

# Forschungsprojekt: LUFO 4 2nd Call Highly Integrated Water Faucet

Projekträger DLR Luftfahrtforschung

---



ZODIAC CABIN CONTROLS  
CABIN INTERIORS

**ZODIAC  
AEROSPACE**



# Abschlussbericht

Projekträger DLR Luftfahrtforschung

LUFO IV-2

Förderkennzeichen: 20K0806E

*Integrierter Wasserhahn mit einer  
Desinfektionseinheit*

---

Vorgelegt von:

Ingo Zornow / Zodiac Cabin Controls GmbH

Projektleiter

---

Unterschrift:

Datum:

Hermann Schotte / Zodiac Cabin Controls GmbH

Senior Director Operations

---

Unterschrift:

Datum:

# Inhalt

<b>Inhalt .....</b>	<b>I</b>
<b>Abbildungen .....</b>	<b>IV</b>
<b>Tabellen .....</b>	<b>VI</b>
<b>Einleitung.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Arbeitspaket WP 0-1: Marktanalyse .....</b>	<b>2</b>
1.1. Heizelemente .....	2
1.1.1 Übersicht der realisierbaren Heizelemente.....	2
1.1.2 Übersicht der Heizelemente-Hersteller.....	4
1.2. Desinfektion .....	5
1.2.1. Trinkwasserverordnung (TrinkwV).....	5
1.2.2. DVGW-Regelwerk.....	5
1.2.3. Beschreibung der Desinfektionsmethoden .....	6
1.2.4. Produktlösungen .....	13
1.2.5. Beschichtungstechniken.....	14
1.2.6. Herstellerübersicht .....	16
1.3. Sensorik.....	16
1.3.1. Übersicht der Sensorik.....	16
<b>2. Arbeitspaket WP 0-2: Interface Analyse .....</b>	<b>18</b>
2.1 Interface-Spezifikation der externen Schnittstellen .....	18
2.2 Interface-Spezifikation der internen Schnittstellen .....	19
2.2.1 Heizeinheit (Heater) .....	20
2.2.2 Mischeinheit (Mixer) .....	21
2.2.3 Desinfektionseinheit .....	22
2.2.4 Wasserhahn (Water Faucet) .....	23
2.2.5 Steuerungs-/Regelungseinheit (Control Unit) .....	24
<b>3. Arbeitspaket WP 0-3: Bewertungskriterien .....</b>	<b>26</b>
3.1 Definition der Anforderungen.....	26
3.2 Festlegung der Bewertungskriterien.....	27
3.3 Methodik der Systembewertung .....	30
<b>4. Arbeitspaket WP 0-4: Produktkonzepte.....</b>	<b>31</b>
4.1 Gesamtkonzept „Wasserhahn“.....	31

4.1.1	Varianten des Gesamtsystems.....	31
4.2.	Produktkonzepte der Desinfektionseinheit.....	32
4.3.	Produktkonzepte der Heizeinheit.....	33
4.4.	Produktkonzepte des Bedienelementes am Wasserhahn.....	34
4.5.	Produktkonzepte der Mischeinheit.....	34
<b>5.</b>	<b>Arbeitspaket WP 0-5: Konzept, Bewertung und Auswahl.....</b>	<b>35</b>
5.1	Bewertung der Produktkonzepte .....	35
5.2.	Definition von Gesamtkonzeptlösungen .....	36
5.2.1	Gesamtkonzept I: Standard.....	36
5.2.2	Gesamtkonzept II: Innovation.....	36
5.2.3	Gesamtkonzept III: Kompakt .....	36
5.3.	Bewertung der Gesamtkonzepte .....	37
<b>6.</b>	<b>Arbeitspaket WP 0-6: Erstellung der Spezifikation .....</b>	<b>38</b>
6.1	Bedienelement am Wasserhahn.....	38
6.1.1	Bedienkonzept A: BASIC .....	38
6.1.2	Bedienkonzept B: UNIVERSAL TOUCHLESS.....	39
6.1.3	Bedienkonzept C: INNOVATION.....	39
6.1.4	Zusammenfassung.....	40
6.2.	Desinfektionseinheit .....	40
6.2.1	Ozon-Micro-Zelle ( <i>INNOVATEC II</i> ).....	40
6.2.2	Isiflex-Brauseschlauch .....	40
6.3.	Heizeinheit .....	41
6.3.1	Keramikheizelemente.....	41
6.3.2	PTC-Heizelemente.....	41
<b>7.</b>	<b>Arbeitspaket WP 0-7: Aufbau von Funktionsdemonstrator.....</b>	<b>42</b>
7.1.	Demonstrator .....	42
7.2.	Bedienelement am Wasserhahn.....	42
7.3.	Desinfektionseinheit .....	43
7.3.1	Ozon-Desinfektion.....	43
7.3.2	Desinfektion mit UV-LEDs.....	44
7.3.3	Pulsed Electric Fields .....	44
7.3.4	Innenbeschichtung wasserführender Leitungen .....	45
7.4.	Heizeinheit .....	45

---

7.5. Mischeinheit .....	46
7.6. Stoffnachweis.....	46
7.6.1 Stationärer Zustand.....	46
7.6.2 Dynamisches System.....	47
<b>8. Arbeitspaket WP 0-8: Engineering Tests / Verifikation.....</b>	<b>48</b>
8.1. Demonstrator .....	48
8.1.1 Wasserkreislauf.....	48
8.2. Bedienelement am Wasserhahn.....	49
8.2.1 Funktionsversuche – Sensoren .....	49
8.2.2 Funktionsversuche – Bedienkonzept.....	50
8.2.3 Funktionsversuche am Demonstrator.....	50
8.2.4 Ergebnisse, Fazit und Ausblick .....	50
8.3. Desinfektionseinheit.....	51
8.3.1 Ozon-Desinfektion.....	51
8.3.2 UV-LEDs.....	52
8.3.3 Pulsed Electric Fields.....	52
8.3.4 Innenbeschichtung wasserführender Leitungen (Biofilm) .....	55
8.4. Heizeinheit .....	60
8.4.1 Aufheizzeit .....	60
8.5. Stoffnachweis.....	61
8.5.1 Stationärer Zustand.....	61
8.5.2 Dynamisches System.....	62
8.5.3 Auswertung der Ergebnisse .....	62
<b>Zusammenfassung / Ausblick.....</b>	<b>63</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>64</b>
<b>Quellenverzeichnis.....</b>	<b>66</b>

## Abbildungen

Abbildung 1: Übersicht der Marktanalyse .....	2
Abbildung 2: Black-Box-Prinzip .....	18
Abbildung 3: Darstellung der externen Schnittstellen.....	18
Abbildung 4: Darstellung der internen Schnittstellen.....	19
Abbildung 5: Schnittstellen der Heizeinheit.....	20
Abbildung 6: Schnittstellen der Mischeinheit.....	21
Abbildung 7: Schnittstellen der Desinfektionseinheit.....	22
Abbildung 8: Schnittstellen des Wasserhahns .....	23
Abbildung 9: Schnittstellen der Control Unit.....	24
Abbildung 10: Ablauf/Vorgehensweise .....	26
Abbildung 11: Produkt-/Gesamtkonzepte .....	31
Abbildung 12: 400W Keramikheizelement .....	41
Abbildung 13: 2x200W Keramikheizelement .....	41
Abbildung 14: Dimensionierung des Demonstrators .....	42
Abbildung 15: CAD-Modell des Wasserhahns .....	43
Abbildung 16: Rapid-Prototyping-Modelle.....	43
Abbildung 17: Schematischer Aufbau der Ozonisierungseinheit.....	43
Abbildung 18: Desinfektionseinheit UV-LEDs .....	44
Abbildung 19: Versuchsaufbau gepulste Felder.....	44
Abbildung 20: Versuchsaufbau zur Innenbeschichtung .....	45
Abbildung 21: Versuchsaufbau – Heizeinheit .....	45
Abbildung 22: Funktionsdemonstrator der Mischeinheit.....	46
Abbildung 23: Versuchsaufbau – Stoffnachweis im stationären Zustand .....	47
Abbildung 24: Versuchsaufbau – Stoffnachweis im dynamischen Zustand.....	47
Abbildung 25: Darstellung der Integrierung.....	48
Abbildung 26: Wasserkreislauf des Demonstrators .....	48
Abbildung 27: Bestimmung des Erfassungsbereiches Sensor / Bedienkonzept.....	49
Abbildung 28: RP-Modell am Demonstrator.....	50
Abbildung 29: Deckelprinzip der RP-Modelle.....	50
Abbildung 30: Versuchsaufbau zum Funktionstest der Innovatec-Zelle .....	51
Abbildung 31: Ozon-Konzentration in Abhängigkeit vom eingestellten Strom .....	51

Abbildung 32: Versuchsaufbau für Messungen mit gepulsten Feldern.....	53
Abbildung 33: Gemittelte elektrische Feldstärke über 5 Pulse .....	53
Abbildung 34: ICP-MS (Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry).....	55
Abbildung 35: Normal-Licht-Analyse.....	57
Abbildung 36: UV-Licht-Analyse .....	57
Abbildung 37: Versuchsaufbau der Heizelemente .....	61

## Tabellen

Tabelle 1: Anforderungsparameter .....	2
Tabelle 2: Übersicht der Heizelemente .....	3
Tabelle 3: Kontaktdaten der Heizelemente-Hersteller.....	4
Tabelle 4: Mikrobiologische Anforderungen an Wasser für den menschlichen Gebrauch ....	5
Tabelle 5: Grenzwerte der chemischen Parameter im Trinkwasser .....	5
Tabelle 6: Ozonung – ct-Werte der Bakterienreduktion .....	7
Tabelle 7: Erforderliche UV-Bestrahlung für 99,99% Inaktivierung .....	10
Tabelle 8: Kontaktdaten der Beschichtungsfirmen.....	16
Tabelle 9: Übersicht der Sensorik.....	17
Tabelle 10: Definition der externen Schnittstellen .....	19
Tabelle 11: Schnittstellen der Heizeinheit.....	20
Tabelle 12: Schnittstellen der Mischeinheit.....	21
Tabelle 13: Schnittstellen der Desinfektionseinheit.....	22
Tabelle 14: Schnittstellen des Wasserhahns .....	23
Tabelle 15: Schnittstellen der Control Unit (Strom-/Spannungsversorgung) .....	24
Tabelle 16: Schnittstellen der Control Unit (Daten-/Informationsaustausch) .....	25
Tabelle 17: Übersicht der Randbedingungen.....	27
Tabelle 18: Übersicht der Anforderungen/Ziele .....	27
Tabelle 19: Interpretation der Bewertungskriterien .....	29
Tabelle 20: Tabellarische Übersicht der Bedienkonzepte .....	34
Tabelle 21: Gesamtkonzept I: Standard .....	36
Tabelle 22: Gesamtkonzept II: Innovation.....	36
Tabelle 23: Gesamtkonzept III: Kompakt.....	37
Tabelle 24: Bewertungsmatrix der Gesamtkonzepte .....	37
Tabelle 25: Übersicht der verschiedenen Bedienkonzepte .....	38
Tabelle 26: BASIC - Spezifizierung der Sensorik.....	38
Tabelle 27: Spezifizierung der Sensorik .....	39
Tabelle 28: INNOVATION – Spezifizierung der Sensorik.....	39
Tabelle 29: Spezifizierung der Ozon-Micro-Zelle .....	40
Tabelle 30: Übersicht der Heizelemente.....	41
Tabelle 31: Nickelkonzentration.....	62

## Einleitung

Der Flugzeugbau ist Spitzentechnologieträger und gerade im Bereich der Flugzeugkabine finden sich hochentwickelte Systeme wieder. Hierzu zählen auch die Systeme zur Wasserversorgung an Bord.

Die ZODIAC Cabin Controls GmbH befasst sich unter anderem mit der Auslegung von Wassersystemen und der Entwicklung von Systemkomponenten an Bord von Verkehrsflugzeugen. In diesem Zusammenhang wurden im Forschungsprojekt LUFO IV-1 bereits Technologien zur dezentralen Desinfektion des Trinkwassers untersucht. Das Projekt „Highly Integrated Water Faucet“ soll aufzeigen wie eine solche dezentrale Desinfektion in ein Wasserhahnsystem einer Flugzeughordtoilette integriert werden kann oder wie ein Wasserhahnsystem mit einer integrierten Desinfektion aussehen kann. Im Zusammenhang mit diesem Projekt ist dieser Bericht entstanden. Beteiligt daran sind

- Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg
- Firma ZODIAC Cabin Controls GmbH, Hamburg

Die Strukturierung dieses Berichtes basiert auf der chronologischen Abarbeitung der definierten Arbeitspakete und beinhaltet alle Ergebnisse und Erkenntnisse, die bis zum Ende des Projektes erarbeitet wurden.

Es sollten Technologierecherchen zu den einzelnen Teilkomponenten eines solchen Wasserhahnsystems erfolgen. Teilkomponenten eines solchen Systems sind die Bedienelemente des Wasserhahns, die Heizeinheit und das dazugehörige Heizelement, die Mischeinheit und die Desinfektionseinheit. Die Recherchen sollen zeigen welche Produkte am Markt mit welchem Reifegrad verfügbar sind und welche auf zukünftige Produktentwicklungen maßgeblichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit haben.

Anschließend wurden die Schnittstellen eines solchen Wasserhahnsystems zu anderen Systemen des Flugzeuges analysiert. Diese umfassen sowohl die elektrischen Schnittstellen, als auch die mechanischen, wie z.B. die Schnittstelle zu einem Waschtisch oder der Rückwand zu einem Toiletten-Modul. Darüber hinaus wurden die systeminternen Schnittstellen analysiert und festgelegt, um einen möglichst modularen und flexiblen Aufbau des zu entwickelnden Produktes erzielen zu können.

Durch die Auswahl und Festlegung von Bewertungsmethoden und Bewertungskriterien wurden daraufhin einzelne Produktkonzepte für die Teilkomponenten und das Wasserhahnsystem ausgewählt, welche dann zum Aufbau von Funktionsdemonstratoren für die Teilkomponenten und das Wasserhahnsystem führten.

An diesen Demonstratoren wurden verschiedene Versuche durchgeführt, welche die Leistungsfähigkeit der einzelnen Lösung sowie der Gesamtlösung zeigen sollen. Dieser Bericht fasst alle Arbeiten zusammen.

# 1. Arbeitspaket WP 0-1: Marktanalyse

Dieses Arbeitspaket WP 0-1 beinhaltet die Erstellung einer Übersicht, welche Produkte und Technologien am Markt bereits verfügbar sind, um die verschiedenen Aufgabenstellungen eines integrierten Wasserhahns zu erfüllen. In dieser Übersicht wurde berücksichtigt, welche Technologien in Abhängigkeit vom jeweiligen Reifegrad, bei einer zukünftigen Produktentwicklung, maßgeblichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Produkts haben könnten.

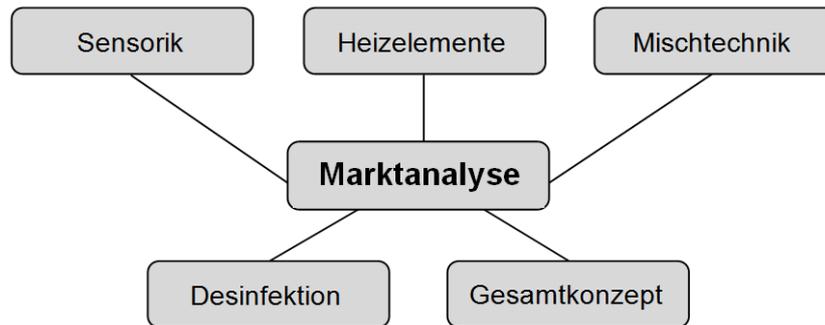


Abbildung 1: Übersicht der Marktanalyse

## 1.1. Heizelemente

Die Recherche ergab, dass der Markt an Heizelementen sehr vielfältig ist. Es wurden in erster Linie Konzepte betrachtet, die eine hohe Korrosionsstabilität aufweisen und kalkabweisend sind. Im Vordergrund standen dabei innovative Lösungen. Da sich bisher die Erwärmung des Wassers durch die Umwandlung von elektrischer Energie in Wärmeenergie bewährt hat, sind Neuentwicklungen im Wassererhitzungsbereich eher selten.

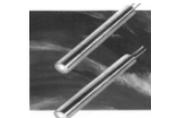
### 1.1.1 Übersicht der realisierbaren Heizelemente

Im Vorfeld der Marktrecherche wurden konkrete Anforderungen und Vorgaben an das Heizelement definiert. Diese sind in der *Tabelle 1* zusammengefasst.

Tabelle 1: Anforderungsparameter

Beschreibung	Parameter
Art des Mediums	Trinkwasser
Gewicht	ohne Berücksichtigung
Volumenstrom	120ml / 5s (1,5l/min)
Temperaturbereich	$T_{\text{EIN}} = 10^{\circ}\text{C}$ / $T_{\text{AUS}} = 40/50^{\circ}\text{C}$
Aufheizzeit	max. 4 Minuten
Überhitzungsschutz	Temperaturfühler, PTC-Element, Füllstandsmessung
Spannungsbereich	115V AC
Leistungsaufnahme	400 W
Schutzklasse	Schutzklasse I (Grundisolierung) Prüfspannung 1250V

**Tabelle 2:** Übersicht der Heizelemente

	<b>Einschraub- heizkörper</b>	<b>Hochleistungs- heizpatrone</b>	<b>Rohrheizkörper</b>	<b>Flachrohr- heizkörper</b>	<b>Keramik- heizelement</b>	<b>Leicht- verdichtete Heizpatrone</b>	<b>Verdichtete Heizpatrone</b>	<b>PTC- Heizelement</b>	<b>Keramik- heizelement mit PTC-Verhalten</b>
<b>Beschreibung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- elektrisches Heizelement bestehend aus haar-nadelförmig gebogenen Rohrheizkörpern, die in einem Schraubkopf eingelötet/eingeschweißt werden</li> <li>- können mit Regler und/oder Begrenzerkombinationen ausgestattet werden können</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- metallummantelte Hochleistungsheizpatrone mit geschliffenem Außenmantel (CrNi-Stahl)</li> <li>- ein spezieller Aufbau u. hohe Verdichtung ermöglichen extrem hohe Oberflächenbelastungen</li> <li>- große Leistung auf kleinstem Raum</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- metallummantelte verdichtete Rohrheizkörper</li> <li>- gerade u. gebogene Ausführungen</li> <li>- Anschlüsse nach DIN 44874 Teil 2 in verschiedenen Ausführungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- verdichtete, metallummantelte u. verformbare Heizkörper mit flach-ovalem Querschnitt in Ein-, Zwei- und Dreileiter-Bauweise</li> <li>- ein- oder beidseitiger Anschluss</li> <li>- Mantelwerkstoff aus CrNi-Stahl</li> <li>- Heizleiter aus NiCr-Legierungen</li> <li>- Isoliermaterial aus Magnesiumoxid</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vollkeramik aus Siliziumnitrid</li> <li>- geringe Wärmekapazität</li> <li>- besteht aus elektrisch leitender Keramik und einer Hülle aus isolierender Keramik</li> <li>- homogener Körper (versintert)</li> <li>- Alterungs- und Verschleißbeständig</li> <li>- lange Lebensdauer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- metallummantelte Heizpatrone mit Außenmantel aus Chromnickelstahl</li> <li>- gegenüber herkömmlichen Heizpatronen mit gleichen Abmaßen und Leistungen höhere Beständigkeit gegen mechanische Beanspruchung sowie höhere Lebensdauer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- metallummantelte Heizpatrone mit Außenmantel aus Chromnickelstahl</li> <li>- Isolationsmaterial aus hochverdichtetem Magnesiumoxid</li> <li>- einseitige Anschlussausführung</li> <li>- isoliert ausgeführte Anschlussleitungen und feuchtigkeitsdichter Abschluss</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Heizelemente in Patronenform oder Sonderbauform (z.B. HPA) bestückt mit selbstregelnde Widerstandselemente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- keramische Heizplättchen aus Bariumtitanat</li> <li>- Forschung bei dem Hersteller „Rauschert“ über Erhitzen von Flüssigkeiten</li> </ul>
<b>Abbildung</b>									
<b>Oberflächenbelastung</b>	bis zu 25 W/cm <sup>2</sup>	ca. 3-50 W/cm <sup>2</sup>	bis zu 25 W/cm <sup>2</sup>	bis zu 25 W/cm <sup>2</sup>	22 W/cm <sup>2</sup>	6,5 W/cm <sup>2</sup>	10 W/cm <sup>2</sup>	ca. 3-50 W/cm <sup>2</sup>	12 W/cm <sup>2</sup>
<b>Temperaturbelastbarkeit</b>	max. 850°C	max. 750°C	max. 850°C	max. 850°C	--	bis 750°C	max. 600°C	--	--

## 1.1.2 Übersicht der Heizelemente-Hersteller

**Tabelle 3:** Kontaktdaten der Heizelemente-Hersteller

Nr.	Hersteller	Modell	Ansprechpartner
1	Eichenauer GmbH & Co.KG Industriestrasse 1 76770 Hatzenbuehl	Keramikheizelement, PTC-Verhalten	marcus.limbacher@eichenauer.de
2	GC-heat & Castiglia GmbH & Co.KG Industriestraße 34 51545 Waldbröl	Edelstahlheizpatrone	Angebot wurde erstellt
3	Watlow GmbH Lauchwasenstrasse 1 76709 Kronau	Kabelheizelement	Kundencenter@watlow.de LMerkel@watlow.com
4	Dickersbach GmbH Pestalozziweg 19 51503 Rösrath	Rohrheizelement, Heizpatrone	info@dickersbach.de Hr. Gürtler
5	MICKENHAGEN GmbH & Co.KG Gielster Stück 4 58513 Lüdenscheid	Silikon-, Keramikheizelement, Rohrheizkörper	info@mickenhage.de
6	G. Maier Elektrotechnik GmbH Gustav-Schwab-Straße 14-20 72762 Reutlingen	Silikonheizelement, Heizpatronen, Keramikheizelement	info@maier-elektrotechnik.de www.maier-elektrotechnik.de Hr. Maier, negativ
7	BACH RC GmbH Buchenweg 2 16356 Werneuchen OT Seefeld- Löhme	Keramikheizelement	bach@bach-rc.de www.bachrc.de
8	Thomas Elektrowärme GmbH Altkirchener Weg 8 04626 Großstörnitz	Einschraubheizkörper, Rohrheizkörper, Heizpatrone	info@thomas-elektrowaerme.de www.thomas-elektrowaerme.de
9	EGO Elektro Gerätebau GmbH Wiesfleckenstr. 6 72336 Balingen	Rohrheizelement	Bernhard.Betz@egoproducts.com
10	Rauschert Steinbach GmbH Fabrikweg 1 D-96359 Steinbach	keramische PTC-Elemente als Heizelemente	d.sinkel@rauschert.de J.Schuesser@rauschert.de d.gruetzmann@rauschert.de, www.rauschert-tk.de
11	ESSKA GmbH Borstelmannsweg 175 20537 Hamburg	Einschraubheizkörper, Heizstab, Edelstahlheizelement,	ar@esska.de
12	Türk+Hillinger GmbH Föhrenstr. 20 D-78532 Tuttlingen	PTC-Heizelement, Einschraubheizelement, Keramikheizelement	info@tuerk-hillinger.de
13	Herbst Beheizungs-Technik Postfach 12 25 58804 Neuenrade	Edelstahleinschraub- heizkörper	info@Herbst-Beheizungstechnik.de
14	SELFA GE S.A. ul. Bieszczadzka 14 71-042 Szczecin	Keramikheizelement, Spiralheizelement	<a href="mailto:trading@selfa.pl">trading@selfa.pl</a>
15	Jeka GmbH Kalterer Straße 27 64646 Heppenheim	Heizpatronen, PTC-Heizelement, Einschraubheizelement, Vollkeramisches Heizelement	Walter@jeka-heppenheim.de
16	DBK David+Bader GmbH Rheinstraße 72 – 74 76870 Kandel	PTC-Elemente	info@dbk-group.de

## 1.2. Desinfektion

Das breite Spektrum der Desinfektionsverfahren und Technologien wurde marktanalytisch betrachtet. Als Grundlage der Marktanalyse dient die Vorschrift der deutschen Trinkwasserverordnung (TrinkwV). Alle Konzeptlösungen von entsprechenden Herstellern müssen dieser Norm entsprechen.

