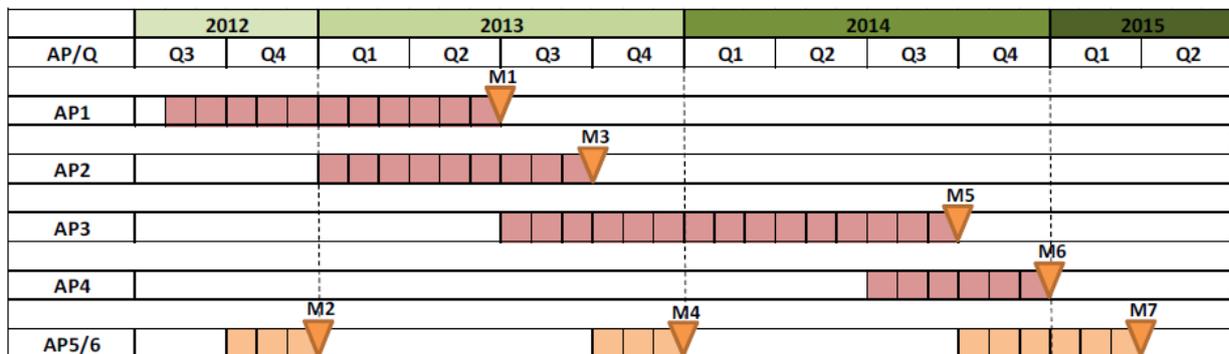


Abbildung 1: Zeit- und Arbeitsplan

Die Meilensteine stellen in dem Vorhaben den Abschluss des jeweiligen Arbeitspaketes (AP) bzw. eines Jahres dar. Die Meilensteine werden in den Inhalten der Arbeitspakete beschrieben und werden hier noch einmal chronologisch aufgelistet:

- M1 - Konstruktion und Fertigung des Prototypen abgeschlossen
- M2 - Zwischenbericht TAP 1.1.2 (1. Jahr)
- M3 - Aufbau und Inbetriebnahme der Prüfanordnung abgeschlossen
- M4 - Zwischenbericht TAP 1.1.2 (2. Jahr)
- M5 - Variantenstudie sowie Optimierung Prototyp abgeschlossen
- (M6 - Einbindung des Prototypen in Demonstrator abgeschlossen)
- M7 - Demonstration und Abschlussbericht TAP 1.1.2

### 1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand an den angeknüpft wurde

In kommerziellen Flugzeugen werden über eingebaute Frischwassersysteme Küchen (galleys) und Toiletten (lavatorys) versorgt. Die dafür erforderlichen Rohrleitungssysteme befinden sich im Rumpf des Flugzeugs und unterscheiden sich dabei je nach Flugzeugbauart

in ihrer Länge und den benötigten Abnehmerstellen. Die für die Versorgung benötigten Frischwassermengen lagern in einem zentral befüllbaren Wasserreservoir.

Bei der Bereitstellung der Frischwassermengen finden insbesondere zwei Konzepte ihre praktische Anwendung:

In den meisten Flugzeugen wird das Frischwasser durch sogenannte Druckkesselanlagen bereitgestellt. Die notwendige Druckluft wird vom Triebwerk als Zapfluft (bleed air) abgezweigt und über einen Druckminderer dem Druckspeicherbehälter zugeführt. Dieser ist in der Regel nur zu  $\frac{3}{4}$  mit Wasser gefüllt, so dass die verbleibende Luft zum Aufbau des Druckpolsters genutzt wird. Wenn keine Zapfluft vorhanden ist, sorgt ein kleiner, elektrisch betriebener Kompressor für den nötigen Überdruck im Behälter und angrenzendem Rohrleitungssystem. Das System wird über eine zentrale Anschlusskonfiguration unterhalb des Flugzeugs (water service panel) befüllt. Zur vollständigen Entleerung und Desinfektion des Frischwassersystems wird eine zusätzliche Leitung (drain) im vorderen Teil des Flugzeugs genutzt.