### 1.2.1. Trinkwasserverordnung (TrinkwV)

Im Wasser für den menschlichen Gebrauch dürfen Krankheitserreger im Sinne des Infektionsschutzgesetzes nicht in Konzentrationen enthalten sein, die eine Schädigung der menschlichen Gesundheit besorgen lassen. Die *Tabelle 4* beinhaltet die fest-gesetzten Grenzwerte der mikrobiologischen Parameter.

**Tabelle 4:** Mikrobiologische Anforderungen an Wasser für den menschlichen Gebrauch

Nr.	Parameter	Grenzwert
1	Escherichia coli (E.coli)	0 / 250ml
2	Enterokokken	0 / 250ml
3	Pseudomonas aeruginosa	0 / 250ml
4	Koloniezahl bei 22°C	100 / ml
5	Koloniezahl bei 36°C	20 / ml
6	Coliforme Bakterien	0 / 250ml

Zur Aufbereitung des Wassers für den menschlichen Gebrauch dürfen nach der neuen Trinkwasserverordnung nur Stoffe verwendet werden, die vom Bundesministerium für Gesundheit in einer Liste im Bundesgesundheitsblatt bekannt gemacht worden sind. Die *Tabelle 5* beinhaltet eine kleine Zusammenfassung der für das Projekt wichtigen Grenzwerte der chemischen Parameter im Trinkwasser.

**Tabelle 5:** Grenzwerte der chemischen Parameter im Trinkwasser

Nr.	Parameter	Grenzwert
1	Trihalogenmethane	0,05mg / l
2	Bromat	0,01mg / l
3	Ozon	0,05mg / l
4	Nickel	0,02mg / l
5	Silber	0,01mg / l

### 1.2.2. DVGW-Regelwerk

Der DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.) ist seit 1859 die technisch-wissenschaftliche Vereinigung des deutschen Gas- und Wasserfaches. In seinen Arbeits- und Merkblättern hat der DVGW für alle Desinfektionsverfahren Richtlinien erarbeitet, wobei besondere Bedingungen und praktische Erfahrungen Berücksichtigung gefunden haben.

Quellenangabe:

Die Ausarbeitungen zur Trinkwasserverordnung und zum DVWG-Regelwerk wurden aus Teilen der Schulungs- und Informationsbroschüre Desinfektionsverfahren 2002 (Anlage 8) vom Umweltbundesamt entnommen.

### 1.2.3. Beschreibung der Desinfektionsmethoden

Grundlage für die spätere Erarbeitung verschiedener Konzeptlösungen soll eine detaillierte Beschreibung der jeweiligen Desinfektionsmethoden bilden. Im Folgenden werden daher die Desinfektionsverfahren in ihrer Wirkungsweise näher beschrieben. Auf bereits bestehende Anwendungen der Methoden mit ihren Vor- und Nachteilen wird ebenfalls eingegangen.

Einige der Methoden wie Ozonung, Chlorung, Chlordioxid, UV-Bestrahlung, Ultraschall, Hitze und Membranfiltration sind für Anwendungen in unterschiedlichsten Bereichen entwickelt, optimiert und entsprechend dokumentiert worden. Andere, wie PEF oder Beschichtungen, befinden sich in der Entwicklung und sind einer genaueren Betrachtung unzugänglich.

#### **Membranfiltration**

Die Membranfiltration unterscheidet sich von anderen Desinfektionsverfahren dadurch, dass sie ein rein physikalisches Verfahren ist. Eine Membran ist semipermeabel was bedeutet, dass sie halb- beziehungsweise teilweise durchlässig ist. Genauer beschrieben lässt die Membran nur Stoffe hindurch, die kleiner sind als die größten Poren der Membran. Diesen Mechanismus nennt man auch Siebeffekt. Die Mikroorganismen werden aus dem Rohwasser herausgefiltert, wenn die Poren der Membran kleiner sind als die Bakterien und Viren.

Um die Filtrierleistung der Membran aufrecht zu erhalten, wird die Membran rückgespült. Das bedeutet eine Umkehr der Flussrichtung in der Membran. Eine Rückspülung ist erforderlich wenn der vom Hersteller angegebene minimale Differenzdruck erreicht wird. In der Praxis wird nach festgelegten Zeitintervallen gespült. Es kann mit und ohne Chemikalien gespült werden. Bei der Spülung ohne Chemikalien wird ein erhöhter Volumenstrom genutzt um die Ablagerungen auf der aktiven Filtrationsschicht zu lösen und weg zu spülen.

Zur Überwachung der Membranfiltration bietet sich die Trübungsmessung an, da dieses Verfahren auch bei konventionellen Filteranlagen erfolgreich genutzt wird. Über eine kontinuierliche Partikelmessung kann ein Defekt in der Membran detektiert werden.

#### **Ozonung**

Die Ozonung durch Elektrolyse ist eine chemische Desinfektionsmethode. Dabei wird Wasser durch Elektrolyse gespalten. Es entstehen Wasserstoff und Ozon. Das Ozonmolekül ist wegen seines sehr hohen Redoxpotentials ( $E_0 = 2,07 \text{ V}$  bei  $25^\circ\text{C}$ ) eines der stärksten Oxidationsmittel.

In der Trinkwasseraufbereitung kann Ozon als effizientes Desinfektionsmittel eingesetzt werden. Die desinfizierende Wirkung des Ozons ist durch die oxidative Wirkung auf Mikroorganismen zu erklären. Bei Bakterien wird als erstes die Zellmembran angegriffen. Daraufhin greift das Ozon die Enzyme der Zelle an. In dem folgenden Verlauf löst sich die Zellmembran auf (Lysis) und die DNS kann von dem Ozon angegriffen werden.

Bei Viren werden zuerst die Proteine des Kapsid (Virushülle) zerstört und in einem zweiten Schritt wird die DNS beziehungsweise RNS zerstört.

Seit den letzten Jahren wird zur annähernden Bestimmung der Desinfektionsleistung der ct-Wert benutzt. Dieser beschreibt die Desinfektionswirkung und ist von der Kontaktzeit  $t$  und der Konzentration  $c$  in dem im Wasser enthaltenem Ozon abhängig.

$$\text{ct-Wert [(mg·min)/l]} = c \text{ [mg/l]} \cdot t \text{ [min]}$$

In *Tabelle 6* sind die ct-Werte in Abhängigkeit von der Temperatur und dem pH-Wert für verschiedene pathogene Mikroorganismen dargestellt. Die ct-Werte stehen für eine Bakterienreduktion um 99,99 Prozent. Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass die verschiedenen Mikroorganismen unterschiedlich resistent gegenüber der oxidativen Wirkung von Ozon sind. Die Ergebnisse stammen aus Laborversuchen in denen die Mikroorganismen speziell gezüchtet wurden. In der Realität sind die Mikroorganismen jedoch zusammengelagert, so dass sie vor der Desinfektion geschützt sind. Die ct-Werte aus den Laboruntersuchungen können deshalb nur als Richtwerte für die Praxis übernommen werden.

**Tabelle 6:** Ozonung – ct-Werte der Bakterienreduktion

Mikroorganismus	ct-Wert [(mg·min)/l]	pH-Wert	Temperatur [°C]	Referenz
E.coli	0,02	6,0 – 7,0	5	Langlais et al. (1991)
Polio 1	0,1 – 0,2	6,0 – 7,0	5	Langlais et al. (1991)
Rotavirus	0,006 – 0,06	6,0 – 7,0	5	Langlais et al. (1991)
Gardia lambia	0,5 – 0,6	6,0 – 7,0	5	Langlais et al. (1991)
Giardia muris	1,8 – 2,0	6,0 – 7,0	5	Langlais et al. (1991)
Cryptosporidien	3,5 – 10	7	25	Korich et al. (1990)

Diese Untersuchungen begründen sich durch die vielfältige Beeinflussung durch unterschiedlichste Parameter. So haben zum Beispiel der pH-Wert, die Temperatur und organische Wasserinhaltsstoffe eine große Wirkung auf die Ozonzehrung und somit auch auf die Ozonabnahme in dem aufzubereitenden Wasser.

- pH-Wert

Laut [Auckenthaler/Huggenberger 2003] hat der pH-Wert nur einen geringen Einfluss auf die Desinfektionswirkung. Sollte das aufzubereitende Wasser einen stark basischen pH-Wert haben, wird allerdings das Ozon wesentlich schneller abgebaut [Seidel 1992].

- Temperatur

Die Temperatur hat zwei Auswirkungen auf die Wasseraufbereitung mit Ozon. Da die Geschwindigkeit von chemischen Prozessen bei einem Temperaturanstieg um 10°C sich verdoppelt beziehungsweise verdreifacht, wird das Ozon auch wesentlich schneller aufgezehrt. Dem entgegengestellt ist, dass die Löslichkeit von Ozon im Wasser bei einem Temperaturanstieg abnimmt [Auckenthaler und Huggenberger 2003].

- organische Wasserinhaltsstoffe

Ein charakteristischer Summenparameter für die gelösten organischen Inhaltsstoffe ist der DOC (Dissolved Organic Carbon). Der DOC ist bestimmend für die Ozonzehrung, da der größte Teil des Ozons durch den DOC abgebaut wird. Aus diesem Grund wird die Ozonzugabe nach der Menge des im Wasser enthaltenen DOC bemessen.

Zur Herstellung des Ozons kann man zwei unterschiedliche Verfahren in verschiedenen Ausführungen nutzen. Die am häufigsten angewandte Möglichkeit Ozon für die Wasseraufbereitung zu erzeugen ist: das Ozon elektrolytisch durch die Spaltung von Wasser zu erzeugen. Bei diesem Verfahren befinden sich zwei spezielle Elektroden im Wasser, die Ozon erzeugen. Durch einen neuen Elektrodenaufbau ist das Verfahren seit kurzem wirtschaftlicher und interessanter für die Trinkwasseraufbereitung geworden. Der Aufbau besteht aus ein oder mehreren Elektrodenlagen die diamantbeschichtet sind. Dieser Aufbau kann zum Beispiel in einen Rohrreaktor integriert werden und bei einer hohen Stromausbeute Ozon produzieren.

Als Nebenprodukt entsteht bei der Elektrolyse Wasserstoff, welches schon in geringen Konzentrationen (ab 4 Vol.%) mit Luft vermischt ein explosionsfähiges Gasgemisch ergibt.

Es dürfen laut der „Liste für Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren“ vom Umwelt-Bundesamt maximal 10 mg/l Ozon zugegeben werden. Außerdem soll laut dieser Liste die Restkonzentration nach der Desinfektion nicht mehr als 0,05 mg/l betragen. Der geringe Restgehalt an Ozon im Wasser nach der Aufbereitung sollte eingehalten werden, da es sonst zu Korrosionsproblemen kommen kann. Außerdem sollten die Werte wegen der möglichen Geruchsbelästigung gering gehalten werden.

In der Regel wird die Ozonkonzentration am Ende der Aufbereitung gemessen. Auf diese Art kann die Dosierung des benötigten Ozons gesteuert werden, da je nach Wasserinhaltsstoffen der Ozonverbrauch variiert. Zu den gängigsten Messverfahren zählen das: Amperometrisches Messverfahren, Photometrisches Messverfahren und die Messung der UV-Absorbtion.

### **Chlorung**

Beider indirekten Chlorung wird dem Chlorgas eine geringe Menge Wasser zugesetzt, um dann in Wasser gelöst dem Hauptstrom beigemischt zu werden. Dieses Verfahren erwies sich als sehr kostengünstig, wirksam und leicht steuerbar.

Die Chlorung von Trinkwasser kann laut [Umwelt-Bundes-Amt 2006 Teil 1c] mit den folgenden Chlorverbindungen durchgeführt werden:

- Chlorgas
- Calciumhypochlorit
- Natriumhypochlorit

Die Desinfektionswirkung des Chlors beruht auf der oxidativen Wirkung der hypochlorigen Säure, die sich bildet, sobald Chlorgas in Wasser gelöst wird. Durch das starke Oxidationsvermögen der Chemikalien, wird die Zellmembran der Bakterien, beziehungsweise die Kapsid (Virushülle) der Viren geschädigt. Als Folge dieser Schädigung bricht der Stoffwechsel zusammen und die Mikroorganismen sterben ab. Bei der Zugabe von Chlorgas, Calcium und Natriumhypochlorit entsteht im Wasser hypochlorige Säure, die als oxidierender Stoff die Mikroorganismen angreift.

In der Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren [Umwelt-Bundes-Amt 2006] wird in Teil 1c auf die Aufbereitungsstoffe eingegangen, die zur Desinfektion von Wasser eingesetzt werden. Für Calcium-, Natriumhypochlorit und Chlorgas wird nach Abschluss der

Aufbereitung ein Konzentrationsbereich gefordert, der zwischen maximal 0,3mg/l bis minimal 0,1mg/l freiem Chlor liegt. Folge der Bedingung, dass nach der Aufbereitung ein Restgehalt an freiem Chlor vorhanden sein muss, ist, dass keine Chloramine zur Desinfektion in Deutschland genutzt werden können. Somit sollten Trinkwässer, bei Desinfektionen die auf Chlor basieren, kein Ammonium enthalten.

Die Kontrolle der Desinfektionswirksamkeit wird über den Überschuss an aktivem Chlor nach der Desinfektion gemessen. Für diese Chlorüberschussmessung werden kolorimetrische oder amperometrische Messgeräte eingesetzt, die kontinuierliche Messsignale ausgeben können.

Die kolorimetrische beziehungsweise photometrische Methode ist als Referenzmethode in der DIN 38408 Teil 4 beschrieben. Dem Wasser wird die Chemikalie DPD (N,N-diethyl-1.4-phenylendiamin) zugegeben, die in Gegenwart von freiem Chlor unter Bildung einer roten Farbe oxidiert. Die Stärke dieser Färbung des Wassers kann photometrisch bestimmt werden und so kann man auf die Konzentration an freiem Chlor schließen.

Die Konzentration der zu messenden Stoffes entspricht bei der amperometrischen Methode entspricht grundsätzlich dem fließende Strom. Das Messprinzip entspricht demselben Prinzip, das auch bei der Ozonmessung eingesetzt wird.

### **Chlordioxid**

Chlordioxid kondensiert unterhalb von 10°C und bei 1bar Luftdruck zu einer dunkelroten Flüssigkeit [DVGW 1986]. Im gasförmigen Zustand zersetzt sich Chlordioxid ab einer Konzentration von 300g/m<sup>3</sup> Luft (=10 Volumenprozent) explosionsartig zu Chlor und Sauerstoff. In wässrigen Lösungen mit Konzentrationen über 8g/l kann es im überstehenden Gasraum ebenfalls zu einer explosionsartigen Zersetzung kommen. Ein Transport von Chlordioxid in hohen Konzentrationen ist nicht möglich, da Chlordioxid in wässrigen Lösungen mit Konzentrationen über 30g/l explosiv ist. Deshalb wird Chlordioxid auch heute noch am Ort des Verbrauches hergestellt.

In der desinfizierenden Wirkungsweise beruht die Anwendung von Chlordioxid auf demselben Prinzip wie die Ozonung und die Anwendung von Chlor. Durch das starke Oxidationsvermögen der Chemikalie, wird die Zellmembran der Bakterien, beziehungsweise die Kapsid (Virushülle) der Viren geschädigt. Als Folge dieser Schädigung bricht der Stoffwechsel zusammen und die Mikroorganismen sterben ab.

Bei der Desinfektion mit Chlordioxid (ClO<sub>2</sub>) wird das ClO<sub>2</sub> als Gas im Wasser gelöst. Die Trinkwasserverordnung schreibt eine maximal zulässige Zugabe des Chlordioxids von 0,4mg/l vor. Zudem soll als Reaktionsprodukt Chlorit beachtet werden. Chlorit (ClO<sub>2</sub><sup>-</sup>) entsteht, wenn Chlordioxid ein Elektron zur Oxidation abgibt. Als Folgereaktion entsteht aus dem Chlorit durch eine weitere Oxidation Chlorid (Cl<sup>-</sup>). Chlorit kann in zu hohen Konzentrationen zu Problemen führen, da laut Trinkwasserverordnung ein Grenzwert von 0,2mg/l eingehalten werden muss.

Chlordioxid hat laut Trinkwasserverordnung einen minimalen und maximalen Grenzwert der überwacht werden muss. Das Wasser soll nach Abschluss der Aufbereitung noch wenigstens eine Konzentration von 0,05mg/l enthalten und maximal 0,2mg/l. Außerdem darf dem aufzubereitenden Wasser maximal eine Konzentration von 0,4mg/l zugegeben werden.

Zudem wird vorgeschrieben, dass die Grenzwerte dokumentiert werden müssen. Zur Überwachung des Chlordioxides im Wasser können ebenfalls, wie bei der Überwachung von Chlor, amperometrische Verfahren eingesetzt werden. Zur Steuerung der unterschiedlichen Anlagen werden außerdem noch unterschiedliche Messverfahren eingesetzt, die Volumen- und Stoffströme überwachen.

### UV-Bestrahlung

Die UV-Strahlung ist generell biologisch hoch relevant, da lebende Organismen seit Beginn der Evolution des Lebens auf diesem Planeten sich gegenüber dem gentoxischen Effekt der UV-Strahlung der Sonne zu behaupten hatten. Üblicherweise verwendet man als praktikable germizide Wellenlänge einen Bereich zwischen 200nm und 300nm [Bolton 1999], d.h. hauptsächlich UV-C- und UV-B-Strahlung.

Die Inaktivierung von Keimen mit UV-Strahlen erfolgt im Wesentlichen durch eine photochemische Reaktion im Informations- und Replikationszentrum der Keime ohne den Zusatz fremder Stoffe. Die UV-Strahlen (Photonen) treffen die Desoxyribonucleinsäure (DNS) des Keims und inaktivieren in Sekundenbruchteil die entsprechende Erbinformation.

Die destruktivste Wirkung auf die DNS hat die UV-Strahlung bei einer Wellenlänge von 265nm, da bei dieser Wellenlänge die größte Energie von der DNS absorbiert wird. Diese hohe Energieaufnahme der DNS hat zur Folge, dass die DNS geschädigt wird. Durch diese Schädigung bricht der Stoffwechsel der Zelle zusammen und die Zelle stirbt ab. Die durch die UV-Strahlung übertragene Energie wird als Bestrahlung bezeichnet. Die Bestrahlung ist ein wichtiger Parameter in der UV-Desinfektion, da sich mit dieser die Steuerung der Desinfektion ermöglicht.

Das DVGW (Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V.) Arbeitsblatt W294-1 sieht eine Mindestbestrahlung von 400J/m<sup>2</sup> vor. Diese Bestrahlung begründet sich auf den unterschiedlichen Sensitivitäten der Mikroorganismen. Die *Tabelle 7* zeigt die UV-Sensitivität verschiedener, im Trinkwasser relevanter Keime, bei einer Inaktivierung um 99,99%.