In neueren Flugzeugtypen finden inzwischen Frischwassersysteme mit Kreiselpumpen als Druckerzeuger immer mehr Anwendung. Diese werden zwischen Speicherbehälter und Versorgungsnetz installiert und sorgen für den erforderlichen Versorgungsdruck im Frischwassersystem. Durch den Einsatz der Pumpen kann auf die Verwendung von Zapfluft verzichtet werden, was die Effizienz der Triebwerke steigert. Dieser Aspekt wirkt sich auch auf die Gestaltung und Anordnung des Wasserreservoirs im Flugzeugrumpf vorteilhaft aus.

Inzwischen gibt es einen neuen Ansatz, um die Effizienz der bestehenden Systeme hinsichtlich Gewichtsreduzierung und Energieeinsparung zu erhöhen. Hierzu wird derzeit der Einsatz von Brennstoffzellen in Flugzeugen getestet. Diese liefern neben Bordstrom durch die chemische Umwandlung erhebliche Wassermengen, welche zu Frischwasser aufbereitet und in das Versorgungsnetz eingespeist werden. Der Vorteil hierbei ist eine Reduktion der zu transportierenden Wassermenge um bis zu 50%. Derzeit befindet sich dieses System noch in der Erprobungsphase.

### Begleitheizung

Durch Außentemperaturen unter null Grad im Flug oder bei Stillstand des Flugzeugs besteht die Gefahr, dass die wassergefüllten Leitungssysteme und Speicherbehälter im Flugzeugrumpf einfrieren oder sogar platzen können. Um dem entgegen zu wirken, werden alle

betroffenen Komponenten, wie Speicherbehälter, Regelventile, Rohrleitungen und Anschlussysteme entsprechend isoliert und beheizt.

Als Heizung werden im Flugzeug Heizleiter (inner-line-heater oder tape heater) verwendet, welche entlang der Rohrleitungen, Tanks und wichtigen Komponenten installiert sind. Diese Begleitheizer bestehen aus einem Heizelement, welches sich zwischen zwei Kupferleitern unter einer Mantelisolierung befindet. Hierbei wird bei Anschluss der Heizleiter an eine Spannungsquelle der elektrische Widerstand des Heizelementes dazu genutzt, eine definierte Heizleistung an die Umgebung abzuführen. In den neueren Heizelementen wird der sogenannte PTC-Effekt genutzt. Durch diesen wird das Prinzip der Selbstregelung ermöglicht, was die Aufheizung in einem bestimmten Temperaturbereich, je nach Materialzusammensetzung im Heizelement erlaubt.

In neueren Flugzeugtypen werden nicht mehr alle wasserführenden Rohrleitungssysteme mit Begleitheizungen ausgestattet. Gerade bei größeren Flugzeugtypen mit zwei Decks wird ein Teil der Frischwasserkreisläufe über einen Durchlauferhitzer vortemperiert. Hierzu ist eine Umwälzpumpe zur Wasserzirkulierung dem Heizer vorgeschaltet.

Im letzten Jahrzehnt gab es eine Vielzahl an Bestrebungen die bestehenden Edelstahlleitungen durch temperaturleitfähigere Mehrschichtverbundrohre aus Kunststoff zu ersetzen, um das Flugzeuggewicht weiter zu reduzieren und die Heizwirkung effizienter zu gestalten. Trotz der Verbesserung kann dabei auf eine Begleitheizung nicht verzichtet werden. Neuere Ansätze für Heizsysteme gegen das Einfrieren der Rohrsysteme ohne Begleitheizung sind nicht bekannt.

## **1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Innerhalb des Projektzeitraums erfolgte keine Zusammenarbeit mit Dritten.

## 2 Eingehende Darstellung

### 2.1 Der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Das wissenschaftliche Arbeitsziel ist eine grundlegende Untersuchung geeigneter Systemansätze, um die beiden bisher systematisch voneinander entkoppelten Systeme integrativ in einem regelbaren Element zu verbinden. Hierbei wird methodisch ein Konzept für eine Fluidenergiemaschine entwickelt und deren Eignung im Experiment untersucht. Dadurch werden neue wissenschaftliche Kenntnisse über die Synergie bei Förderung und Temperierung von Fluiden gewonnen sowie eine völlig neue Systemlösung mit den für die Aufgabe erforderlichen hydraulischen und regelungstechnischen Komponenten entwickelt.

Die grundlegenden theoretischen Untersuchungen geeigneter Systemansätze umfassen die Ergebnisse der Arbeitspakete AP1 und AP2.

Hierfür wurde aus dem Stand der Technik durch eine Gegenüberstellung geeigneter Hydraulikarten eine Laufrad, und Leitkörpergeometrie für die Entwicklung der Energiefluidmaschine gewählt. Ein doppelwirkender radialer Schaufelstern als Laufrad und ein Ringgehäuse wurden als optimale Geometrien bestimmt.

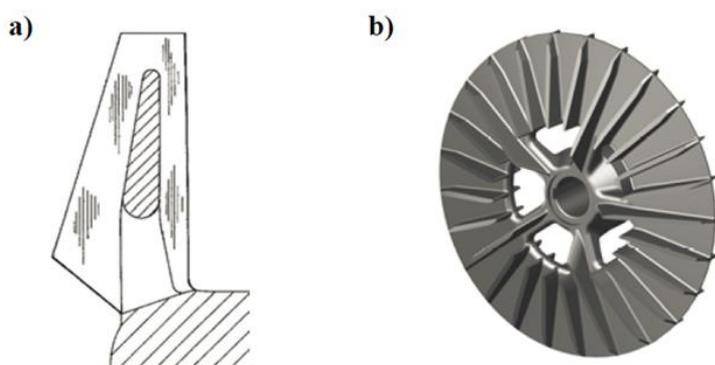


Abbildung 2: a) Meridianschnitt b) Ansicht vom Eintritt eines doppelwirkenden radialen Schaufelsterns (Quelle: J.F. Gühlich)

Anhand theoretisch bestimmter Wirkungsgrade der Teilsysteme wurden eine Leistungsbilanz zur Identifikation der Regelgrößen und derer Beträge erstellt.

Regelgrößen und hydraulische Anforderungen des Fluidsystems und der Fluidenergiemaschine wurden definiert und in zwei Prototypen und einem Prüfstand umgesetzt.