**Tabelle 7:** Erforderliche UV-Bestrahlung für 99,99% Inaktivierung

Mikroorganismus	Bestrahlungsdosis [J/m <sup>2</sup> ]
Enterokokken	160 – 240
E.Coli (wild isolate)	120 – 400
Coliforme Bakterien	200 – 240
Salmonellen	160 – 320
Cholera vibrionen	80 – 200
Hepatitis A Virus	160
Polio Virus 1-3	120 – 480
Rotaviren	240 – 360
Bacillus subtilis, vegetativ (nicht pathogener Testkeim für UV-Anlagen)	240 – 320

Bei unzureichender Bestrahlung kann es dazu kommen, dass die DNS stark, aber nicht ausreichend geschädigt wird. Dies hat zur Folge, dass die Zellteilung verhindert wird aber die Zelle nicht abstirbt. Die Desinfektionsleistung wird dadurch gemindert. Dieser Effekt kann

verschiedene Ursachen haben. Die Lichtstreuung und der Schattenwurf können Gründe für eine nicht ausreichende Desinfektion sein. Sollte das zu behandelnde Wasser eine zu hohe Konzentration an Trübstoffen oder zusammengelagerte Mikroorganismen enthalten, wird die UV-Strahlung abgelenkt oder absorbiert. Dies hat zur Folge, dass die Energiedosis über den gesamten Bestrahlungsraum nicht eingehalten wird.

Die laut §11 TrinkwV2001 geforderte Strahlungs-dosis von  $400 \text{ J/m}^2$  kann nur indirekt über das Kennwertepaar Verweilzeit und Bestrahlungsstärke im Bestrahlungsraum bestimmt werden. Um die Verweilzeit im Bestrahlungsraum zu bestimmen, kann der Volumenstrom gesteuert werden. Der maximale Durchfluss kann hydraulisch z.B. über die maximale Fördermenge, oder über eine Durchflusssteuerung geregelt werden. Die Bestrahlungsstärke gibt Aufschluss darüber ob die Desinfektionseinheit ihre Funktion erfüllt.

### **Ultraschall**

Die Ultraschall-Reinigung beruht auf dem Prinzip der Kavitation. Durch die raschen Folgen von Druckerhöhung und Druckabfall werden gelöste Gase extrahiert (Kavitationsphänomen) und die Zellwände von Mikroorganismen mechanisch überstrapaziert. Dies führt zur Ruptur der Zellwände und zur Zerstörung der Zellen, sprich zur Plasmolyse [Schütt-Abraham 1992, Böhm 2002]. Im Gegensatz zur Wärmebehandlung überwiegt hier die Zerreißung von Zellhüllen und -membranen.

Der Kavitationseffekt ist abhängig von der Energie (Amplitude) und weniger von der Frequenz der Schallwellen sowie von der Beschallungsdauer. Die Intensität von Ultraschallwellen verhält sich direkt proportional zu ihrer Amplitude [Berliner 1984]. Je höher diese ist, umso größer sind die Kavitationsbläschen und die Zone, in der eine Flüssigkeit Kavitationsreaktionen zeigt.

Es gibt eine vorübergehende (transiente) und eine beständige Kavitation. Die transiente Kavitation verursacht an eng lokalisierten Punkten hohen Druck und hohe Temperaturen, während die beständige Kavitation Kräfte freisetzt, welche gegen die Oberfläche der Zellen reiben und den Zelluntergang verursachen (Mikroströmung) [Leadley / Williams 2001].

Durch das Prinzip des „elektronischen Bürstens“ reinigt Ultraschall in wenigen Minuten und ist wirksamer als jede manuelle Säuberung. Gleichzeitig ist dieses Prinzip schonend, da mechanische Schädigungen vermieden werden. Beim gleichzeitigen Einsatz von chemischen Zusätzen zur Reinigungsflüssigkeit reduziert sich die Reinigungszeit um 90%. Je nach Verschmutzung beträgt sie wenige Sekunden bis einige Minuten.

Sind Desinfektionswirkstoffe in der Reinigungsflüssigkeit enthalten, so werden sie durch die Ultraschallmikroströmungen ständig an die zu inaktivierenden Keime herangeführt. Kavitationsbläschen entstehen auch an schlecht zu erreichenden Stellen und entfalten dort ihre Reinigungskraft.

Bei Viren wirkt der Kavitationseffekt nur unzureichend, da Viren aufgrund ihrer nichtzellulären Struktur nicht in nennenswertem Umfang inaktiviert werden. Deutlichen Erfolg hat das Kavitationsphänomen jedoch bei Bakterien-, Hefe- und Pilzzellen, wobei Empfindlichkeitsunterschiede bestehen. Kokken und Sporen sind mehr oder weniger unempfindlich, ebenso Mykobakterien. Die vegetativen Formen anderer stäbchenförmiger

Bakterien sowie der Hefen und Pilze werden dagegen relativ rasch und leicht zerstört [Böhm 2002].

Einen bedeutenden Einfluss auf die Wirksamkeit der Ultraschallbehandlung hat auch die Temperatur der beschallten Lösung. Da Verschmutzungen in erwärmten Flüssigkeiten schneller entfernt werden, verkürzen erwärmte Reinigungsflüssigkeiten die Reinigungszeit. Mit der Temperatur korrelieren verschiedene Eigenschaften der Flüssigkeit, wie Dampfdruck, Viskosität und Oberflächenspannung. Ändern sich diese Eigenschaften, ändert sich auch der Kavitationseffekt [Raso 1998].

Die Stärke der durch Ultraschall entstehenden Kavitation wird über die eingebrachte Energie beeinflusst. Durch Einstellen der Schallstärke und Dauer der Behandlung, verändert sich die desinfizierende Wirkung. Somit ist eine Kontrolle der Desinfektionswirkung möglich.

### **Thermische Desinfektion**

Hohe Temperaturen bewirken Denaturierungen der Proteine, dabei können reversible und irreversible Schäden auftreten, die die Zellfunktionen stören oder gar zum Zelltod führen.

Bei der thermischen Desinfektion werden der Warmwasseraufbereiter und das gesamte Leitungsnetz inklusive der Entnahme-Armaturen für mindestens drei Minuten auf mehr als 71°C erwärmt. Eine periodische bei vollem Desinfektionsvolumenstrom mit anschließender Kühlung durch nachströmendes Kaltwasser lässt eine sichere legionellenfreie Versorgung von Warmwasserverteilungssystemen zu. Allerdings bereitet der - je nach Region ab 60 °C entstehende - Ausfall von Kalk große Probleme im Rohrnetz, abhängig vom verwendeten Rohrwerkstoff. Als problematisch erweisen sich hier zum Beispiel verzinkte Eisenwerkstoffe.

### **Pulsierende Elektrische Felder (PEF)**

Durch ein elektrisches Feld, das in der Regel durch einen schnell entladenden Kondensator erzeugt wird, werden in der behandelten Zellmembran mikroskopisch kleine Löcher erzeugt, die sich innerhalb von Millisekunden wieder schließen. [Zimmermann 1974, Neumann 1972]

Elektroporation kann auch zur Abtötung von Mikroorganismen verwendet werden. Dabei werden die Löcher in der Zellmembran so weit geöffnet, dass ein wiederkehrendes Schließen unmöglich gemacht wird.

Das Institut für Mikrobiologie in Hannover behandelte eine Suspension mit gramnegativen Bakterien (E.coli) mit mehreren gepulsten elektrischen Feldern (20kV/cm; 1-3µs; ca.10Pulse; Pulsrate ≈ 1Hz) und erzielte eine Abtötungsrate von 99,99% ohne dabei die Probe relevant zu erwärmen. Die hohe Abtötungsrate sollte immer erreicht werden, damit eine Wiederverkeimung bestens vermieden werden kann. Somit wäre auch eine kurzzeitige Deponierung des behandelten Wassers möglich.

### **Metall-Ionen-Beschichtung (Nano-Silber)**

Die bakterizide Wirkung von Silber beruht darauf, dass sich die Silber-Ionen sehr fest an bakterielle Proteine der Zellmembran binden und diese dadurch inaktivieren oder ausfällen.

Dieses Verfahren ist wartungsarm und es müssten keine extra Module integriert werden. In der Medizintechnik wird es angewendet, indem bestimmte medizinische Geräte (z.B.

Skalpelle) oder Flächen, die unter Verdacht der Verbreitung von Bakterien und Krankheitserregern stehen, mit Silber-Ionen beschichtet werden.

Derzeit befindet sich die Nanotechnologie noch in den Startlöchern. Der B.U.N.D. sieht die Entwicklung sehr kritisch, da es zurzeit noch keine gesetzlichen Normen speziell für Nano-Silber gibt. Zudem wurden noch keine Langzeitstudien über Nano-Silber geführt. Daher kann über den Abrieb und der Lebensdauer keine genauen Aussagen getroffen werden.

Mit Nano-Silber allein kann keine desinfizierende Wirkung erreicht werden. Nano-Silber hat „nur“ eine antibakterielle Wirkung und entfaltet diese, wenn die Bakterien direkt mit den Nanopartikeln in Berührung kommen. Dadurch kann also eine vollkommene Desinfektion des Wassers nicht gewährleistet werden. Nanosilber wird nach der Trinkwasserverordnung auch nicht als zulässiges Desinfektionsverfahren/mittel gelistet.

#### **1.2.4. Produktlösungen**

Nachfolgend sind die Produktlösungen diverser Hersteller erläutert und zusammengefasst. Diese sind unterteilt in den verschiedenen Desinfektionsmethoden (Ozonung, Filtration, UV-Bestrahlung). Dabei wurden zahlreiche Kriterien, wie z.B. Realisierung, Gefahrenpotential, Nutzbarkeit und Kosten berücksichtigt.

##### EDIS

Das Edis-Verfahren ist ein Elektrolyseverfahren. Es arbeitet weder mit Strahlung noch mit Zusatz von Chemikalien. Hier werden mit Hilfe von Chemikalien die durch Elektrolyse erzeugt werden, Bakterien, Algen, Viren und andere Mikroorganismen abgetötet. Dabei nutzt das Edis-Verfahren Inhaltsstoffe des Wassers

Die Desinfektionswirkung liegt bei 99,99% (100% sind biologisch nicht möglich). Umso höher die angelegte Spannung ist, desto höher die Desinfektionswirkung. Zudem benötigt die Edis Einheit einen sehr geringen Platz und kann daher problemlos in bestehende Wassersysteme integriert werden.

Kalkablagerungen werden verhindert, da sich die Elektroden selbst reinigen und Kalk automatisch entfernt wird. Ein Edis-System muss einmal im Jahr gewartet werden. Nach ca. 20.000 Betriebsstunden, dies hängt von der angelegten Spannung ab, sollten die Elektroden ausgetauscht werden. Außerdem ist zu beachten, dass sich eine kleine Menge an Wasserstoff und Sauerstoffgas bildet. Daher ist hier auf eine Zwangsentlüftung zu achten (da es sonst zu einer Knallgasreaktion kommen kann).

##### CONDIAS

Das Verfahren von *Condias* arbeitet ebenfalls mit Elektrolyse, durch spezielle Elektroden wird Ozon erzeugt, mit dem das Wasser in einer Mischkammer desinfiziert wird. Besonderheit: Die Elektrode ist diamantbeschichtet. Das Verfahren wurde ausführlich in dem vorangegangenen Projekt LuFo IV-1 (Desinfektion am Point-of-Use) untersucht.

##### INNOVATEC II

Bei diesem System wird das Ozon mittels einer Ozon-Micro-Zelle gebildet. Das zu behandelnde Wasser ist hierbei gleichzeitig auch der Betriebsstoff. Es werden keinerlei

Zusatzstoffe benötigt. Für die Ozonerzeugung genügt allein die elektrische Energie, mit welcher das Zellherz versorgt wird. Je nach Wasserqualität (Wasserhärte), erfolgt nach einiger Zeit ein Zellherztausch. Dieser geschieht, wie ein Batteriewechsel, mit wenigen Handgriffen. Die Zellherzen sind als Kosten sparende Einwegteile im Set erhältlich.

Bei der Ozon-Micro-Zelle handelt es sich um eine Komponente, welche sich in diverse Geräte, Apparate- und Anlagenkonzepte integrieren lässt. Die Ozon-Micro-Zelle stellt somit die Ozonerzeugereinheit dar, welche aus einer externen, bauseitig vorzusehenden Stromversorgung versorgt wird (z.B. Steckernetzteil, o.ä.). Die Stromversorgung nach Spezifikation kann durchaus integraler Geräte- bzw. Apparatebestandteil sein. Die Ozon-Micro-Zelle kann mit Hilfe ihrer beiden G 3/8“ Außengewinde z.B. in ein Behältnis eingeschraubt oder auf einer Rohrlanze aufgeschraubt werden und ist dann über Stecker und Kabel mit der entsprechenden Stromversorgung verbunden. Weitere Applikationsformen wie z.B. T-Stücke in einer wasserführenden Rohrleitung sind ebenfalls möglich.

#### KATADYN-FILTRATION

Es handelt sich um ein patentiertes Verfahren nach G.A. KRAUSE (München 1928; Katadyn GmbH). Bei dieser Desinfektionsmethode wird das sogenannte Katadyn-Silber (Silberkolloid) genutzt. Heutzutage wird dies mit Silberbeschichtung in Keramikfiltern hocheffizient verwirklicht. Die antimikrobiologische Wirkung ist auf den oligodynamischen Effekt zurückzuführen. Silber tötet in bestimmter Konzentration - als Lösung oder Beschichtung - Mikroorganismen ab. Fristgerechtes Wechseln der Kartusche ist erforderlich.

#### ULTRAFILTRATION

Die Firma *Kuhfuss* bietet eine interessante Möglichkeit der Desinfektion an. Hierbei sei aber schon vorab gesagt, dass das Verfahren bis jetzt nur auf Duschsysteme angewandt wird. Hier wird eine Ultrafiltrationsmembran (0,01 – 0,03 µm) ins Rohrsystem integriert. Diese können Mikroorganismen nicht durchqueren. Die gefangenen Keime werden in bestimmten Intervallen durch eine Rückspülung, die durch Magnetventile gesteuert wird, ausgespült.

#### VERSA PURE

Versa-Pure der Firma *General Ecology, Inc.* basiert auf der Mikrofiltration. Die wirbt die Firma mit 30 jähriger Erfahrung. Versa Pure wird nach Hersteller Angaben in vielen Flugzeugsystemen eingesetzt.

#### IWG-WATER GUARD

Die Firma *IWG-International* vertreibt das UV Bestrahlungsgerät *Water-Guard*.

Zudem wird an der HAW Hamburg Fakultät Life Science, Department Medizintechnik an einem Prototyp zum Thema UV-Desinfektion geforscht. Der wesentliche Unterschied zu den bereits verfügbaren UV-Desinfektionsprodukten ist die Umsetzung mittels UV-LEDs. Diese sind genau auf den effektiven Wellenbereich (265nm) ausgelegt.

### **1.2.5. Beschichtungstechniken**

Im Rahmen der Marktrecherche zur Desinfektion mittels Innenbeschichtung der wasserführenden Leitungen (Nano-Silber) wurden verschiedene Beschichtungstechniken analysiert. Auf die dazugehörigen Details wird nachfolgend näher eingegangen.

Darüber hinaus bietet der Badausstatter *hansgrohe* Brause-/Duschkäulen (Isiflex) mit antimikrobieller Wirkung an. Auf Anfrage bestätigte *hansgrohe* die Verwendung von Nano-Silber, welche mittels eines „Dampfverfahrens“ auf die Schlauchinnenwände benetzt werden. Mit diesen Brause-/Duschkäulen wurde im weiteren Verlauf des LuFo IV.2-Projektes die Wirkung von Nano-Silber auf die Biofilmbildung untersucht.

### **Sol-Gel-Technik**

Die Einbettung in Beschichtungen und Werkstoffe erfolgt mittels nasschemischer Methoden. Durch Reaktionen von siliziumhaltigen Verbindungen wird ein Netzwerk geschaffen. Dessen Eigenschaften sind von der Wahl des Ausgangsmaterials abhängig. Es kann zwischen den Extremen glasartig und kunststoffartig liegen. In eine so erhaltene Beschichtungsmatrix können mit den Verfahren der chemischen Nanotechnologie Nanopartikel eingebettet werden. [www.fraunhofer.de]

### **Plasmabeschichtung**

Die Silberionen können mit Hilfe von Plasmatechnik auf die Rohrinnefläche aufgetragen werden. Werkstücke aller Art werden mit dünnen Schichten überzogen. Die Schichten werden unter Einwirkung einer elektrischen Spannung aus einem Plasma extrahiert.

Plasma erhält man bei sehr geringem Druck, daher wird es in der Literatur Niederdruck-Plasmatechnik genannt. Laut diversen Herstellerangaben ist die Plasmabehandlung bei allen Substratmaterialien anwendbar. Mit der Niederdruck-Plasmatechnik können Oberflächen verschiedenster Materialien aktiviert, gereinigt und beschichtet werden. [Goldstone 1998]

### **Email-Beschichtung**

Die *Firma Düker* hat einen Prototyp entwickelt, bei dem die Innenfläche eines Rohres mit einem silberdotierten Email beschichtet ist. Ob die Rohre einen Mindestdurchmesser haben müssen, beantwortet die *Firma Düker* folgendermaßen: „Die Frage nach einem Mindestdurchmesser ist nicht festgelegt, aber auch nicht abschließend geprüft.“ (Zitat: Rüdiger Werner, Entwicklungsleiter bei der *Firma Düker*). Über dem Abrieb kann bzw. möchte die *Firma Düker* noch keine Aussagen tätigen. Allgemein, so die *Firma Düker*, lässt sich nur sagen, dass der Abrieb von Email sehr gering ist. Folgende Aussage wurde von Herrn Rüdiger Werner getätigt: „Wir haben keine Nanobeschichtung auf unserer Oberfläche, sondern in unserer Emailbeschichtung, die von ca. 0,3mm bis 1,2mm je nach Anwendung eingesetzt wird, eine Möglichkeit entwickelt, wie wir darin eine biofilmbremmende Wirkung erzielen können.“ (Zitat: Rüdiger Werner, Entwicklungsleiter bei der *Firma Düker*).

### **Sterione**

Neben der Möglichkeit durch Nano-Silber eine antibakterielle Wirkung zu erzielen, gibt es noch die Möglichkeit diese Wirkung durch „Sterione“ zu erreichen. Die Firma *SteriOne GmbH & Co.KG* vertreibt antibakterielle Additive. Die Sterione sind laut Hersteller ein nanoskaliger Komplex, welcher ein Molekularkomplex mit Trägerstoffen, Ionenemittenten und Katalysatoren ist. Laut Hersteller bilden Sterione kontinuierlich Silberionen, diese Ionen beeinflussen den Stoffwechsel von Bakterien. Im Gegensatz zu Nanosilber „sollen“ Sterione länger wirken, da nach Angaben des Herstellers Sterione im Gegensatz zu Nanometallen nicht aus dem Trägermaterial entweichen können. [www.sterione.com]

### 1.2.6. Herstellerübersicht

**Tabelle 8:** Kontaktdaten der Beschichtungsfirmen

Nr.	Hersteller	Modell	Ansprechpartner
1	ras materials Office Nussbergerstr. 6b 93059 Regensburg	AgPURE™ – Nanosilver Funktionswäsche	Tel. +49 (0) 941-60 717 42
2	Bio-Gate AG Fahrenheitstraße 11 28359 Bremen	HyProtect™ Plasmabeschichtungen	Kai Lampe (Projekt Manager) Kai.Lampe@bio-gate.de
3	nanoCoating GmbH Zweigertstr. 12 45130 Essen	Sol-Gel-Technik (noch in der Entwicklung)	info@nanoCoating.de
4	Düker GmbH & Co. KG TE Technisches - Email Hauptstraße 39-41 63846 Laufach	Email-Beschichtung	Rüdiger Werner (Entwicklungsleiter)
5	SteriOne GmbH & Co.KG Postfach 380121 14111 Berlin	antibakterielle Additive Medizintechnik Klima- u. Gebäudetechnik	info@sterione.com
6	Hansgrohe Vertriebs GmbH (D) Austr. 5-9 77761 Schiltach	Bedampfung Duschschlauch <i>Isiflex</i>	Tel.: +49 7836 51-0 (Weiterleitung an den Kundenservice) Steffen Erhardt, Jan Heisterhagen

### 1.3. Sensorik

Die Bedienung der Wasserabgabe soll durch zuverlässige Sensoren zur Wasser- und Temperaturregulation realisiert werden, die auch zur Reduzierung des Wasserbedarfes beiträgt. In Zukunft könnten Optionen für berührungsfreie Sensoren wünschenswert sein, um das Kontaminationsrisiko von Mensch zu Mensch zu verringern.

Grundsätzlich wird zwischen berührungssensitiven und berührungslosen oder Näherungssensoren unterschieden. Erstere sollen nur dann Signale abgeben, wenn sie mit einer gewissen Kraft berührt bzw. gedrückt werden. Dabei spielt insbesondere der Aspekt der haptischen Rückmeldung eine wichtige Rolle.

Der entscheidende Vorteil von berührungslosen Sensoren ist die verringerte Kontamination und Übertragungsgefahr von Passagier zu Passagier, die im WC-Bereich, insbesondere für Fäkalkeime eine Rolle spielen kann. Als nachteilig kann sich insbesondere eine gewisse Unsicherheit bei der Bedienung herausstellen, wenn die vom Passagier angeforderten Parameter (z.B. Wasserfluss oder Temperaturänderung) erst mit Verzögerung eintreten. Neben der technischen Bewertung verschiedener Sensoren und Bedienkonzepte ist daher auch eine Bewertung der Funktionalität unterschiedlicher Konzepte nötig.

#### 1.3.1. Übersicht der Sensorik

Die Sensoren sind nach ihrem Funktionsprinzip geordnet beschrieben. In *Tabelle 9* werden zunächst die Infrarotsensoren dargestellt, welche für die Handerkennung und berührungslose Temperatursteuerung ausgewählt wurden. Es folgt ein Ultraschallsensor, der zur Handerkennung dienen soll. Die nicht-berührungslosen Schalter zur Temperaturregelung sind in den letzten beiden Spalten aufgelistet.