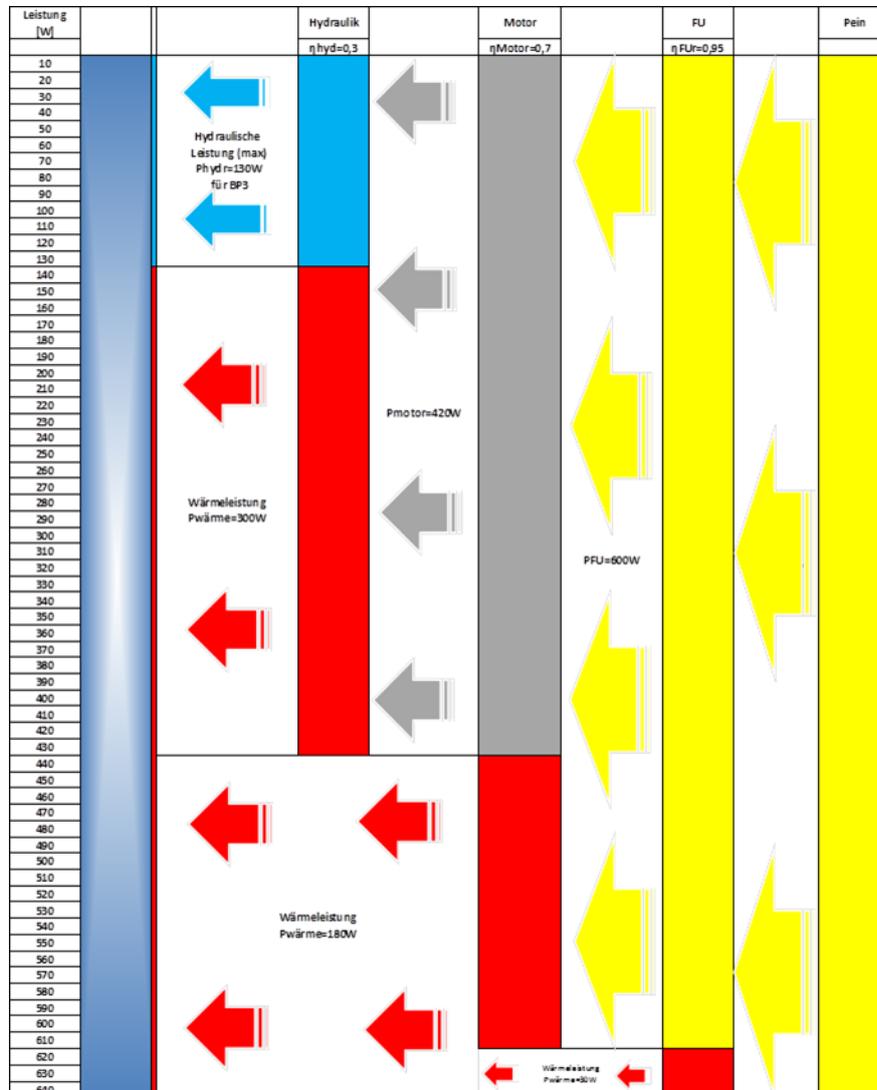


Abbildung 3: Quantitative Darstellung des Leistungsflusses und des Regelungspotenzials der Energiefluidmaschine

Das technische Arbeitsziel ist die Umsetzung der wissenschaftlichen Ansätze in Form der neuartigen Fluidenergiemaschine, welche den systemischen Anforderungen für den Einsatz im Frischwassersystem eines kommerziellen Flugzeuges genügt. Diese Fluidenergiemaschine wird als Prototyp anschließend in einem Prüfstand am Fachgebiet Fluidsystemdynamik der TU Berlin untersucht und weiterentwickelt.

Innerhalb der Projektlaufzeit wurden zwei Prototypen einer Energiefluidmaschine entwickelt. Die systematischen Anforderungen wurden in Zusammenarbeit mit Fa. Airbus defi-

niert und konstruktiv umgesetzt. Beide Prototypen wurden am Fachgebiet für Fluidsystemdynamik thermisch und hydraulisch vermessen.