Tabelle 9: Übersicht der Sensorik

Typ	Infrarot – Bewegungssensoren						Ultraschall	Berührungssensoren	
Name	Sharp GP2D150A	Sharp GP2Y0D810Z0F	Sharp GP2Y0A41SK0F	HSDL 9100-021	Sharp - GP2Y0 AH01K-Y001F	PIC-PS200 R50	UPL 200 FIPS 24C	EVK 1010A	Piezo Signalgeber
Abbildung									
Hersteller/ Marke	Sharp	Sharp	Sharp	Avago	Sharp	Kondenshi	Sonarrange	Atmel	K.-H. Mauz
Reichweite	4-30 cm	2-10 cm	4-30 cm	0-6 cm	4,5-6 mm	1-12 mm	20 cm	-	-
Ausgangssignal	digital	digital	analog	analog	analog	digital	digital	digital	analog
Umschaltdistanz	15 ± 2,5cm	10 ± 3cm	-	-	-	2 - 10 mm	20 cm	-	-
Stromaufnahme	33 mA	5 mA	12 mA	100 mA	20 mA	40 mA	max. 100 mA	17µA bei 1,8V	n/a
Betriebsspannung	4,5 - 5,5 V	2,7 - 6,2 V	4,5 - 5,5 V	5 V	5 V	5 V	12 - 28V DC	1,8 - 5,5 V	5 - 18 V
Durchmesser	-	-	-	-	-	-	M30	-	15 mm
Länge	37 mm	14 mm	37 mm	7 mm	37 mm	44 mm	59 mm	54 mm	-
Breite	19 mm	7 mm	19 mm	3 mm	19 mm	10 mm	-	37 mm	-
Höhe	14 mm	8 mm	14 mm	3 mm	14 mm	12 mm	-	3 mm	0,2 mm
Preis	26,20 €	15,69 €	20,37€	2,15 €	20,47 €	15,14 €	172,84 €	10 €	0,23 €

## 2. Arbeitspaket WP 0-2: Interface Analyse

In diesem Arbeitspaket wurden die Schnittstellen des Systems „Wasserhahn“ zu anderen Systemen des Flugzeuges analysiert. Diese umfassen sowohl die elektrischen Schnittstellen, als auch die mechanischen, wie z.B. die Schnittstelle zu einem Waschtisch oder der Rückwand zu einem Toiletten-Modul.

Hauptaufgabe der Interface Analyse ist es, das Produkt möglichst breit, d.h. Flugzeugmuster und Flugzeughersteller übergreifend, anwendbar zu machen. Darüber hinaus wurden die systeminternen Schnittstellen analysiert und festgelegt, um einen möglichst modularen und flexiblen Aufbau des zu entwickelnden Produktes darstellen zu können.

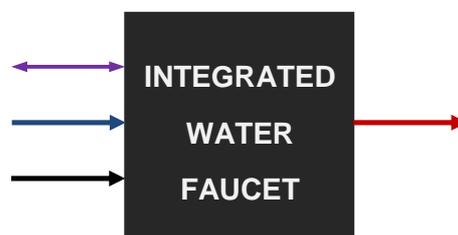


Abbildung 2: Black-Box-Prinzip

Bei der Analyse der systemrelevanten Schnittstellen bietet sich die Black-Box-Methode an. Hierbei wird das System „Wasserhahn“ als Black-Box dargestellt und nur die Eingangs- und Ausgangsgrößen definiert. Alle Vorgänge innerhalb des Systems sind für die Analyse der Schnittstellen unerheblich.

### 2.1 Interface-Spezifikation der externen Schnittstellen

Für die schematische Analyse der Schnittstellen zu anderen Systemen des Flugzeugs wird das System „Wasserhahn“ mittels der Black-Box-Methode, wie in Abbildung 3 dargestellt, gegliedert.



Abbildung 3: Darstellung der externen Schnittstellen

Die externen Schnittstellen des Systems „Wasserhahn“ zu anderen Systemen des Flugzeugs sind über die Zustandsgrößen definiert. Die Analyse umfasst sowohl die elektrischen, als auch die mechanischen Schnittstellen. Die Ein- und Ausgangsgrößen sind durch nummerierte Kreise gekennzeichnet und in *Tabelle 10* definiert.



folgenden Abbildungen dargestellt. Anhand der Darstellungsvariante lassen sich die internen Schnittstellen übersichtlich und schematisch analysieren/definieren.

### 2.2.1 Heizeinheit (Heater)

Die Heizeinheit innerhalb des Gesamtsystems „Wasserhahn“ hat die wesentlichen Aufgaben, dass Kaltwasser aus dem Wassertank aufzubereiten und die Bereitstellung des benötigten Heißwasser zu gewährleisten. Außerdem dienen zusätzliche Funktionen wie Eigensicherung (Füllstandskontrolle) und Datenkopplung der Sicherheit und dem Informationsaustausch innerhalb des Gesamtsystems „Wasserhahn“.

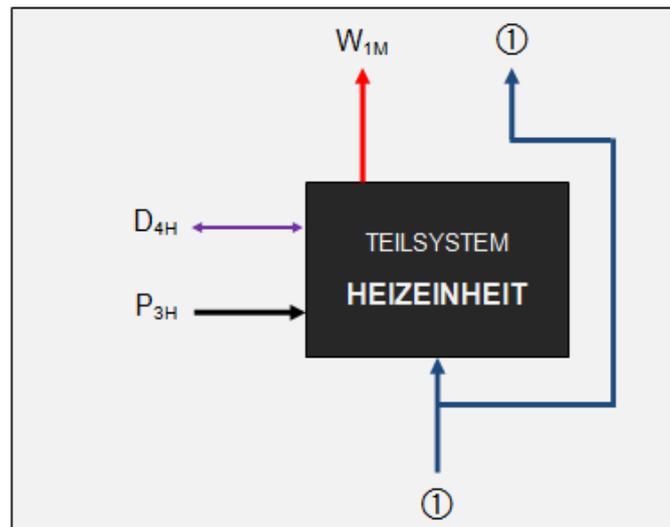


Abbildung 5: Schnittstellen der Heizeinheit

Die Analyse der Schnittstellen der Heizeinheit erfolgte in drei Schritten. Zunächst wurde die interne Schnittstelle der Wasserversorgung definiert. Anschließend die Schnittstelle der Strom- und Spannungsversorgung, sowie des Daten- und Informationsflusses.

Tabelle 11: Schnittstellen der Heizeinheit

Nr.	Interface/Schnittstelle	Kriterien	
①	Wasserzufuhr (Flugzeug)	Temperatur:	≈10°C (Kaltwasser)
		Druck:	2,8bar (Betriebsdruck)
W <sub>1M</sub>	Wasseraufbereitung (Mischeinheit)	Temperatur:	min. 40°C (bis 50°C)
		Druck:	2,8bar (Betriebsdruck)
P <sub>3H</sub>	Strom-/Spannungsversorgung (Flugzeug)	Spannung:	115V AC
		Strom:	max. 3,47A (= 400W/115V)
D <sub>4H</sub>	Daten-/Informationen (Control Unit)	Input:	ON/OFF
		Output:	Fehler-/Rückmeldung Funktionskontrolle

## 2.2.2 Mischeinheit (Mixer)

Innerhalb des Gesamtsystems „Wasserhahn“ hat die Mischeinheit die Aufgabe, das aus der Heizeinheit bereitgestellte Heißwasser mit dem Kaltwasser aus dem Flugzeug (Wassertank) zu mischen. Das Mischungsverhältnis wird durch das Bedienelement am Wasserhahn geregelt. Hieraus ergeben sich weitere Funktionen, wie z.B. der Informationsaustausch.

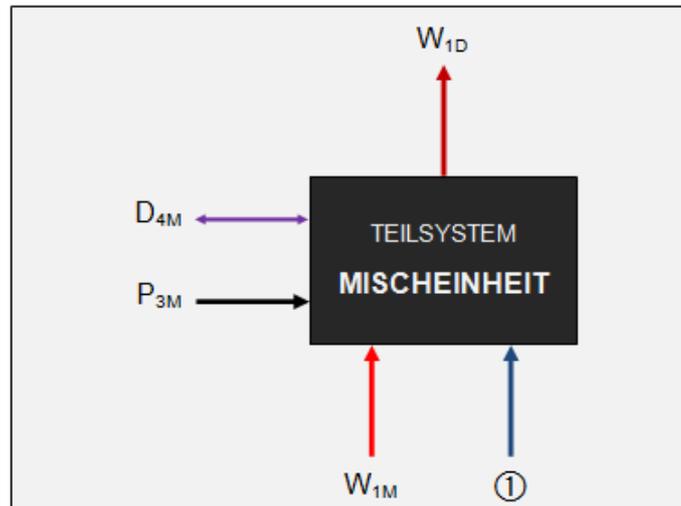


Abbildung 6: Schnittstellen der Mischeinheit

Die Analyse der Schnittstellen der Mischeinheit erfolgte in drei Schritten. Zunächst wurde die interne Schnittstelle der Wasserversorgung definiert. Anschließend die Schnittstelle der Strom- und Spannungsversorgung, sowie des Daten- und Informationsflusses.

Tabelle 12: Schnittstellen der Mischeinheit

Nr.	Interface/Schnittstelle	Kriterien	
①	Wasserzufuhr (Flugzeug)	Temperatur:	≈10°C (Kaltwasser)
		Druck:	2,8bar (Betriebsdruck)
W <sub>1M</sub>	Wasserzufuhr (Heizelement)	Temperatur:	min. 40°C
		Druck:	2,8bar (Betriebsdruck)
W <sub>1D</sub>	Wasseraufbereitung (Desinfektionseinheit)	Temperatur:	10°C – 40°C
		Druck:	2,8bar (Betriebsdruck)
P <sub>3M</sub>	Strom-/Spannungsversorgung (Control Unit)	Spannung:	28V DC
		Strom:	max. 0,714A
D <sub>4M</sub>	Daten-/Informationen (Control Unit)	Input:	Eingabetemperatur Heiß- & Kaltwassertemperatur
		Output:	Austrittstemperatur Fehler-/Rückmeldung

### 2.2.3 Desinfektionseinheit

Die Desinfektionseinheit hat innerhalb des Gesamtsystems „Wasserhahn“ die Aufgabe, die Keimanzahl im temperierten Wasser unter die geforderten Grenzwerte zu reduzieren. Eine Datenkopplung, welche Auskunft über den korrekten Betrieb der Desinfektionseinheit gibt, ist eine weitere Funktion. Als Sicherheit wäre ein zusätzlicher Aktivierungs-Schutz z.B. bei zu hoher Ozon-Konzentration sinnvoll, jedoch ist dieses Nachweisverfahren sehr aufwendig.

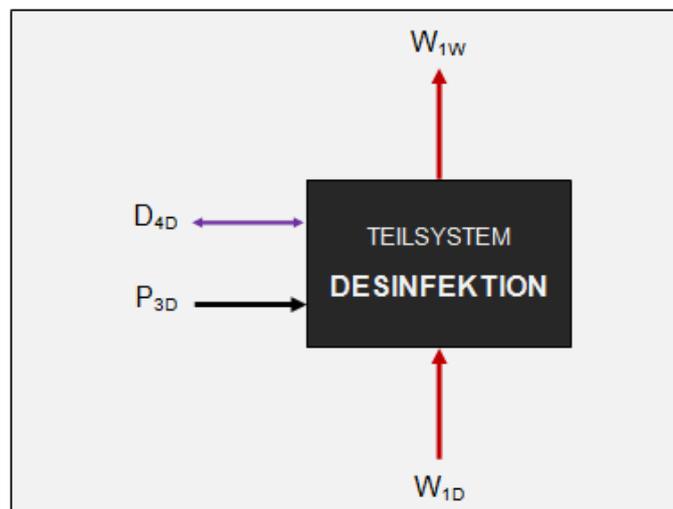


Abbildung 7: Schnittstellen der Desinfektionseinheit

Die Analyse der Schnittstellen der Desinfektionseinheit erfolgte in drei Schritten. Zunächst wurde die interne Schnittstelle der Wasseraufbereitung definiert. Anschließend erfolgte die Analyse der Schnittstelle der Strom- und Spannungsversorgung, sowie des Daten- und Informationsflusses.

Tabelle 13: Schnittstellen der Desinfektionseinheit

Nr.	Interface/Schnittstelle	Kriterien	
W <sub>1D</sub>	Wasserzufuhr (Mischeinheit)	Temperatur:	10°C – 50°C
		Druck:	2,8bar (Betriebsdruck)
W <sub>1W</sub>	Wasserentnahme (Wasserhahn)	Temperatur:	20°C – 40°C (Temp-Bereich)
		Druck:	Strahlregler/Perlator
P <sub>3D</sub>	Strom-/Spannungsversorgung (Control Unit)	Spannung:	6V DC
		Strom:	≈200mA
D <sub>4D</sub>	Daten-/Informationen (Control Unit)	Input:	Passagier betritt die Toilette Aktivierung
		Output:	Status. ON/OFF Desinfektionswirkung Fehler-/Rückmeldung

## 2.2.4 Wasserhahn (Water Faucet)

Innerhalb des Gesamtsystem „Wasserhahn“ hat der generelle Wasserhahn die Aufgabe, das temperierte und aufbereitete Wasser dem Passagier zur Verfügung zu stellen. Daraus ergeben sich natürlich weitere Funktionen. Der Wasserhahn ist Eingabebeschnittstelle (Bedienelement) für den Passagier. Durch ihn erfolgen die Auslösung des Wassers und die Eingabe der gewünschten Temperatur. Die Regelung der Temperatur erfolgt in der Mischeinheit bzw. in der Control Unit. Eine Rückmeldung über den korrekten Betrieb des Wasserhahns sowie des Gesamtsystems ist nicht berücksichtigt, könnte jedoch optional integriert werden.

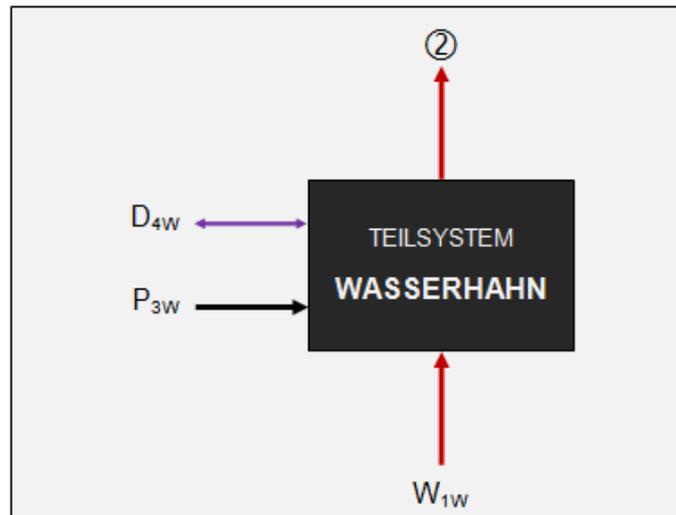


Abbildung 8: Schnittstellen des Wasserhahns

Die Analyse der Schnittstellen des Wasserhahns erfolgte in drei Schritten. Zunächst wurde die interne Schnittstelle der Wasserleitung definiert. Anschließend erfolgte die Schnittstellenanalyse der Strom- und Spannungsversorgung, sowie des Daten- und Informationsflusses.

Tabelle 14: Schnittstellen des Wasserhahns

Nr.	Interface/Schnittstelle	Kriterien	
$W_{1W}$	Wasserzufuhr (Desinfektionseinheit)	Temperatur:	max. 40°C
		Druck:	2,4bar (Betriebsdruck)
②	Wasserentnahme (Passagier)	Temperatur:	20°C – 40°C (Temp-Bereich)
		Druck:	Strahlregler/Perlator
$P_{3W}$	Strom-/Spannungsversorgung (Control Unit)	Spannung:	5V DC
		Strom:	mA-Bereich (Sensoren)
$D_{4W}$	Daten-/Informationen (Control Unit)	Input:	Passagier betritt die Toilette
		Output:	Temperatur (Eingabe/Austritt) Auslösung/Aktivierung Wassermenge (Water Flow)

## 2.2.5 Steuerungs-/Regelungseinheit (Control Unit)

Innerhalb des Gesamtsystems „Wasserhahn“ hat die Steuerungs- und Regelungseinheit die Aufgabe, die Sicherstellung der jeweiligen Subsysteme mit der entsprechenden Strom- und Spannungsversorgung. Außerdem erfolgt die Umwandlung der Informationen und Daten der einzelnen Systemkomponenten in Steuersignale sowie deren systematische Weiterleitung.

Anders als bei anderen Gesamtsystemlösungen wird hier lediglich der Wasserhahn selbst und optional die Desinfektionseinheit mit einer Spannung durch die Control Unit versorgt. Die Heizeinheit bildet ein eigenständiges System, welches nur Informationen an die Control Unit weitergibt.

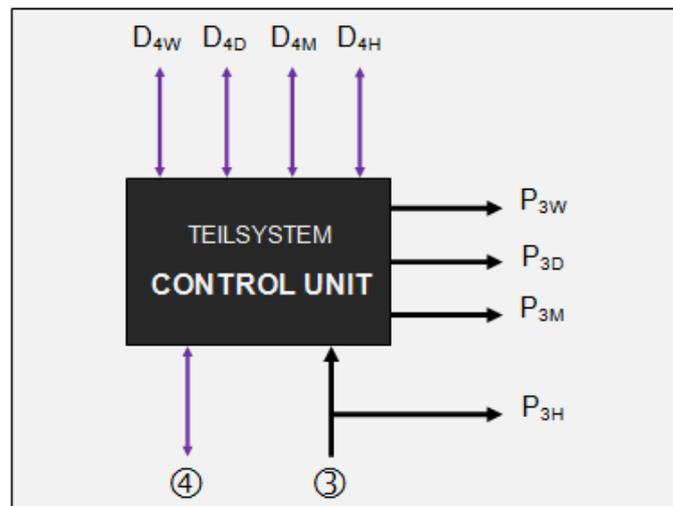


Abbildung 9: Schnittstellen der Control Unit

Die Analyse der Schnittstellen der Control Unit erfolgte in zwei Abschnitten. Zunächst wurden die internen Schnittstellen der jeweiligen Strom- und Spannungsversorgung der Teilsysteme innerhalb des Gesamtsystems definiert.

Tabelle 15: Schnittstellen der Control Unit (Strom-/Spannungsversorgung)

Nr.	Interface/Schnittstelle	Kriterien	
③	Strom-/Spannungsversorgung (Flugzeug)	Spannung:	115V / 400Hz (AC) – 28V DC
		Strom:	n/a
P <sub>3H</sub>	Strom-/Spannungsversorgung (Heizeinheit)	Spannung:	115V / 400Hz / min. 400W
		Strom:	max. 3,47A (= 400W/115V)
P <sub>3M</sub>	Strom-/Spannungsversorgung (Mischeinheit)	Spannung:	28VDC
		Strom:	max. 0,714A
P <sub>3D</sub>	Strom-/Spannungsversorgung (Desinfektionseinheit)	Spannung:	20V
		Strom:	≈2A
P <sub>3W</sub>	Strom-/Spannungsversorgung (Wasserhahn)	Spannung:	5V DC
		Strom:	mA-Bereich (Sensoren)

Nachdem die Schnittstellen der Strom- und Spannungsversorgung definiert wurden, erfolgte die Analyse des Daten- und Informationsfluss innerhalb des Gesamtsystems „Wasserhahn“.

**Tabelle 16:** Schnittstellen der Control Unit (Daten-/Informationsaustausch)

Nr.	Interface/Schnittstelle	Kriterien	
④	Daten-/Informationen (Flugzeug)	Input:	Status: AN/AUS (Aktivierung)
		Output:	Fehler-/Rückmeldung
D <sub>4H</sub>	Daten-/Informationen (Heizeinheit)	Input:	ON/OFF
		Output:	Fehler-/Rückmeldung Füllstandanzeige (min./max.) Funktionskontrolle
D <sub>4M</sub>	Daten-/Informationen (Mischeinheit)	Input:	Austrittstemperatur Heiß- & Kaltwassertemperatur
		Output:	Fehler-/Rückmeldung
D <sub>4D</sub>	Daten-/Informationen (Desinfektionseinheit)	Input:	Passagier betritt die Toilette Aktivierung
		Output:	Status. ON/OFF Fehler-/Rückmeldung
D <sub>4W</sub>	Daten-/Informationen (Wasserhahn)	Input:	Passagier betritt die Toilette Fehler-Gesamtsystem (Anzeige)
		Output:	Temperatur (Eingabe/Austritts) Auslösung/Aktivierung Wassermenge (Water Flow)

### 3. Arbeitspaket WP 0-3: Bewertungskriterien

Dieses Arbeitspaket beinhaltete die Vorbereitungen zur Erstellung einer Bewertungsmatrix für die spätere Auswahl eines Systemkonzeptes/Gesamtsystems. Darüber hinaus wurde die Methodik der Systembewertung festgelegt und die typischen Bewertungskriterien, wie z.B. Gewicht, Betriebskosten, Herstellkosten, Zuverlässigkeit und technisches Risiko analysiert und entsprechend gewichtet.

Die Vorgehensweise war dadurch charakterisiert, dass zunächst die Bewertungskriterien für die spätere Bewertungsmatrix aufgestellt, analysiert, geordnet und priorisiert wurden. Die Festlegung der Bewertungskriterien erfolgte an der HAW Hamburg. Als Grundlage diente dabei die Definition der Anforderungen und Ziele an das Gesamtsystem „Wasserhahn“.

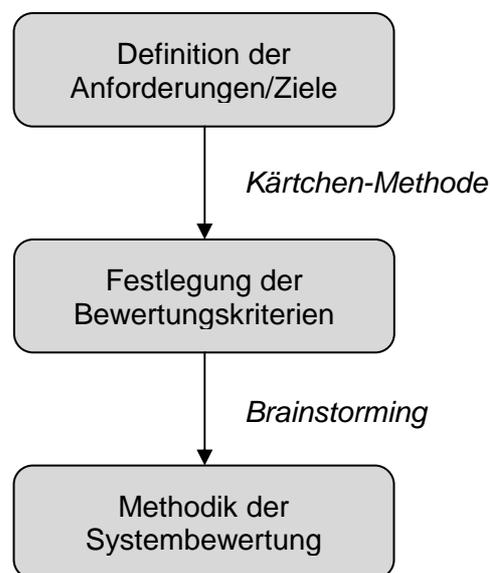


Abbildung 10: Ablauf/Vorgehensweise

Mit Hilfe der festgelegten Bewertungskriterien konnte beurteilt werden, wie gut oder schlecht ein Systemkonzept seine Aufgaben erfüllt bzw. ob die Anforderungen an das Gesamtsystem überhaupt erfüllt wurden. Auf diese Weise ließen sich die Schwachstellen bzw. Stärken lokalisieren. Die Kriterien wurden so formuliert, dass die Bewertung jederzeit nachvollziehbar und auf alle Systemkonzepte anwendbar war.

#### 3.1 Definition der Anforderungen

Die Festlegung der Bewertungskriterien basieren auf den vorher definierten Anforderungen und Ziele an das System „Wasserhahn“. Als Grundlage dienen dabei die durch das Projekt vorgegebenen Randbedingungen. Diese wurden zunächst aus den einzelnen Arbeitspaketen gefiltert und in Form einer Tabelle übersichtlich zusammengefasst.

Tabelle 17: Übersicht der Randbedingungen

Arbeitspaket	Systemkonzept	Randbedingungen
WP 0-1	Heizelement	Erhitzung des Wassers (800ml) innerhalb von 5 Minuten von 10°C auf 40°C mit einer Heizleistung von 400W
	Desinfektion	Desinfektion über die Innenbeschichtung der wasserführenden Teile (Silberionen)
	Mischeinheit	Selbstbelüftende Ventile
	Sensorik	Bewegungs- / Wassererkennung (Temperaturregelung)
WP 0-2	Gesamtsystem	Modularität des Gesamtsystems zu anderen Systemen des Flugzeugs
WP 0-2/0-7	Heizelement/ Desinfektion	Erwärmung des Wassers 60°C → Desinfektionswirkung alternative Desinfektionsverfahren → Effektivität

Die über den Randbedingungen hinaus definierten Anforderungen und Ziele wurden an der HAW erarbeitet, analysiert und festgelegt. Die Ergebnisse ergänzen die in *Tabelle 17* erfassten Randbedingungen und bilden somit die Grundlage für die Festlegung der Bewertungskriterien.

Tabelle 18: Übersicht der Anforderungen/Ziele

Systemkonzept	Anforderungen
Heizelement	korrosions- und kalkabweisend, hohe Lebensdauer, Eigensicherung, geringer Energieaufwand, Kosten/Gewicht
Desinfektion	gute Desinfektionswirkung, kein Wartungsaufwand, hohe Lebensdauer, geringer Energieaufwand, Gewicht, Kompatibilität/Modularität
Mischeinheit	einfache Lösung, schnelles Einstellen der Temperatur (Zeitfenster), hohe Lebensdauer, Desinfektionsmittelverträglichkeit
Sensorik	präzise Arbeitsweise/Genauigkeit, Reaktion/Funktionalität, EMV, hohe Lebensdauer, innovative Konzepte
Wasserhahn	einfache Bedienung, hohe Stabilität gegen Vandalismus, Optik/Design, Funktionalität, keine Biofilmbildung
Gesamtsystem	Kompatibilität/Modularität, elektr./mechan. Stabilität, geringe Wartung, Innovation, flugzeugspezifische Realisierbarkeit/Umsetzung/Ausführung, Sicherheit, Zuverlässigkeit, Kosten, Gewicht, hohe Lebensdauer

### 3.2 Festlegung der Bewertungskriterien

Die Festlegung der Bewertungskriterien erfolgt an der HAW Hamburg. Diese basieren auf den Anforderungen an das Gesamtsystem „Wasserhahn“. Die Ergebnisse wurden analysiert und zunächst grob gegliedert.

- |                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| ↻ Zuverlässigkeit                    | ↻ Größe / Dimension                         |
| ↻ Wartung                            | ↻ Kompatibilität (Modularität/Flexibilität) |
| ↻ Realisierbarkeit                   | ↻ Funktionalität                            |
| ↻ Leistungsaufnahme                  | ↻ Gewicht                                   |
| ↻ Anschlüsse                         | ↻ Steuerung                                 |
| ↻ techn. Risiko                      | ↻ Verfügbarkeit                             |
| ↻ Hygiene                            | ↻ Kosten                                    |
| ↻ Optik / Design                     | ↻ Qualität                                  |
| ↻ Bedienung / Benutzerfreundlichkeit | ↻ Wirkung                                   |
| ↻ Belastbarkeit                      | ↻ Realisierbarkeit                          |

[Ergebnisse des Brainstormings vom 12.08.2010]

Darüber hinaus wurden speziell für die Teilkonzepte individuelle Bewertungskriterien erarbeitet, die bei der Analyse helfen sollen, die optimalsten Lösungsmöglichkeiten zu bestimmen. Die farbig hinterlegten wurden bei der Bewertung zusätzlich berücksichtigt.

#### **Bedienelement Wasserhahn (Sensorik)**

- |                                      |                     |
|--------------------------------------|---------------------|
| ↻ Schaltsicherheit                   | ↻ Platzbedarf       |
| ↻ Elektromagnetische Verträglichkeit | ↻ Leistungsbedarf   |
| ↻ Mechanische Parameter              | ↻ Wasserdichtigkeit |
| ↻ Funktionalität                     | ↻ Optik / Design    |
| ↻ Innovation                         | ↻ Lebensdauer       |
| ↻ Vandalismus (Stabilität)           | ↻ Hygiene           |

#### **Ventiltechnik (Mischeinheit)**

- |                |                       |
|----------------|-----------------------|
| ↻ Druckbereich | ↻ Luftfahrtsicherheit |
| ↻ Temperatur   | ↻ Durchfluss          |

#### **Desinfektion**

- |                    |                       |
|--------------------|-----------------------|
| ↻ Wasserqualität   | ↻ Zuverlässigkeit     |
| ↻ Wiederverkeimung | ↻ Chemie              |
| ↻ Vorbehandlung    | ↻ Desinfektion        |
| ↻ Wirkungsweise    | ↻ Ökonomische Aspekte |
| ↻ Equipment        | ↻ Depotwirkung        |
| ↻ Verkalkung       | ↻ Luftfahrtsicherheit |

**Heizelement**

- ➔ Platzbedarf
- ➔ Unbedenklichkeit
- ➔ Lebensdauer
- ➔ Steuerung
- ➔ Oberflächenbelastung
- ➔ Wirkungsgrad
- ➔ Korrosion
- ➔ Leistungsbedarf
- ➔ Gewicht
- ➔ Wartung
- ➔ Verkalkung
- ➔ Beschichtung
- ➔ Eintauchtiefe
- ➔ Luftfahrtsicherheit
- ➔ Innovation
- ➔ Sicherheit/Eigensicherung

Nachfolgend werden die Kriterien für die spätere Bewertung näher erläutert. Somit verringern sich der Interpretationsspielraum während der System-/Produktkonzeptbewertungs-Phase, sowie die Nachvollziehbarkeit bei der nachträglichen Analyse.

**Tabelle 19:** Interpretation der Bewertungskriterien

<b>Kriterium</b>	<b>Erläuterung</b>
Größe/Dimension	Platzbedarf, Bauraum, Geräumigkeit, Ausdehnung
Gewicht	geringe Gesamtmasse (luftfahrtspezifisch)
Hygiene	Wiederverkeimung, Bedienelement, Rohr/Leitungen
Desinfektion	Wirksamkeit, TrinkwV, antibakterielle Wirkung
Realisierbarkeit	Machbarkeit, Integration, Marktlage des Konzeptes
Innovation	Neuerung, Fortschritt, Veränderung
Funktionalität	Einhaltung der Anforderungen/Randbedingungen ans System
Kompatibilität/Modularität	Komplexität, interne und externe Integration
Sicherheit	Risiken, Gefahrenquelle für Passagier und/oder Geräte
Zuverlässigkeit	Langlebigkeit, Resistenz, Stabilität, Verlässlichkeit
Kosten	Anschaffung, Herstellung, Betriebskosten, ökonom. Aspekte
Wartung	Überprüfung des Gesamtsystems, Verschleiß
Verkalkung	Kalkresistenz, Leistungsverluste
Korrosion	Zersetzung, Auflösung von Materialien
Ökologie (Chemie)	Einsatz von Chemikalien
Equipment	zusätzliche Geräte
Optik/Design	Visualisierung, Styling, Form, Gestaltung
EMV	geringere Strahlung = geringere EMV-Belastung
Energiebedarf	Leistung, zusätzliche Verbraucher, Wassermenge
Materialaufwand	zusätzliches Equipment (Leitungen, Module, Pumpen etc.)

Diese Bewertungskriterien bilden die Grundlage für die Beurteilung der Systemkonzepte. Um die Bewertung strukturiert und nachvollziehbar durchführen zu können, empfiehlt sich die Integration der Bewertungskriterien in eine Bewertungsmatrix. So kann eine systematische Bewertung der Systemkonzepte problemlos erfolgen. Die dazugehörige Methodik wird im nachfolgenden Abschnitt näher erläutert.

### 3.3 Methodik der Systembewertung

Nach Festlegung der Bewertungskriterien erfolgte die Erarbeitung der Methodik zur Systembewertung. Dazu wurde zunächst eine allgemeine Betrachtung der verschiedenen Kriterien mittels einer Skala festgelegt. Die nachfolgende Übersicht definiert die Bewertungsskala.

- + dieses Kriterium wird erfüllt und kann als Vorteil gewertet werden
- o dieses Kriterium wird weder erfüllt noch nicht erfüllt, Vor- und Nachteile heben sich auf Kriterium trifft auf dieses Systemkonzept nicht zu
- dieses Kriterium wird nicht erfüllt und kann als Nachteil bewertet werden

Um die Anforderungen des Gesamtsystems an die Systemkonzepte berücksichtigen zu können, sollte eine zusätzliche Gewichtung der verschiedenen Bewertungskriterien erfolgen. Durch die Gewichtung wird deutlich, welche Bewertungskriterien im Hinblick auf das Gesamtsystem eine besondere Relevanz beigemessen wird.

- 2** besondere Bedeutung für das Systemkonzept
- 1** einfache Bedeutung für das Systemkonzept
- 0** keine Relevanz für das Systemkonzept

Eine Bewertungsmatrix bietet dann einen guten Überblick über die Leistungsfähigkeit der Konzepte. (*Tabelle 24*)

## 4. Arbeitspaket WP 0-4: Produktkonzepte

Dieses Arbeitspaket beinhaltet die Ausarbeitungen für die verschiedenen Teilkonzepte des Gesamtsystems „Wasserhahn“, wie z.B. Beheizungskonzepte oder Konzepte für Mischventile als auch verschiedene Ansätze für das Gesamtsystem „Wasserhahn“.

Basierend auf den Marktrecherchen aus Arbeitspaket WP 0-1 wurden für jedes Teilsystem diverse Produktkonzepte definiert. Für die unterschiedlichen Anforderungen wurden zahlreiche individuelle Lösungsmöglichkeiten erarbeitet, die anschließend mittels der Bewertungsmethodik analysiert wurden, um für das Gesamtkonzept ein optimales Ergebnis zu erzielen.

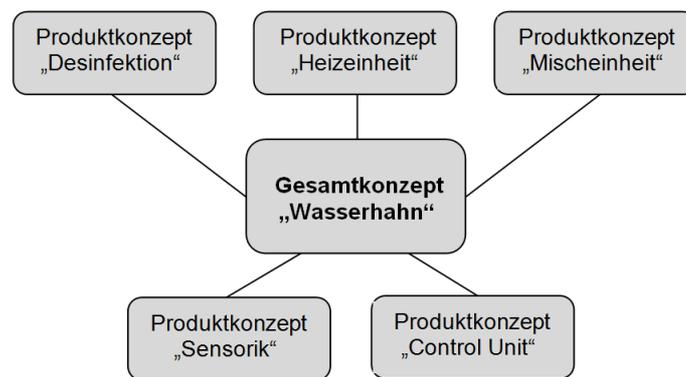


Abbildung 11: Produkt-/Gesamtkonzepte

Für die Erarbeitung verschiedener Produktkonzepte und deren späterer Bewertung bildete eine detaillierte Beschreibung der Verfahren die Grundlage.

### 4.1 Gesamtkonzept „Wasserhahn“

Zur Analyse und Bearbeitung der verschiedenen Konzepte des Gesamtsystems wurde die in dargestellte Anordnung zur Schnittstellenanalyse in zwei Konfigurationen gegliedert:

- Wasserkreislauf
- Daten- & Strom-/Spannungsversorgungskreislauf

Für den Wasserkreislauf innerhalb des Gesamtsystems sollen in diesem Abschnitt nun verschiedene Varianten aufgeführt werden. Diese Ausarbeitungen bilden die Basis für die in Kapitel 5 durchgeführte Bewertung und Auswahl der verschiedenen Systemkonzepte.

#### 4.1.1 Varianten des Gesamtsystems

Um eine überschaubare Bewertung der Gesamtkonzept-Konfigurationen zu gewährleisten, erfolgt zunächst eine Beschreibung der Systemvarianten. Dabei wurden auch die Vor- und Nachteile der möglichen Systemvarianten analysiert.

##### Desinfektion vor Wasserhahn

Das Wasser durchläuft hierbei das Gesamtsystem in eine Richtung. Über die Zuleitung gelangt es zunächst in die Heizeinheit. Das erhitzte Wasser fließt anschließend weiter zu der Mischeinheit und wird dort mit Kaltwasser aus der Zuleitung vom Frischwassertank auf die

vom Passagier gewünschte Temperatur aufbereitet. Das temperierte Wasser fließt darauf durch die Desinfektionseinheit zum Auslass des Wasserhahns.

Der Vorteil dieser Systemvariante liegt in erster Linie an dem geringen Bauaufwand zur Verhinderung der Wiederverkeimung in den Rohrleitungen und Komponenten. Als Nachteil wäre einzig und allein die zu geringe Einwirkzeit, z.B. bei der Ozonung, zu erwähnen.

### **Desinfektion vor Heizelement**

Das Wasser durchläuft hierbei das Gesamtsystem in eine Richtung. Über die Zuleitung gelangt es zunächst in die Desinfektionseinheit. Anschließend wird das desinfizierte Wasser zum einen Teil in der Heizeinheit erhitzt und zum anderen Teil zur Mischeinheit geleitet, wo es auf die vom Passagier gewünschte Temperatur aufbereitet wird.

Das Hauptargument dieser Systemvariante ist eine längere Einwirkzeit. Somit würde die Desinfektionswirkung verbessert werden können. Nachteilig ist jedoch der erhöht Aufwand gegen die Wiederverkeimung des Systems bis hin zum Wasserhahn.

### **Fazit**

Da die Desinfektion direkt vor dem Wasserhahn (*point of use*) einen geringeren Bauaufwand zur Verhinderung der Wiederverkeimung in den Rohrleitungen bedeutet und auch als einzig sinnvolles Konzept erscheint, wurde die Variante in den weiteren Ausarbeitungen favorisiert.

## **4.2. Produktkonzepte der Desinfektionseinheit**

Da auf den Einsatz von Chemikalien verzichtet werden soll, wurden für die Erarbeitung verschiedener Produktkonzepte einer Desinfektionseinheit im Gesamt-System „Wasserhahn“ folgende Desinfektionsmethoden, basierend auf der Marktanalyse berücksichtigt:

- Membranfiltration
- Ozon-Elektrolyse
- UV-Bestrahlung
- Thermische Desinfektion
- Pulsierende elektrische Felder (PEF)
- Metall-Ionen-Beschichtung (Nano-Silber)

Grundlage für die Erarbeitung verschiedener Produktkonzepte und der späteren Bewertung bildet die detaillierte Beschreibung der Verfahren aus Arbeitspaket WP 0-1. Sinn dieser Forschungsarbeit war es natürlich nicht, alle Desinfektionsmethoden nur zu beschreiben. Jedoch war diese Arbeit notwendig, um im Folgenden die Produktkonzepte konzeptionieren zu können.

- **Produktkonzept A:** Ozon-Elektrolyse-Desinfektion
- **Produktkonzept B:** Membranfiltration
- **Produktkonzept C:** PTC-Heizelement

Wie bereits in der Beschreibung der Desinfektionsmethoden erläutert, wird mit Nano-Silber allein keine desinfizierende Wirkung erreicht. Die Anwendung als Beschichtung der

wasserführenden Teile des Gesamtsystems bietet sich in unabhängig von der Desinfektionsmethode an.

Im Rahmen von LUFO IV-I wurde schon ein Ozon-Elektrolyse Gerät der Firma *CONDIAS* getestet. Die Marktanalyse ergab weitere Produktsysteme für eine Ozon-Elektrolyse. Im weiteren Verlauf der Definition der Produktkonzepte werden in erster Linie die Lösungen von *INNOVATEC II* und von *EDIS* berücksichtigt.

### 4.3. Produktkonzepte der Heizeinheit

Für die Aufbereitung des Kaltwassers bzw. der Bereitstellung von Heißwasser muss sich in der Heizeinheit ein Heizelement befinden.

Die Recherchen aus Arbeitspaket WP 0-1 ergaben, dass der Markt an Heizelementen sehr vielfältig ist. Es wurden in erster Linie Konzepte betrachtet, die eine hohe Korrosionsstabilität aufweisen und kalkabweisend sind. Im Vordergrund standen dabei innovative Lösungen.

Für die Erfüllung der Hauptaufgabe des Heizelementes muss dieses zuverlässig gesteuert und geregelt werden. Hierbei erfolgt bei den Varianten:

- Einschraubheizkörper
- Hochleistungsheizpatrone
- Rohrheizkörper
- Flachrohrheizkörper
- Keramikheizelement
- leichtverdichtete Heizpatrone
- verdichtete Heizpatrone

die Leistungsregulierung aktiv über die Steuerungs-/Regelungseinheit.

Bei den Varianten:

- PTC-Heizelement
- Keramikheizelement mit PTC-Verhalten

erfolgt die Leistungsregulierung passiv über ein PTC-Element bzw. PTC-Verhalten.

Die verschiedenen Produktkonzepte in Form der jeweiligen Heizelemente wurden im nachfolgenden Kapitel individuell bewertet und anschließend in den Ausarbeitungen zum Arbeitspaket WP 0-6 näher spezifiziert. Die Bewertung der verschiedenen Heizelemente hat gezeigt, dass folgende Heizelemente:

- **Produktkonzept A:** Keramikheizelement
- **Produktkonzept B:** Rohrheizkörper
- **Produktkonzept C:** PTC-Heizelement

#### 4.4. Produktkonzepte des Bedienelementes am Wasserhahn

Bei den Ausarbeitungen zu den Produktkonzepten für das Teilsystem „Wasserhahn“ lag die Schwierigkeit in der Auswahl der verschiedenen Varianten. In erster Linie galt es aus der Vielzahl der unterschiedlichen Möglichkeiten die funktionalsten und innovativsten zu filtern und diese für die anschließende Bewertung aufzubereiten

**Tabelle 20:** Tabellarische Übersicht der Bedienkonzepte

<b>Bedienkonzept I</b>	
Wasserauslösung	Berührungslos
Temperaturregelung	Schalter
Anzeige	LED

<b>Bedienkonzept II</b>	
Wasserauslösung	Berührungslos
Temperaturregelung	Berührungslos
Anzeige	LED

<b>Bedienkonzept III</b>	
Wasserauslösung	Schalter
Temperaturregelung	Schalter
Anzeige	Display

<b>Bedienkonzept IV</b>	
Wasserauslösung	Berührungslos
Temperaturregelung	Berührungslos
Anzeige	Display

#### 4.5. Produktkonzepte der Mischeinheit

Für die Integration des Mischventils in die Mischeinheit gibt es drei verschied. Möglichkeiten:

- **Produktkonzept A:** Thermostat
- **Produktkonzept A:** Drehkolben
- **Produktkonzept A:** Magnetventil

Da in erster Linie innovative Produktkonzepte im Fokus dieser Forschungsarbeit liegen, wird im weiteren Verlauf der Ausarbeitungen die Wassermischung mit Magnetventilen bevorzugt.

## 5. Arbeitspaket WP 0-5: Konzept, Bewertung und Auswahl

Dieses Arbeitspaket beinhaltet die Ausarbeitungen zur Bewertung der verschiedenen Teilkonzepte und die daraus resultierende Auswahl des zur Umsetzung gewählten Gesamtkonzeptes. Basierend auf den Ausarbeitungen der Arbeitspakete WP 0-3/WP 0-4 wurde eine Bewertungsmatrix erstellt. Diese bildete die Basis aller durchgeführten Bewertungen. Nur die Gewichtung und die individuellen Bewertungskriterien unterscheiden sich lediglich.

### 5.1 Bewertung der Produktkonzepte

Die folgenden Ausarbeitungen beinhalten die Bewertung der erarbeiteten Produktkonzepte der Teilsysteme und die daraus resultierende Auswahl des zur Umsetzung ausgewählten Gesamtsystems.

#### Gesamtsystem / Wasserkreislauf

- Systemkonzept A: direkter Durchfluss
- Systemkonzept B: Zirkulation / Rücklauf

#### Heizeinheit

- Produktkonzept A: Keramikheizelement
- Produktkonzept B: Rohrheizkörper
- Produktkonzept C: PTC-Heizelement

#### Mischeinheit

- Produktkonzept A: Wassermischung mit Magnetventilen

#### Desinfektionseinheit

- Produktkonzept A: Edelstahlrohr mit Nano-Silber-Beschichtung / Ozon-Elektrolyse
- Produktkonzept B: Edelstahlrohr mit Nano-Silber-Beschichtung / Membranfiltration
- Produktkonzept C: Edelstahlrohr mit Nano-Silber-Beschichtung / UV-Bestrahlung

#### Wasserhahn / Bedienelement

- Bedienkonzept A: Berührungslos / Schalter / LED
- Bedienkonzept B: Berührungslos / Berührungslos / (Display/LED)
- Bedienkonzept C: Schalter / Schalter / Display (Touchscreen)

## 5.2. Definition von Gesamtkonzeptlösungen

Basierend auf einer enormen Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten wurden verschiedene Gesamtkonzepte definiert. Prinzipiell kann in jedes Gesamtsystem-Konzept problemlos eines der definierten Heizelemente integriert werden, ohne an den Funktionsdemonstratoren grundlegendes zu ändern.