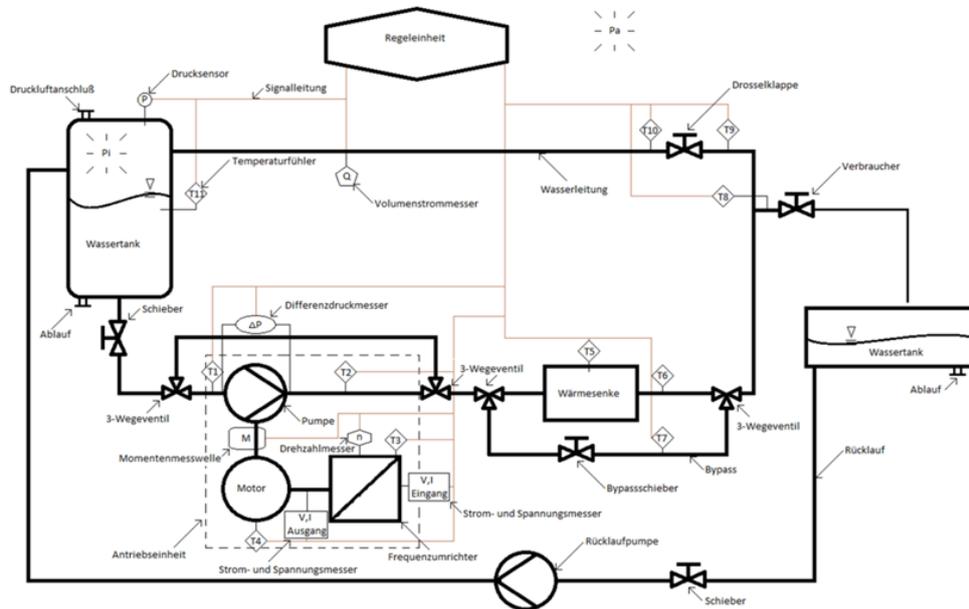


Abbildung 4: Prinzipskizze der Prüfanordnung

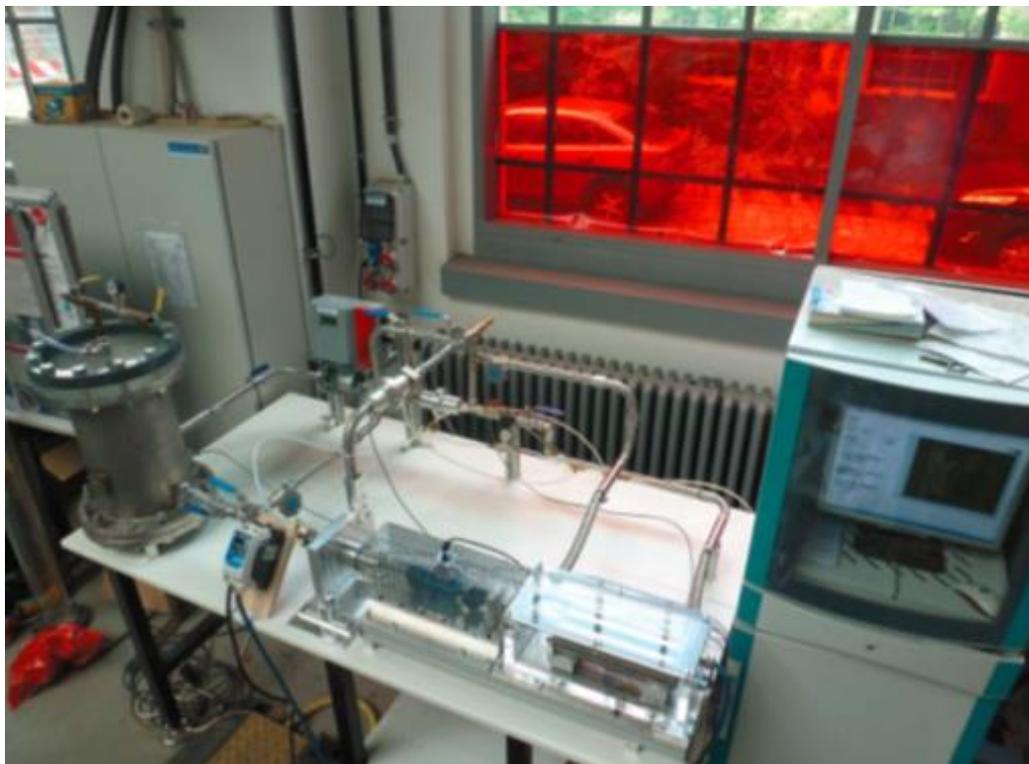


Abbildung 5: Prüfstand, Messvorrichtung, Antriebseinheit

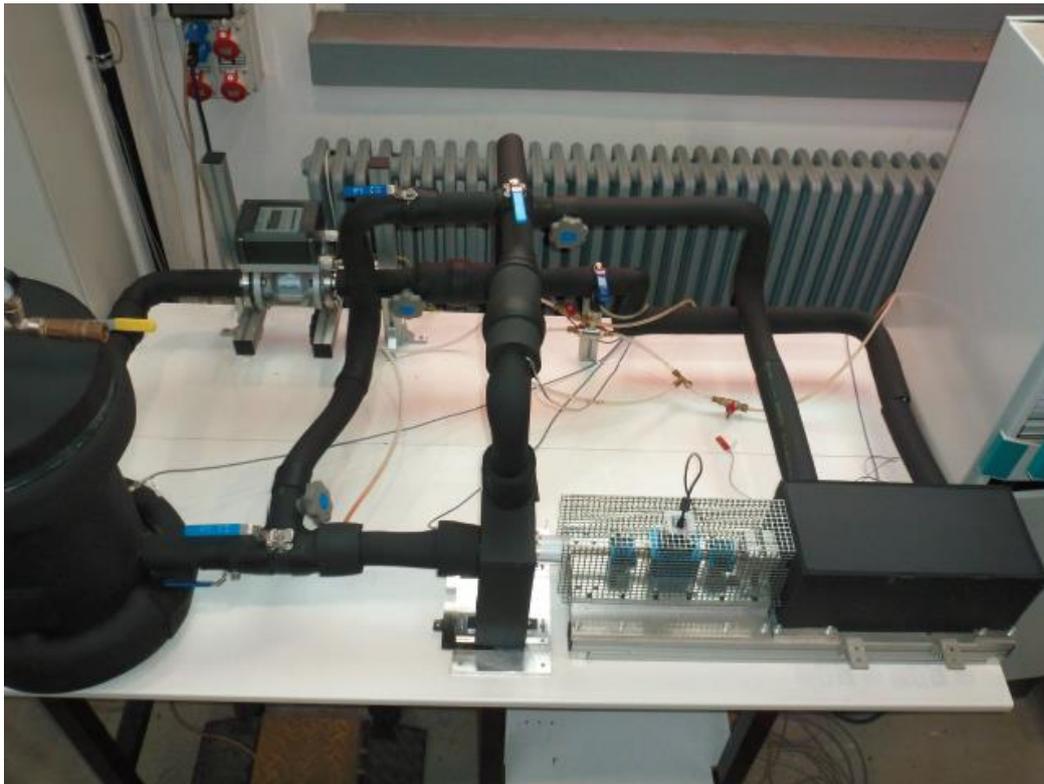


Abbildung 6: Prüfstand isoliert

## 2.2 Wichtigste Positionen des Zahlenmäßigen Nachweises

Im Rahmend des Projekts wurden im Wesentlichen Personalmittel aufgewendet. Hier wurden für die Laufzeit des Projekts ein wissenschaftliche Mitarbeiter und ein studentischer Mitarbeiter beschäftigt. Des Weiteren wurden Sachmittel benötigt, um den Prüfstand inklusive der benötigten Messtechnik aufzubauen und den Prototypen zu konstruieren und zu fertigen.

## 2.3 Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Zur Durchführung der geplanten Inhalte des Projektes ist das Fachgebiet auf Förderung angewiesen, da die personelle Bearbeitung des Projekts ohne diese nicht hätte vorgenommen werden können. Die wissenschaftliche Bearbeitung des Projektinhalts wurde hierbei notwendiger Weise durch einen wissenschaftlichen Mitarbeiter vorgenommen. Unterstützt wurde er durch einen studentischen Mitarbeiter. In dem oben genannten Bearbeitungszeitraum traten hierbei keine zeitliche Verzögerungen bezüglich der Bearbeitung der geplanten Inhalte auf.

Die Theoretischen Untersuchungen führten zur Konstruktion und Fertigung von Prototypen einer Energiefluidmaschine (M1). Die Fertigung war konstruktionsbedingt relativ aufwendig. Auch wurden für den Prüfstand neben speziellen Messgeräten und Sensoren auch besondere Messstellen für die Applizierung der Sensoren benötigt, die ebenfalls gesondert konstruiert und gefertigt werden mussten.

Der Meilenstein M3 „Aufbau und Inbetriebnahme der Prüfanordnung abgeschlossen“ ist erreicht.

Alle Berichte zur Dokumentation des Projektes wurden fristgerecht erstellt (M2/4/7). Der Meilenstein M5 „Variantenstudie und Optimierung des Prototypen“ wurde durch die Bearbeitung des dritten Arbeitspaketes AP3 erfolgreich erreicht.