Dank dieser Modularität ist dies auch ohne großen Mehraufwand bei den Bedienelementen am Wasserhahn möglich. Einzig die Desinfektionseinheit im Zusammenspiel mit dem Wasserkreislaufsystem bildet die Grundlage für das jeweilige Systemkonzept.

### 5.2.1 Gesamtkonzept I: Standard

Dieses Konzept beschreibt eine derzeitig standardisierte und weit verbreitete Lösung des Gesamtsystems. Bei der Konzeptionierung viel die Auswahl der jeweiligen Teilkomponenten auf die gebräuchlichsten und bewährtesten Produktkonzepte. Dieses Gesamtkonzept bildet in erster Linie den extremen Kontrast/Gegensatz zu den innovativen Lösungen und bildet die Grundlage für die Auswahl innovativer Gesamtkonzeptlösungen.

**Tabelle 21:** Gesamtkonzept I: Standard

Teilkomponente	Produktkonzept
Wasserhahn:	Berührungslos / Schalter / LED
Desinfektion	Filtration
Heizeinheit	Rohr-Heizelement
Wassersystem	direkter Durchfluss

### 5.2.2 Gesamtkonzept II: Innovation

Dieses Konzept beschreibt die innovativste Lösung eines Gesamtsystems. Bei der Konzeptionierung viel die Auswahl der jeweiligen Teilkomponenten auf die innovativsten und zugleich realisierbarsten Produktkonzepte, die aus den einzelnen Bewertungsmatrizen gefiltert wurden.

**Tabelle 22:** Gesamtkonzept II: Innovation

Teilkomponente	Produktkonzept
Wasserhahn:	Berührungslos / Berührungslos / Display
Desinfektion	Ozon / Rohrleitung mit Nano-Silber-Beschichtung
Heizeinheit	Keramik-Heizelement
Wassersystem	direkter Durchfluss

### 5.2.3 Gesamtkonzept III: Kompakt

Die Zusammensetzung dieses Gesamtkonzeptes zielt in erster Linie auf eine kompakte Lösung des Gesamtsystems hin. Die Zusammenstellung der einzelnen Teilkomponenten erfolgte hierbei in Hinblick auf klein, leicht und leistungsstark. Im Zusammenspiel Wassersystem und Desinfektionseinheit bietet dieses Konzept eine optimale Lösung.

**Tabelle 23:** Gesamtkonzept III: Kompakt

Teilkomponente	Produktkonzept
Wasserhahn:	Schalter / Schalter / Display (Touchscreen)
Desinfektion	UV-LED / Rohrleitung mit Nano-Silber-Beschichtung
Heizeinheit	PTC-Heizelement
Wassersystem	Rücklauf / Zirkulation

### 5.3. Bewertung der Gesamtkonzepte

Basierend auf die Definition der Gesamtkonzepte erfolgt nun die eigentliche Bewertung. Aufgrund der Modularität der einzelnen Produktkonzepte untereinander, sollte das Ergebnis dieser Analyse nicht als die einzige Lösung angesehen werden. Es sollte ferner als Basis für den Versuchsaufbau und alle darauf aufbauenden Abläufe / Schritte dienen.

**Tabelle 24:** Bewertungsmatrix der Gesamtkonzepte

Bewertungskriterien	G	Standard	Innovation	Kompakt
Größe/Dimension	1	+	+	0
Gewicht	2	0	+	0
Hygiene	2	-	+	-
Desinfektion	1	+	0	0
Realisierbarkeit	1	+	0	-
Innovation	2	-	+	+
Funktionalität	1	+	0	0
Kompatibilität/Modularität	2	+	+	-
Sicherheit	1	+	-	-
Zuverlässigkeit/Lebensdauer	2	+	0	0
Kosten (Herstellung, Betrieb)	1	+	-	-
Wartung	2	0	0	+
Energiebedarf	2	0	0	0
Materialaufwand	2	+	0	-
Summe	+	12	9	4
Summe	-	4	1	9
<b>Bilanz</b>	$\Sigma$	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>-5</b>

## 6. Arbeitspaket WP 0-6: Erstellung der Spezifikation

Dieses Arbeitspaket WP 0-6 beschreibt die Erstellung einer Spezifikation, die es erlaubt die Teilkomponenten und das Gesamtsystem für die spätere Verifikationsphase aufzubauen.

Aus der Bewertungsmatrix der Gesamtkonzepte wurde das innovative Konzept als beste Lösung analysiert. In den nachfolgenden Ausarbeitungen wird nun dieses Konzept genauer spezifiziert werden. Darüber hinaus werden alle Produktlösungen des Bedienelementes am Wasserhahn spezifiziert werden, da damit mehrere Bedienkonzepte im weiteren Verlauf der Testphase verifiziert werden können

### 6.1 Bedienelement am Wasserhahn

Zur individuellen benutzergesteuerten Wahl der Wassertemperatur und zur Erkennung einer Hand zum Auslösen der Wasserabgabe wurden verschiedene Bedienkonzepte erarbeitet. Diese unterscheiden sich in erster Linie durch die Wahl der Sensorik und den Anforderungen an die Bedienelemente am Wasserhahn.

**Tabelle 25:** Übersicht der verschiedenen Bedienkonzepte

Bedienkonzept	Wasser	Temperatur	Anzeige
A BASIC	Infrarot	Schalter / Schalter	LED
B UNIVERSAL TOUCHLESS	Infrarot	Infrarot / Infrarot	LED/Display
C INNOVATION	Ultraschall	Infrarot / Infrarot	Display

#### 6.1.1 Bedienkonzept A: BASIC

Bei diesem Bedienkonzept wird für die Auslösung des Wassers ein Infrarotsensor eingesetzt. Die Regelung der Wassertemperatur wird durch eine Piezoscheibe und durch einen kapazitiv arbeitenden Schalter realisiert. Die Piezoscheibe und der Schalter reagieren auf Berührung und befinden sich auf dem Wasserhahn. Die visuelle Rückmeldung erfolgt hierbei durch aneinandergereihte LEDs.

**Tabelle 26:** BASIC - Spezifizierung der Sensorik

Bedienelement	Wasserauslösung	Temperaturregelung		Anzeige	
Hersteller	Sharp	Atmel	K.-H. Mauz	LED	LED
Bezeichnung	GP2D150A	EVK1010A	Piezo	grün	weiß
Abbildung					
Reichweite	4 - 30 cm	–	–	–	–
Ausgangssignal	digital	digital	digital	–	–
Umschaltdistanz	15 ± 2,5 cm	–	–	–	–
Stromaufnahme	33 mA	17 µA bei 1,8V	n/a	20 mA	20 mA
Betriebsspannung	4,5 - 5,5 V	1,8 - 5,5 V	5 - 18 V	2,2 V	3,2 V
Dimension [mm]	37 x 19 x 14	54 x 37 x 3	Ø 15	Ø 6	Ø 6

### 6.1.2 Bedienkonzept B: UNIVERSAL TOUCHLESS

Typisch für dieses Bedienelement ist die berührungslose Temperaturregelung. Die Sensoren hierfür befinden sich dabei nicht wie gewohnt auf dem Bedienelement, sondern wurden seitlich in den Wasserhahn integriert. Für die Auslösung des Wassers wird ein Infrarotsensor eingesetzt. Die visuelle Rückmeldung erfolgt hierbei durch aneinandergereihte LEDs.

**Tabelle 27:** Spezifizierung der Sensorik

Bedienelement	Wasserauslösung	Temperaturregelung		Anzeige	
Hersteller	Sharp	Sharp	Kondenshi	LED	LED
Bezeichnung	GP2Y0D810Z0F	GP2Y0A41S K0F	PIC-PS200 R50	grün	weiß
Abbildung					
Reichweite	2 - 10 cm	4 - 30 cm	1 - 12 mm	–	–
Ausgangssignal	digital	analog	digital	–	–
Umschaltdistanz	10 ± 3 cm	n/a	2 - 10 mm	–	–
Stromaufnahme	5 mA	12 mA	40 mA	20 mA	20 mA
Betriebsspannung	2,7 - 6,2 V	4,5 - 5,5 V	5 V	2,2 V	3,2 V
Dimension [mm]	14 x 7 x 8	37 x 19 x 14	44 x 10 x 12	Ø 6	Ø 6

### 6.1.3 Bedienkonzept C: INNOVATION

Im Vergleich zu den beiden vorherigen Konzepten ist dieses Bedienkonzept das Innovativste. Die Temperaturregelung erfolgt mittels Infrarotsensoren. Ursprünglich sollte in dieses Konzept ein Touchscreen (Schalter/Schalter/Display) integriert werden. Aber aufgrund der Vielzahl der zu testenden Sensoren wurde die im Folgenden beschriebene Konfiguration gewählt. Ein AMOLED-Display ersetzt die LED-Anzeige.

**Tabelle 28:** INNOVATION – Spezifizierung der Sensorik

Bedienelement	Wasserauslösung	Temperaturregelung		Anzeige	
Hersteller	Sonarrange	Avago	Sharp	LED	Densit
Bezeichnung	UPL 200 FIPS 24C	HSDL 9100-021	GP2Y0AH0 1K-Y001F	grün	C0240QGL A-T
Abbildung					
Reichweite	20 cm	0 - 6 cm	4,5 - 6 mm	–	Auflösung 240 x 320
Ausgangssignal	digital	analog	analog	–	Farben
Umschaltdistanz	20 cm	–	–	–	262.000
Stromaufnahme	max. 100 mA	–	20 mA	20 mA	ca. 100 mA
Betriebsspannung	12 - 28 VDC	5 V	5 V	2,2 V	1,65 - 3,3V
Dimension [mm]	71 mm / M30	7 x 3 x 3	37 x 19 x 14	Ø 6	42 x 59 x 2

## 6.1.4 Zusammenfassung

Innerhalb des Projektteams wurde sich für die Umsetzung von drei Konzeptlösungen für das Bedienelement am Wasserhahn entschieden. Diese sind so konzipiert, dass eine uneingeschränkte Kompatibilität zum Gesamtkonzept besteht.

## 6.2. Desinfektionseinheit

Aufbauend auf das LuFo IV-1-Projekt „Desinfektion von Frischwasser“ gilt es weiterhin eine geeignete Desinfektionsmethode zu evaluieren, die es ermöglicht, Trinkwasserqualität am Wasserhahn (Point-of-use) bereitzustellen. Im Rahmen dieser Spezifizierung soll zunächst die Desinfektionsmethode der Firma Innovatec Gerätetechnik GmbH beschrieben werden. Diese wurde im Arbeitspaket WP 0-5 in Kombination mit einer Rohrleitung aus Nano-Silber-Beschichtung konzeptioniert.

Darüber hinaus wird im weiteren Verlauf der Ausarbeitungen der antimikrobielle Duschschlauch *Isiflex* der Firma *hangrohe* näher spezifiziert werden. Dieser soll für diverse Vorversuche zunächst als Alternative zu einem innenbeschichteten Edelstahlrohr dienen.

### 6.2.1 Ozon-Micro-Zelle (**INNOVATEC II**)

Die Integration der Desinfektionseinheit in den Versuchsaufbau kann jederzeit problemlos erfolgen. Innerhalb des Funktionsdemonstrators werden die Schnittstellen des Wasserkreislaufes mit den Anschlüssen der Küvette und den Ozon-Micro-Zellen abgestimmt.

Die technischen Daten zur Spezifizierung der Ozon-Micro-Zelle finden sich in *Tabelle 29*. Das dazugehörige Datenblatt befindet sich in der Anlage des Berichtes.

**Tabelle 29:** Spezifizierung der Ozon-Micro-Zelle

Technische Daten	
Ozonleistung	max. 15mg O <sub>3</sub> /h
Elektrolysespannung	6 VDC
Elektrolysestrom	nominal 200 mA
Systemdruck	max. + 6 bar
Gewicht	ca. 60 g

### 6.2.2 Isiflex-Brauseschlauch

Für die Untersuchung zur Innenbeschichtung wasserführender Rohrleitungen wurde der *Isiflex*-Brauseschlauch der Firma *hangrohe* verwendet. Dieser garantiert für eine antimikrobielle Wirkung durch das Bedampfen von Nano-Silber-Partikeln auf der Innenfläche des Brauseschlauches.

- Länge 1,25m
- Innendurchmesser 10mm
- beidseitig konische Mutter DN15
- geprüft nach DIN EN 1113
- anti-microbial
- hochflexibel

## 6.3. Heizeinheit

Im Arbeitspaket WP 0-5 wurden durch die Bewertung der einzelnen Möglichkeiten zur Erhitzung des Wassers drei Produktkonzepte evaluiert

**Tabelle 30:** Übersicht der Heizelemente

Produktkonzept		Beschreibung des Heizelementes	Prototypen
A1	Keramik	1x 400 Watt Keramikheizelement	2
A2	Keramik	2x 200 Watt Keramikheizelemente	2
B1	Rohrheizkörper	1x 400 Watt Rohrheizelement	1
C1	PTC-Element	1x 400 Watt PTC-Heizelement	2
C1	PTC-Element	2x 200 Watt PTC-Heizelemente	2

### 6.3.1 Keramikheizelemente

Die Heizeinheit wird durch ein Keramikheizelement realisiert. Mit der Firma *Bach Resistor Ceramics GmbH* wurden zwei Konzepte ausgearbeitet. Die Eigenschaften und Probleme während der Erhitzung sollen durch spätere Funktionstests aufgezeigt werden.



Abbildung 12: 400W Keramikheizelement



Abbildung 13: 2x200W Keramikheizelement

### 6.3.2 PTC-Heizelemente

Dieses Produktkonzept der Heizeinheit wird durch ein PTC-Heizelement realisiert. In Kooperation mit der Firma *Eichenauer Heizelemente GmbH & Co KG*, stellvertretend durch Herrn Michael Alteg, wurden erste Konzepte evaluiert. Jedoch entstand kein Funktionsprototyp für die Verifikationsphase.

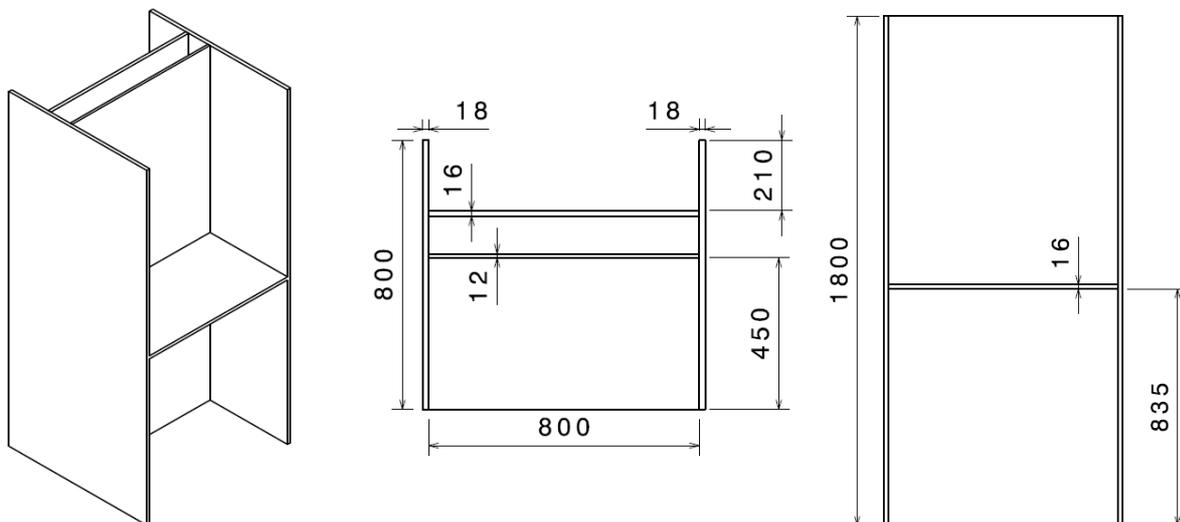
## 7. Arbeitspaket WP 0-7: Aufbau von Funktionsdemonstrator

Dieses Arbeitspaket beschreibt den Aufbau eines Funktionsdemonstrators der genutzt werden soll, um die entwickelten Lösungen zu verifizieren und hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit, Zulassbarkeit und tatsächlicher Leistungsfähigkeit zu testen. Dies beinhaltet sowohl den Aufbau der spezifizierten Komponenten und des Gesamtsystems, als auch die Realisierung einer Testumgebung und gegebenenfalls den Aufbau einer Simulation der Flugzeugumgebung.

### 7.1. Demonstrator

Neben diversen Funktionsdemonstratoren der Produktkonzepte, wie z.B. der Heizelemente oder der Bedienelemente am Wasserhahn, wird der Demonstrator des Gesamtsystems alle Teilkomponenten zu einem Versuchsaufbau vereinen, um abschließend das Gesamtkonzept auf Funktionsweise und tatsächlicher Leistungsfähigkeit zu testen.

Die Hardware des Demonstrators besteht aus einer stabilen Holz-Konstruktion. Dazu wurden verschieden starke MDF-Platten miteinander verleimt. In diesen Aufbau wurde ein handelsübliches Spülbecken integriert. Für den besseren Transport des Demonstrators wurde dieser mit Rollen ausgestattet.



**Abbildung 14:** Dimensionierung des Demonstrators (Iso-, Drauf- und Frontansicht)

### 7.2. Bedienelement am Wasserhahn

Die HAW-Hamburg stellte für die Untersuchungen am Wasserhahn eine funktionsfähigen Wasserhahn als Versuchsträger her. Um alle definierten Bedienkonzepte zu testen, wurde der Wasserhahn in zwei Teile getrennt. Der untere Teil bildet den Montageträger und wird fest an den Demonstrator befestigt. In den Deckel sind die jeweiligen Sensoren der Konzeptlösungen integriert. Die Deckel sind austauschbar, somit können alle Bedienkonzepte am Funktionsdemonstrator variabel getestet werden.

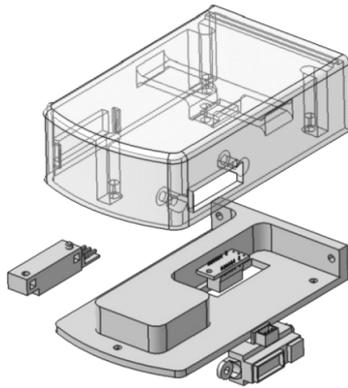


Abbildung 15: CAD-Modell des Wasserhahns

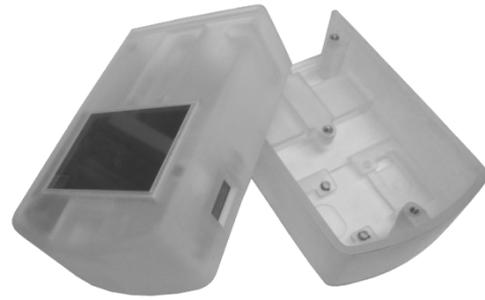


Abbildung 16: Rapid-Prototyping-Modelle

### 7.3. Desinfektionseinheit

Die Ausarbeitungen zum Aufbau von Funktionsdemonstratoren für die Desinfektionseinheit sind unterteilt in den unterschiedlichen Methoden. In erster Linie wurden Untersuchungen zur Erwärmung des Wassers auf 60°C und der Innenbeschichtung wasserführender Leitungen gefordert. Zusätzlich wurde die Ozon-Desinfektion, die Desinfektion mit UV-LEDs und die der gepulsten Feldern (PEF) im Rahmen von Studien- und Laborarbeiten näher untersucht.

#### 7.3.1 Ozon-Desinfektion

Für den Aufbau der Ozonisierungseinheit wird ein ozonbeständiges Material benötigt, Teflon. Aus einem Teflonstück wurde eine Küvette gefertigt, in welche die Ozon erzeugende Zelle und die Anschlüsse für das Wasser integriert werden können. Die Anschlüsse für Wasser bestehen ebenfalls aus Teflon. Die Elektrolysezelle ist an einer Verschraubung aus VA-Stahl angebracht. Abbildung 17 zeigt den schematischen Aufbau der Küvette.

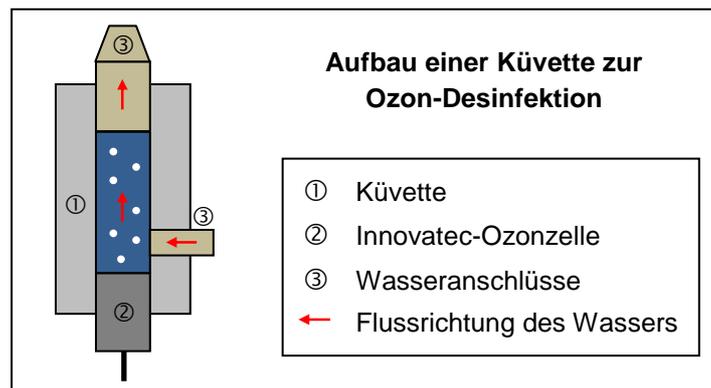


Abbildung 17: Schematischer Aufbau der Ozonisierungseinheit

Die Küvette bildet den Mantel der Desinfektionseinheit. Im unteren Teil befindet sich die *Innovatec-Zelle* auf der dafür vorgesehenen Verschraubung. Die Wasseranschlüsse und die dazugehörigen roten Pfeile zeigen die Flussrichtung des Wassers.