Der Meilenstein M6 „Einbindung in einen Demonstrator“ wurde in Absprache mit dem Projektträger und den Partnern der jeweiligen Teilprojekte des TAP 1.1.2 „Frischwassersystem“ aufgrund verschiedenster Umstände umdefiniert. Konkrete Informationen zur Umsetzung liegen derzeit nicht vor.

## **2.4 Des voraussichtlichen Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans**

Seitens der TU Berlin gab es keinen wirtschaftlichen Verwertungsplan für die Ergebnisse des Projekts. Die wirtschaftliche Verwertung liegt bei den industriellen Partnern im Rahmen des DIANA-Verbunds. Die TU Berlin wird die gewonnenen Erkenntnisse im Rahmen der Lehre und auch bei der Beantragung zukünftiger Forschungsprojekte verwenden.

## **2.5 Des Fortschritts auf diesem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen**

Es ist während der Durchführung kein Fortschritt des Vorhabens bei anderen Stellen bekannt geworden.

## **2.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses**

Es ist keine Veröffentlichung erfolgt oder geplant.

### 3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zeit- und Arbeitsplan .....4

Abbildung 2: a) Meridianschnitt b) Ansicht vom Eintritt eines doppelwirkenden radialen Schaufelsterns (Quelle: J.F. Gühlich) .....7

Abbildung 3: Quantitative Darstellung des Leistungsflusses und des Regelungspotenzials der Energiefluidmaschine .....8

Abbildung 4: Prinzipskizze der Prüfanordnung.....9

Abbildung 5: Prüfstand, Messvorrichtung, Antriebseinheit.....9

Abbildung 6: Prüfstand isoliert..... 10



-----

Prof. Dr.-Ing. P. U. Thamsen

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht	
3. Titel „Entwicklung einer Fluidenergiemaschine zum temperierten Transport von Frischwasser“		
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]  Naumann, David Till Nikolas	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.03.2015	6. Veröffentlichungsdatum 30.04.2015
	7. Form der Publikation Druckversion und pdf	
	9. Ber. Nr. Durchführende Institution	
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)  Technische Universität Berlin Fachgebiet Fluidsystemdynamik Sekt. K2 Straße des 17. Juni 135 10623 Berlin	10. Förderkennzeichen 20K1101S	
	11. Seitenzahl 12	
	13. Literaturangaben	
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 53107 Bonn	14. Tabellen 0	
	15. Abbildungen 6	
	16. Zusätzliche Angaben  -	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)		
18. Kurzfassung  <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Heizung und Pumpe zwei getrennte Systeme</li> <li>2) Entwicklung einer Fluidenergiemaschine, welche diese Systeme vereint</li> <li>3) Theoretische Energieflüsse und hydraulische Kenntnisse wurden experimentell durch die Vermessung von Prototypen validiert</li> <li>4) Hydraulisch und thermische Vermessung eines für die Luftfahrt entwickelten Prototypen</li> </ol>		
19. Schlagwörter Frischwassersystem, Pumpe, Heizung		
20. Verlag	21. Preis	

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final Report
3. title „Development of a fluid energy machine for tempered transport of fresh water“	
4. author(s) (family name, first name(s))  Naumann, David Till Nikolas	5. end of project 31.03.2015
	6. publication date 30.04.2015
	7. form of publication Print version and pdf
8. performing organization(s) (name, address)  Technische Universität Berlin Chair of Fluid System Dynamics Sekt. K2 Straße des 17. Juni 135 10623 Berlin	9. originator's report no.
	10. reference no. 20K1101S
	11. no. of pages 12
12. sponsoring agency (name, address)  Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 53107 Bonn	13. no. of references
	14. no. of tables 0
	15. no. of figures 6
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	
18. abstract  <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Heating and pump, two separate systems</li> <li>2) Development of a fluid energy machine which brings these two systems together</li> <li>3) Experimental validation of theoretical energy flows and hydraulic knowledge through measurements of prototypes</li> <li>4) Hydraulic and thermal measurement of a prototype developed for aviation</li> </ol>	
19. keywords Fresh water, pump, heating system	
20. publisher	21. price