### 7.3.2 Desinfektion mit UV-LEDs

Der Aufbau des Funktionsdemonstrators zur Desinfektion mit UV-LEDs ist klein und kompakt. Die Küvette ist aus poliertem VA-Stahl und hat einen Durchmesser von ca. 10mm. Die Enden der Küvette sind mit handelsüblichen Dichtungsgummis verschlossen. In dieser Dichtung ist ein kleines Sichtfenster aus UV-durchlässigem Quarzglas mittels *Loctite 4061* eingeklebt. Diese lassen die Wellenlänge der UV-LED  $\sim 265\text{nm}$  optimal durch. Betrieben wird diese Desinfektionseinheit mit einer Betriebsspannung von ca. 0,6 - 0,7V. Die UV-Diode hat eine Leistung an der Austrittsoberfläche von  $15,89\ \mu\text{W}$ .



Abbildung 18: Desinfektionseinheit UV-LEDs

### 7.3.3 Pulsed Electric Fields

Der Aufbau des Funktionsdemonstrators der gepulsten elektrischen Felder besteht aus einem Plattenkondensator und einer Spule. Da Spannungen in Höhe von über 20.000V erreicht werden können, ist dieser zusätzlich durch einen Faraday'schen Käfig gesichert.

Zwischen den Plattenkondensatoren befindet sich die Küvette. Diese ist aus einem Plexiglas gefertigt und beinhaltet drei Kammer mit einem Fassungsvermögen von je 1,7ml. Die Küvette hat eine Größe von 200 x 180 x 6mm und ist mit Stopfen abgedichtet.

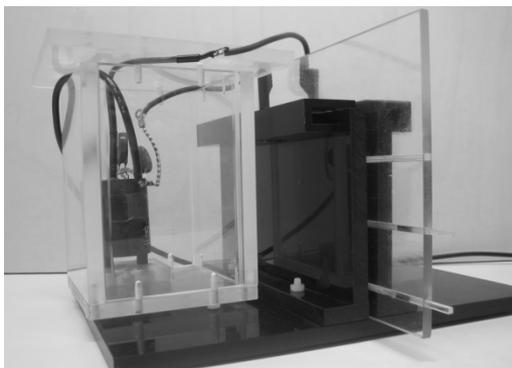


Abbildung 19: Versuchsaufbau gepulste Felder

### 7.3.4 Innenbeschichtung wasserführender Leitungen

Der Versuchsaufbau zur Untersuchung der Innenbeschichtung wasserführender Leitungen ist ein modifiziertes Garderobengestell. An dieser sind der Länge nach die Nano-Silber innenbeschichteten Duschschräume mit je einem dazugehörigen Referenzschlauch befestigt. Die Schläuche wurden mit kontaminiertem Wasser befüllt, um Untersuchungen zur Biofilmbildung durchführen zu können.

Darüber hinaus wurden die Duschschräume auf deren Silber-Ionen-Konzentration der Innenbeschichtung untersucht. Die Beschreibung des dazugehörigen Versuchsaufbaus folgt in den Ausarbeitungen des Arbeitspakets WP 0-8, in denen die Ergebnisse ausgewertet wurden.

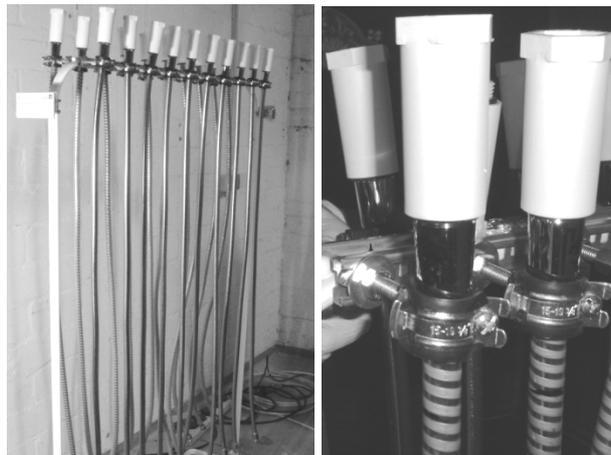


Abbildung 20: Versuchsaufbau zur Innenbeschichtung

### 7.4. Heizeinheit

Die Heizelemente wurden ausschließlich außerhalb des Gesamtsystems getestet. Dazu wurde die gesamte Heizeinheit in einer Halterung fixiert. In der Heizeinheit wurden die zu testenden Heizelemente integriert. In der Heizeinheit sind PT100-Sensoren angebracht, mit denen die Wassertemperatur an drei verschiedenen Punkten gemessen werden konnte.

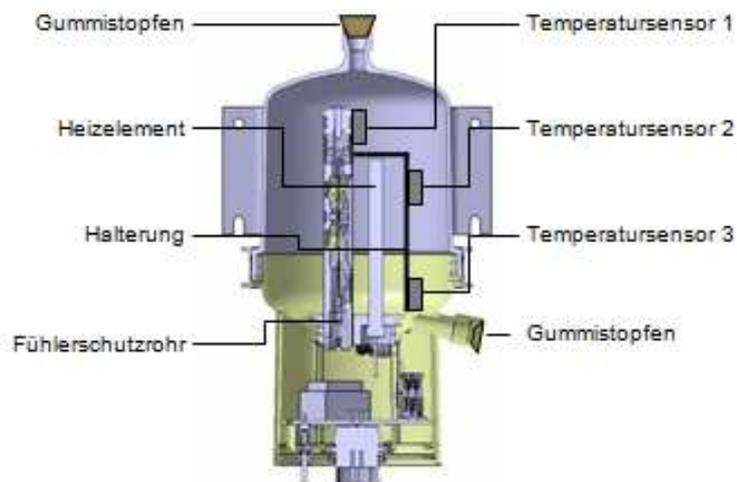
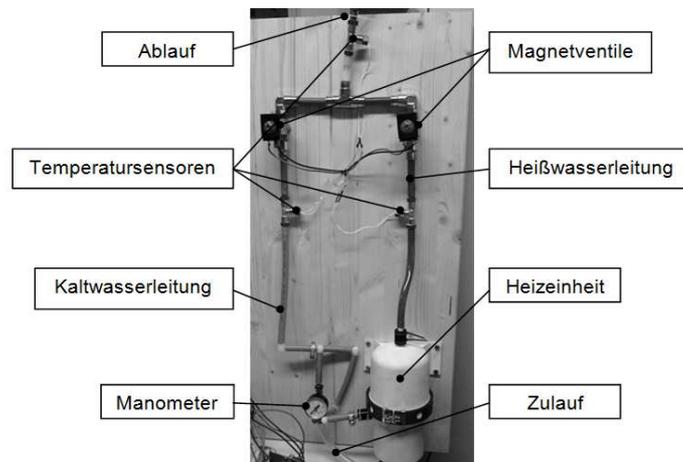


Abbildung 21: Versuchsaufbau – Heizeinheit

## 7.5. Mischeinheit

Der Aufbau des Funktionsdemonstrators beinhaltet zwei Proportionalmagnetventile die zur Regelung der Wassermischung genutzt werden. Für die Aufnahme der Temperatur am Kalt- bzw. Heißwasserzulauf sowie am Auslauf (Mischwassertemperatur) wurde mit einem T-Stück je ein Einschraubtemperatursensor in die Schlauchleitungen integriert.

Das Heißwasser wird über den von der Firma *Zodiac Cabin Controls GmbH* bereitgestellten Heizer erzeugt. Die Wasserversorgung für das System erfolgt über einen Wasseranschluss in den Laborräumen der HAW-Hamburg, dessen Druck von einem ins System integrierten Manometer abgelesen werden kann.



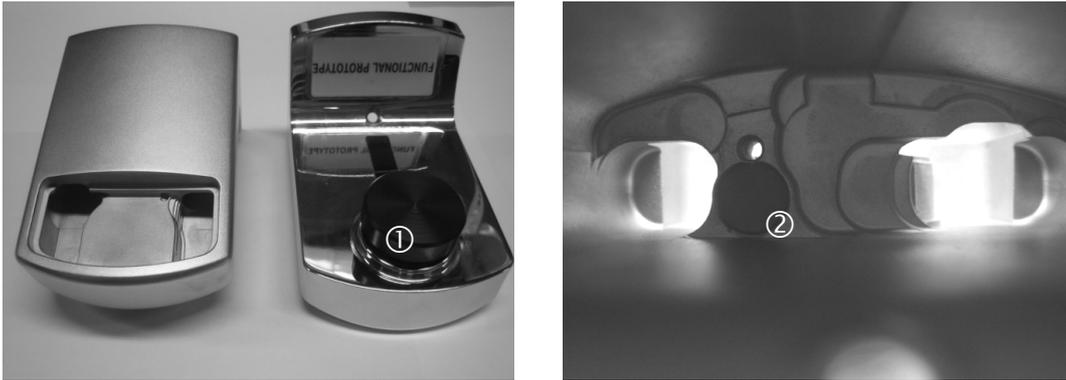
**Abbildung 22:** Funktionsdemonstrator der Mischeinheit

## 7.6. Stoffnachweis

Im Rahmen dieses Projektes wurden zusätzlich Versuche zum Nachweis von Nickel im Trinkwasser durchgeführt. Dazu wurden die von *Zodiac Cabin Controls GmbH* zur Verfügung gestellten Wasserhahnprototypen mit Nickel-Chrom-Beschichtung im stationären Zustand und über Durchflussversuche auf deren Nickellöslichkeit ( $\text{Ni}^{++}$ ) untersucht.

### 7.6.1 Stationärer Zustand

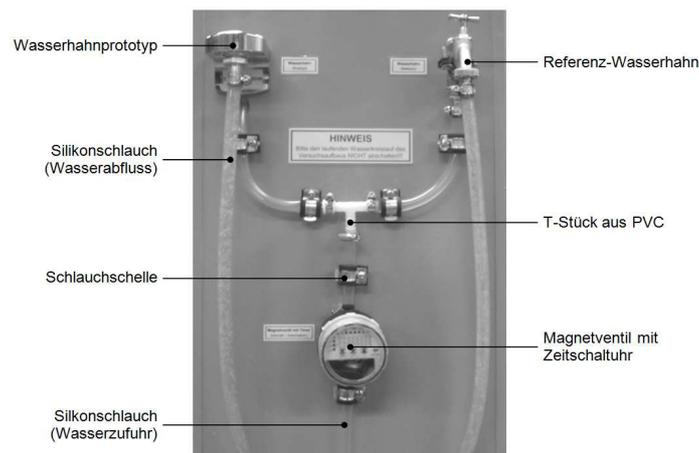
Der Versuchsaufbau für den stationären Zustand besteht in erster Linie aus den zu untersuchenden Wasserhahnprototypen, die jeweils mit einem Polyoxymethylen-Stopfen im Wasserhahnauslass (①) und einem Silikon-Stopfen im Wasserhahninnenteil (②) wasserdicht verschlossen worden sind. Untersucht wurde ein matt und ein glänzend chromierter Wasserhahnprototyp. Die *Abbildung 23* beschreibt den Versuchsaufbau für die Untersuchungen im stationären Zustand.



**Abbildung 23:** Versuchsaufbau – Stoffnachweis im stationären Zustand

### 7.6.2 Dynamisches System

Der Versuchsaufbau für den Nickelnachweis im dynamischen Zustand ist auf einem Montageträger befestigt und stellt einen vereinfachten Wasserkreislauf dar. Im Hinblick darauf, einen möglichst realen Tagesbetrieb simulieren zu wollen, wurde sich für ein System entschieden, dass mit einem täglichen Durchfluss von ca.  $0,3 \text{ m}^3$  arbeitet. Dies entspricht einer täglichen Gesamtlaufzeit von ca. 2 Stunden.



**Abbildung 24:** Versuchsaufbau – Stoffnachweis im dynamischen Zustand

Der Versuchsaufbau wurde mit einem Silikonschlauch an das Trinkwassersystem der HAW-Hamburg angeschlossen. Dies ermöglicht eine kontinuierliche Wasserzufuhr. Reguliert wird das System mit Hilfe eines Magnetventils und integrierter Zeitschaltuhr. Dies ermöglicht über den Tag verteilt zahlreiche Durchflussintervalle zu simulieren, die einer Flugzeugumgebung relativ nahe kommt.

Für Vergleichsmessungen wurde neben dem Wasserhahnprototyp ein handelsüblicher Referenz-Wasserhahn in den Versuchsaufbau integriert. Das gesamte System ist mit Silikonschläuchen verbunden, die mittels Schlauchschellen an den Montageträger befestigt sind. Über den Wasserhahnauslass erfolgt letztendlich die Probenentnahme.

## 8. Arbeitspaket WP 0-8: Engineering Tests / Verifikation

Dieses Arbeitspaket beinhaltet die kompletten Ausarbeitungen der Tests und Verifikationsphase. Dazu gehört die Definition der verschiedenen Testfälle, die die Funktionalität der realisierten Lösung nachweisen.

Der Demonstrator stellt in erster Linie den Wasserkreislauf und die Strom- und Spannungsversorgung des Gesamtsystems bereit und wird mit den einzelnen Systemkomponenten nacheinander bestückt.

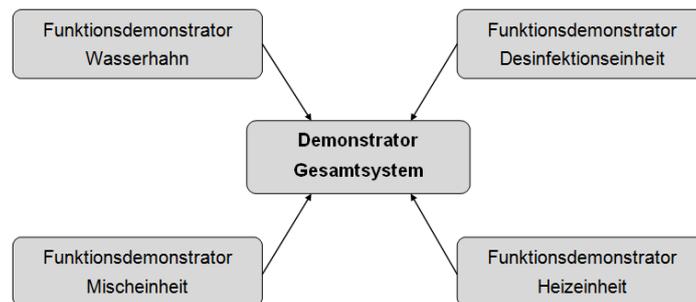


Abbildung 25: Darstellung der Integration der Funktionsdemonstratoren ins Gesamtsystem

### 8.1. Demonstrator

Der Demonstrator stellt für die komplette Test- und Verifikationsphase den Wasserkreislauf zur Verfügung. Nach erfolgreicher Verifizierung der einzelnen Komponenten werden diese in den Demonstrator des Gesamtsystems integriert

#### 8.1.1 Wasserkreislauf

Der Wasserkreislauf innerhalb des Demonstrators ist mit Druckluft beaufschlagt. Das System muss so ausgelegt sein, dass Betriebsdrücke von mindestens 3bar problemlos aufgebracht werden können. Dieser Betriebszustand wurde mit einem Druck-Dichtigkeits-Test bestimmt. Die *Abbildung 26* stellt den Wasserkreislauf des Demonstrators dar.

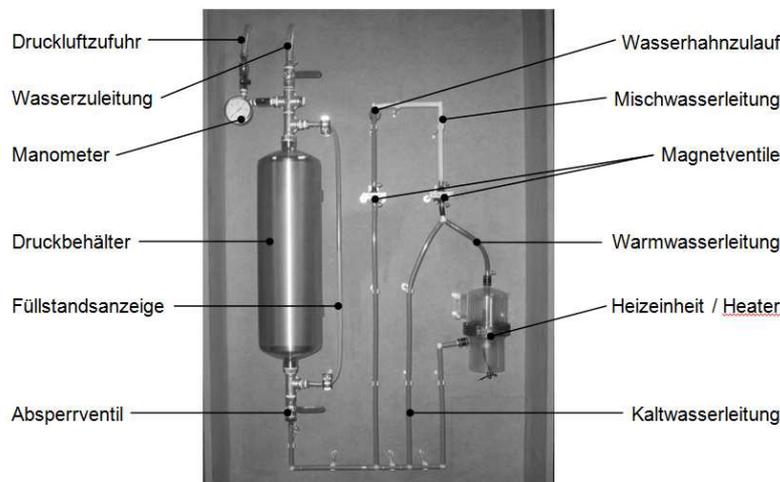
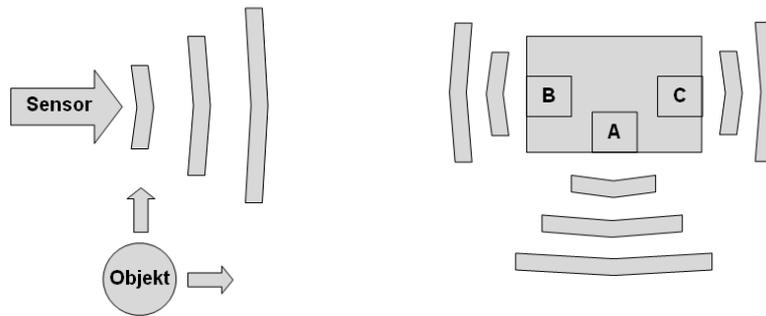


Abbildung 26: Wasserkreislauf des Demonstrators

## 8.2. Bedienelement am Wasserhahn

Die Infrarotsensoren müssen nicht nur auf den Einfluss der Umgebungsbeleuchtung hin untersucht werden, sondern es muss zusätzlich der Erfassungsbereich der Infrarot- und Ultraschallsensoren bestimmt werden, um eine passende Anordnung zu gewährleisten.



**Abbildung 27:** Bestimmung des Erfassungsbereiches Sensor / Bedienkonzept

Bei allen Sensoren muss der Einfluss von Spritz- und Seifenwasser und etwaigen Fremdkörpern auf die Funktionstauglichkeit überprüft werden. Außerdem ist ein Dauertest der Sensoren sinnvoll, um deren Verhalten bei längerem dauerhaften Gebrauch zu untersuchen. Bei den Berührungssensoren (Piezoscheibe und Atmel-Schalter) kann durch wiederholtes (automatisches) Auslösen der Schalter mit wechselnder Druckkraft eine optimale Einstellung des Sensors gefunden werden.

Ist die Funktionstauglichkeit der einzelnen Sensoren sichergestellt, so werden die Konzepte in die Prototypen des Wasserhahns integriert. An dieser Stelle liegt das Hauptaugenmerk des Tests in dem Zusammenspiel der verschiedenen Komponenten. Es muss gewährleistet sein, dass die Sensoren sich nicht gegenseitig beeinflussen.

Weitere wichtige Punkte sind die Ansprechzeiten der Sensoren, die Mensch-Maschine-Interaktion und Art der Anzeige. In diesem Zusammenhang sind auch kritische Zustände des Systems zu betrachten. Folgende Fragen lassen sich in diesem Zusammenhang klären:

- 1) Wie schnell wird eine Hand unter dem Wasserhahn detektiert?
- 2) Wie verhalten sich die Sensoren bei Interaktion mit dem Benutzer?
- 3) Wie wirken die Haptik, Bedienerfreundlichkeit und Visualisierung auf den Passagier?

### 8.2.1 Funktionsversuche – Sensoren

Alle verwendeten Sensoren wurden zunächst einer Funktionsüberprüfung unterzogen. Dabei wurde in erster Linie der Erfassungsbereich bestimmt und mit dem entsprechenden Datenblatt abgeglichen. Weiterhin wurden Versuche zum Einfluss der Spritzwassertauglichkeit und zur Funktionstauglichkeit bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen durchgeführt.

### 8.2.2 Funktionsversuche – Bedienkonzept

Nach erfolgreichem Test der Sensoren wurde diese zu einem definierten Bedienkonzept zusammen gefügt. Bevor die vollständige Integration der Sensoren in die *Rapid Prototyping* Modelle erfolgte, wurde zunächst das Zusammenspiel der gewählten Zusammenstellung untersucht. Hierzu wurden die Sensoren gemäß der Spezifikation des Bedienkonzepts an einem Träger befestigt.

### 8.2.3 Funktionsversuche am Demonstrator

Nach dem das Bedienkonzept *UNIVERSAL TOUCHLESS* auf die geeignete Zusammenstellung der Sensoren überprüft wurde, erfolgt mit den Funktionsversuchen am Demonstrator die abschließende Verifikationsphase. Dazu wurden die Sensoren und die Platine zur visuellen Rückmeldung in die *Rapid Prototyping* Modelle integriert und in den Demonstrator eingebaut.



Abbildung 28: RP-Modell am Demonstrator

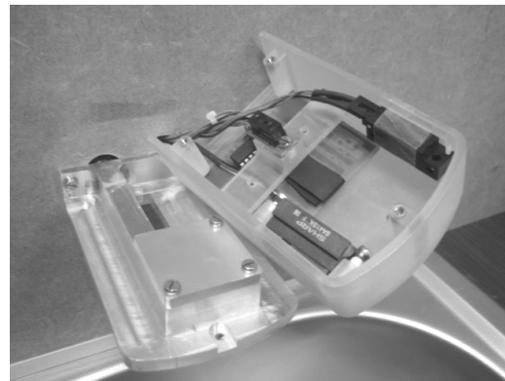


Abbildung 29: Deckelprinzip der RP-Modelle

Mit diesem Aufbau konnte die Tauglichkeit der Sensoren innerhalb des Demonstrators überprüft und der zeitliche Ablauf zwischen Auslösung des Handerkennungssensors und Wasserabgabe betrachtet werden. Durch den unterschiedlichen Erfassungsbereich der beiden Sensoren zur Temperaturwahl konnten zudem verschiedene Distanzen zwischen Hahn und Hand getestet werden. Ferner wurde die Empfindlichkeit der Sensoren gegenüber Feuchtigkeit getestet.

### 8.2.4 Ergebnisse, Fazit und Ausblick

Das erprobte Konzept zur berührungslosen Bedienung des Wasserhahns hat in den ersten Versuchen ein großes Potential gezeigt. Die Sensoren waren größtenteils unbeeinflusst durch äußere Umstände, wie sie beim gewünschten Verwendungszweck (Streulicht, Spritzwasser usw.) zu erwarten sind. Sinnvoll wären Langzeittests, um diese Ergebnisse weiter zu verifizieren und Alterungserscheinungen der Sensoren auszuschließen.

Bei einem Gegenstand, wie einem Wasserhahn ist die Ergonomie ein wichtiger Faktor bei der Bewertung der Funktionalität. Wünschenswert wäre in diesem Zusammenhang eine ergonomische Studie, um die Verwendung des Bedienelements benutzerfreundlicher zu gestalten, z.B. um eine geeignete Schaltdistanz für die Sensoren zu definieren.

### 8.3. Desinfektionseinheit

Die folgenden Ausarbeitungen zur Untersuchung der Desinfektionswirkung wurden in die verschiedenen Methoden gegliedert.

#### 8.3.1 Ozon-Desinfektion

Für die Untersuchung der Ozon-Desinfektion mit der Micro-Zelle der Firma *Innovatec* wurde mit Hilfe einer angefertigten Küvette Wasser mit Ozon versetzt und anschließend die Ozonkonzentration photometrisch bestimmt.

Die Stromstärke kann an der firmeneigenen Kontrollbox im Bereich von 10-200mA eingestellt werden. Die Temperatur, pH-Wert und Leitfähigkeit können gemessen werden. Die Durchflussrate wird mit Hilfe einer Pumpe reguliert. Um die Menge an Ozon im Wasser zu erfassen wird das CADAS200-Photometer verwendet.

Für die Bestimmung der Ozon-Konzentration wird N,N-Diethyl-1,4-phenylendiamin (DPD) und eine Kaliumjodid-Lösung verwendet. Dabei setzt das Ozon im Wasser aus Kaliumjodid eine der Ozon-Konzentration äquivalente Jodmenge frei, welche quantitativ mit DPD unter Bildung eines roten Farbstoffs reagiert. Um die Ozon-Konzentration im Trinkwasser zu ermitteln, muss zunächst eine Kalibriergerade erstellt werden.

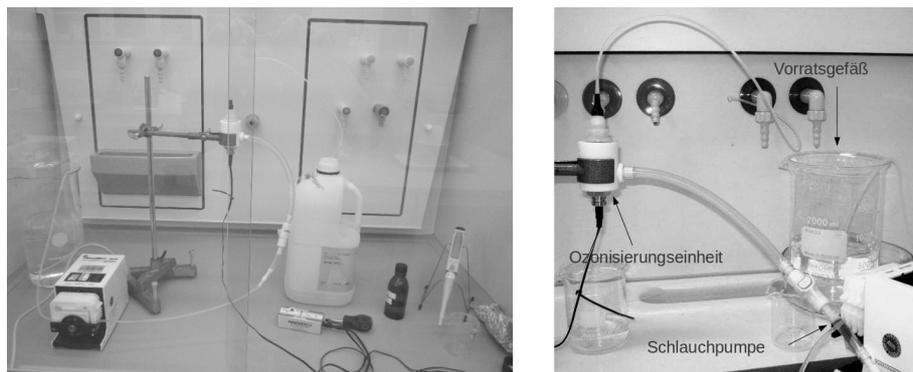


Abbildung 30: Versuchsaufbau zum Funktionstest der Innovatec-Zelle

Die *Abbildung 31* zeigt die Kennlinien der Ozonisierungseinheit in Abhängigkeit der Stromstärke mit der die *Innovatec-Zelle* versorgt wurde.

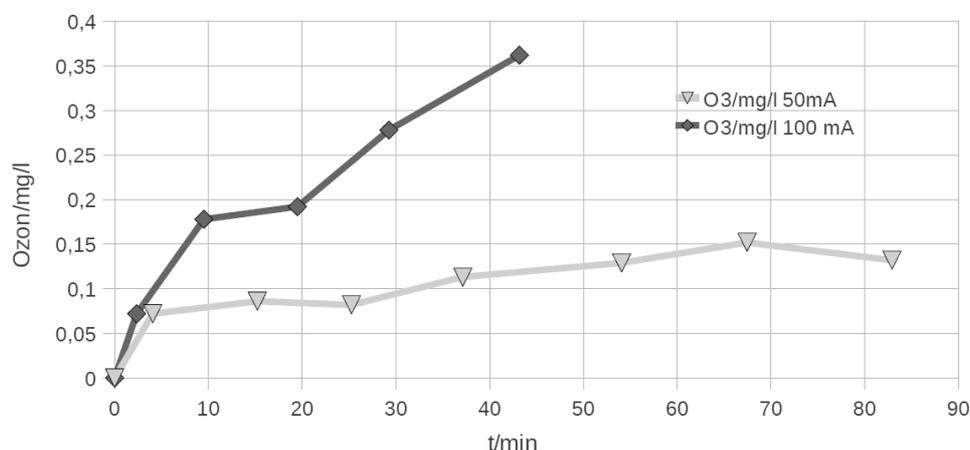


Abbildung 31: Ozon-Konzentration in Abhängigkeit vom eingestellten Strom

Aus den Kennlinien geht hervor, dass die von der *Innovatec*-Zelle produzierte Menge an Ozon mit voranschreitender Zeit mehr wird. Die Aufnahme der Kennlinie bei 100 mA wurde abgebrochen, weil die Ozon-Konzentration im Wasser sich dem Maxima des Messbereiches der Auswertemethode mit dem Photometer näherte.

Die ermittelten Ozon-Konzentrationen bei 50 mA Versorgungsstrom lagen über den Zeitraum der Messung innerhalb vom Messbereich. Der Verlauf der Kennlinie bei 50 mA deuten an, dass sich nach einer bestimmten Zeit im Betrieb eine Ozon-Konzentration im Wasser innerhalb eines Bereiches einstellt.

### **8.3.2 UV-LEDs**

Die Versuche zur Desinfektion mit UV-LEDs laufen im Rahmen einer Bachelorarbeit an der HAW-Hamburg. Im Gegensatz zu den bisher verwendeten UV-Lampen sind diese wartungsfreier, verbrauchen weniger Strom, haben eine höhere Lebensdauer und eine geringe Wärmeentwicklung.

Der entscheidende Vorteil liegt jedoch in der Intensität. Während UV-Lampen ein breites Spektrum haben, so können UV-LEDs eine exakte Wellenlänge ausstrahlen. Für die Desinfektion liegt die optimale Wellenlänge bei ~265nm. Somit kann eine UV-LED wirkungsvoll eingesetzt werden.

Im Rahmen des Projektes wurden keine Versuche mit den UV-LEDs durchgeführt. Es sind jedoch weitere Versuche in Planung, um Aussagen über die Desinfektionswirkung und deren Sättigungspunkt mit dem Einsatz einer bestimmten Anzahl von UV-LEDs machen zu können.

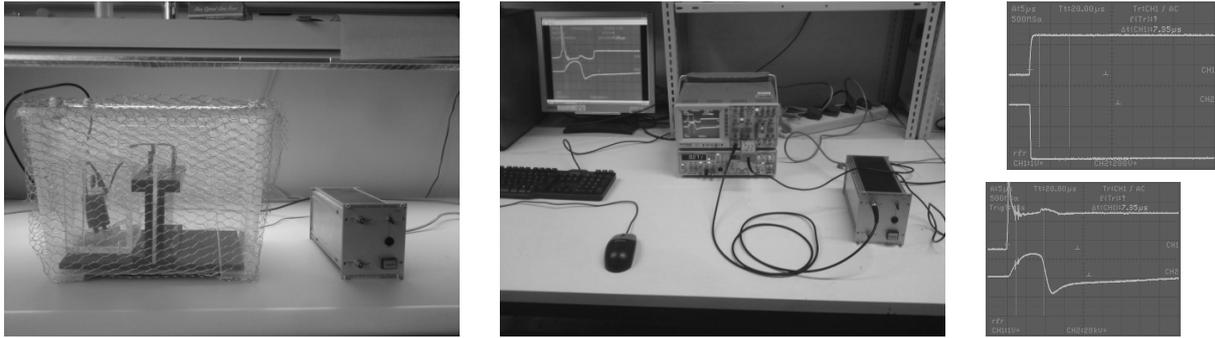
Jedoch stehen derzeit nur zwei UV-Dioden mit dem entsprechenden Wellenbereich zur Verfügung. Die Beschaffung weiterer UV-LEDs erweist sich derzeit als schwierig, da die derzeitige Marktsituation und dementsprechend die Preise einen hohen finanziellen Aufwand bedeuten würden.

### **8.3.3 Pulsed Electric Fields**

Mit den gepulsten elektrischen Feldern (PEF) wurden zunächst Vorversuche bezüglich des kapazitiven Verhaltens des Plattenkondensators mit eingelegter Plexiglas-Küvette im Pulsbetrieb durchgeführt und die Induktivität und Kapazität des konstruierten Versuchsaufbaus bestimmt.

Ziel des Versuches ist es die Leistungen der elektrischen Feldstärke zwischen den Kondensatorplatten zu ermitteln, wenn diese mit einem Puls angesteuert werden. Es soll geprüft werden, ob der Plattenkondensator mit eingesetzter Küvette im Zusammenspiel mit der Spule eine ausreichende Hochspannung erzeugen kann. Diese ist nötig um später mit dem Versuchsaufbau eine ausreichende Desinfektion bei der mit kontaminiertem Wasser gefüllten Küvette zu erzielen.

Dazu wird zuerst die Elektrische Feldstärke ermittelt, später dann auch noch die Induktivität, so wie die Kapazität der einzelnen Versuchsaufbauteile gemessen. Um eine bessere Aussage treffen zu können, werden mehrere Pulse auf den Plattenkondensator gegeben und aus den Ergebnissen ein Mittelwert gebildet.



**Abbildung 32:** Versuchsaufbau für Messungen mit gepulsten Feldern

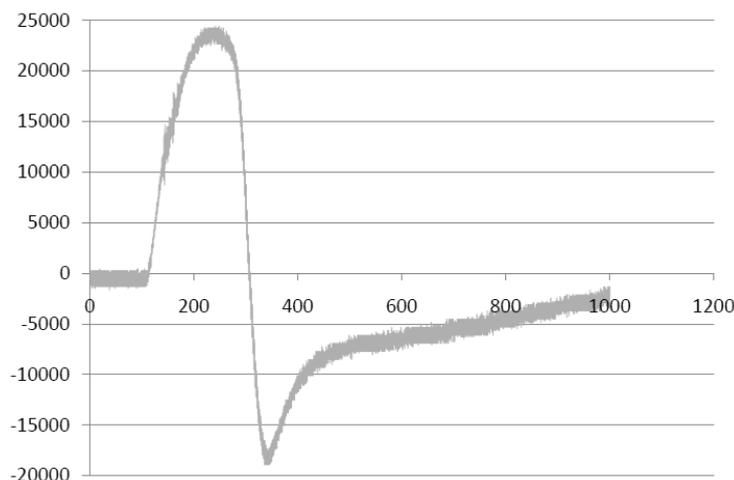
Zuerst sind ein paar Pulse auf die Versuchsanordnung zu geben, so dass das Oszilloskop entsprechend eingestellt werden kann. Es sollte so justiert werden, dass sowohl der gedämpfte Originalimpuls, als auch die erfasste Impulsantwort gut auswertbar auf dem Bildschirm des Messinstruments und des PC-Monitor erscheint.

Es wird ein Impuls auf den Plattenkondensator gegeben, als Live Bild ist der Impuls und die Impulsantwort auch auf dem Monitor zu verfolgen und bleibt dort bestehen. Nun können die Daten aus der PC-Software gespeichert werden. Hierfür wird jede Darstellung der Feldstärke als Bitmap-Datei gespeichert. Zudem gibt das Messwert-Tool die Möglichkeit die Messwerte als CSV-Datei zu speichern.

Die Messwerte werden in einem normalen und einem hochauflösenden CSV-Format gespeichert. Dieses bietet eine exaktere Analyse. Diese kommagetrennte Datei kann dann später in einem Excel Arbeitsblatt mit den Daten der anderen Messungen zusammengefasst werden. Hieraus wird zum Schluss ein Mittelwert der Daten gebildet und die Berechnungen für die Pulsdauer und maximaler Feldstärke vorgenommen.

Nachdem die Elektrische Feldstärke ermittelt wurde, müssen noch die Kapazitäten der Feldplatten, so wie der Kabel ermittelt werden. Dafür ist der das RLC-Meter entsprechend anzuschließen und die Kapazitäten bei den Verschiedenen Frequenzen von 100 Hz, 1 kHz, 10 und 25 kHz zu bestimmen.

Auch die Induktivität der Spulen muss erfasst werden dafür wird erst die Primär- danach die Sekundärspul-Induktivität bei den gleichen Frequenzen bestimmt.



**Abbildung 33:** Gemittelte elektrische Feldstärke über 5 Pulse

Aufgrund der bisher bekannten Studien kann davon ausgegangen werden, dass der Versuchsaufbau für die Desinfektion gut geeignet erscheint. Die erforderlichen Feldstärken, sowie die Zeitintervalle für die Pulsdauer erscheinen nach den Voruntersuchungen als zweckmäßig. Für die nachfolgenden Versuche wird eine unterschiedliche Anzahl von Pulsen benutzt, um die Wirksamkeit zu überprüfen.

Nach den erfolgreichen Vorversuchen bezüglich des kapazitiven Verhaltens des Plattenkondensators folgen nun die Ausarbeitungen zu den Versuchen zur Wasserdesinfektion mit den gepulsten elektrischen Feldern.

Ziel dieses Versuches ist es, die Leistung der Versuchskonstruktion bezüglich seiner Desinfektionseigenschaften zu ermitteln. Hierfür sollen verschiedene Parameter beachtet werden um eine genauere Aussage über die Leistung treffen zu können. Es soll geprüft werden, mit welcher Anzahl von Pulsen eine Desinfektionsstufe bei dem in der Küvette befindlichen kontaminierten Wasser erreicht wird. Des Weiteren ist zu prüfen, welche Log-Stufe dies entsprechend zur Ausgangslösung erreicht werden kann.

Zuerst sind die Verdünnungen der Ausgangskonzentration (1:10, 1:100, und 1:1000) herzustellen. Dafür wird jeweils in das vorher sterilisierte, demineralisierte Wasser 100ml, 300ml, 500ml Wasser die entsprechende Menge an *Staphylococcus Epidermis* gegeben. Von diesen verdünnten Lösungen werden jeweils zwei Referenzplatten beimpft und ausgestrichen. Diese dienen später für den Vergleich bezüglich vor und nach der Behandlung.

Als nächstes wird der mittlere Kanal der Küvette auf der einen Seite mit den zugehörigen Stopfen bis zu schwarzen Markierung verschlossen und über die andere Seite 1700µl eingefüllt. Anschließend muss die andere Seite mit den zweiten Stopfen abgedichtet werden. Die Küvette ist zwischen die Kondensatorplatten einzulegen und die Box ist mit dem Deckel und dem Drahtgestell zu verschließen. Über das eingeschaltete Triggermodul wird die entsprechende Anzahl von Pulsen über den Knopf auf die Platten gegeben.

Dabei wird bei den Versuchen mit den niedrigsten Konzentrationen und der niedrigsten Pulszahl angefangen um sicherzustellen, dass sich keine höheren Konzentrationen in der Küvette befinden und diese die folgenden Messungen beeinflussen. Nach jeder Messung wird der Kanal mit demineralisiertem Wasser gespült um Bakterienreste zu entfernen. Danach wird die Küvette wieder gefüllt und der nächste Test kann beginnen.

### ➔ Ergebnis

Die gesamten Agar-Nährbodenplatten waren so dicht besiedelt, dass kein Auszählen möglich war auch war keine Tendenz zwischen den verschiedenen Versuchen möglich. Es gab auch keine signifikanten Unterschiede zu den Referenzplatten, so dass hier als Ergebnis nur ein starker Befall der Versuchsplatten, als auch der Referenzplatten zu protokollieren ist.

Aufgrund der bebrüteten Agar-Platten zur Referenzmessung, ist eindeutig erkennbar, dass die Annahme der Ausgangskonzentration, so wie die Verdünnung nicht ausreichend war um eine genügende auszählbare Bebrütung zu erlangen. Des Weiteren ist aufgrund der gepulsten Platten die Aussage zu tätigen, dass evtl. etwas mit dem Aufbau nicht stimmt.

Nach den Annahmen, dass bei unserer Feldstärke bis zu 7 Log Stufen möglich sein sollten, müssten die Platten mit allen Konzentrationen und vielen Pulsen eigentlich so gut wie kein

Wachstum aufzeigen. Da dies nicht der Fall ist, muss dies noch einmal genauer untersucht werden.

### 8.3.4 Innenbeschichtung wasserführender Leitungen (Biofilm)

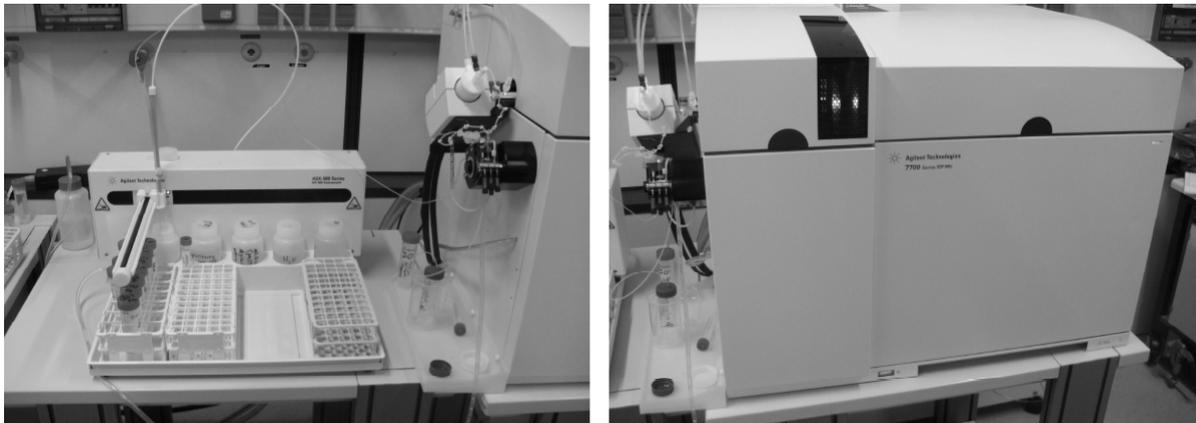
Im Rahmen von LuFo IV-2 wurde an der HAW ein Studienprojekt bearbeitet, das sich mit der Innenbeschichtung wasserführender Leitungen beschäftigt hat. Es wurden Untersuchungen zum Biofilmwachstum im Zusammenhang mit einem innenbeschichteten Nano-Silber-Schlauch durchgeführt, um Aussagen um die antimikrobielle Wirkung machen zu können. Darüber hinaus wurde die Konzentration der Silber-Ionen in der Innenbeschichtung der verwendeten Duschschräuche untersucht.

#### Silbernachweis an der Innenbeschichtung von Duschschräuchen

Neben den Desinfektionsuntersuchungen, also den Untersuchungen der antimikrobiellen Wirkung von Duschschräuchen (Biofilm), mit einer Nano-Silber-Innenbeschichtung, wurden Untersuchungen angestellt, die Aufschluss über die Silberkonzentration in den Schräuchen geben. Es wurden verschiedene Verfahren ausprobiert, um die Konzentration des Nano-Silbers an der Innenbeschichtung festzustellen:

#### ICP-MS (Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry)

Die Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma ist eine robuste, sehr empfindliche Analysenmethode in der anorganischen Elementanalytik. Sie wird u.a. zur Spurenanalyse von Schwermetallen, wie Quecksilber, Blei oder Cadmium benutzt. Mit der ICP-MS werden für die meisten Elemente des Periodensystems Nachweisgrenzen im Bereich von ng/l bzw. sub ng/l erreicht.



**Abbildung 34:** ICP-MS (Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry)

Im ICP-MS wird die Probe in kürzester Zeit auf ca. 6800 K erhitzt. Dadurch werden sämtliche chemische Bindungen zerstört und die freien Atome werden ionisiert. Eine Probe, die als Flüssigkeit vorliegt, wird mit Hilfe einer Schlauchpumpe angesaugt und in einen Zerstäuber gedrückt. Hier wird sie zusammen mit Argon zu einem extrem feinen Aerosol zerstäubt.

Im sog. Argon-Plasma liegt die Probe nun als Ion (Kation) vor. Das Plasma „brennt“ in einer elektromagnetisch abgeschirmten Kammer. Diese Kammer ist stark belüftet (Luftstrom ca. 5 m<sup>3</sup>/min) und steht unter normalem Atmosphärendruck. Durch eine Druckdifferenz werden die Ionen aus dem Zentrum des Plasmas gesaugt und anschließend analysiert.

## ➔ Ergebnis

In dem untersuchten Schlauchstück wurde eine Konzentration von ca. 10 µg Ag/l nachgewiesen. Die angesetzte Lösung musste 1:10 verdünnt werden, da die Konzentration außerhalb des Messbereichs lag.

## Untersuchungen zur Biofilmbildung

Der Biofilm ist eine Schleimschicht, die von Mikroorganismen, wie Algen und Pilzen ausgebildet werden. Dieser dient den zahlreichen Mikroorganismen hauptsächlich als Schutz vor äußeren Umwelteinflüssen. Ein Biofilm kann sich praktisch überall bilden, und obwohl er in der Natur allgegenwärtig ist, können Sie bei dem Menschen oft bakterielle Infektionskrankheiten auslösen.

Aufgrund der strengen Richtlinien der Trinkwasserverordnung, bei der die Zahl und Art der Mikroorganismen im Wasser akribisch geregelt sind, spielt auch die Sauberkeit/Keimfreiheit der Schlauchinnenwände, die das Trinkwasser transportieren eine wichtige Rolle. Auf diesen Grundlagen wurden spezielle Versuche definiert, sowie entsprechende Versuchsaufbauten konzipiert und optimiert.

Um nicht nur die Stärke des Biofilmwachstums zu protokollieren, sondern auch eventuell bessere wasserführende Schläuche zu ermitteln, wurde sich für einen Vergleichsversuch zwischen einem herkömmlichen Duschschauch und einem Nano-Silber beschichteten Duschschauch entschieden. Dabei wurden alle Schläuche mit Wasser befüllt und jeweils in gleichbleibenden Umgebungsbedingungen gelagert.

Für die gesamte Versuchsreihe wurden zwei Ansätze gewählt.

Beim ersten Ansatz wurde zuvor autoklaviertes Wasser bewusst mit *pseudomonas putida* Keimen kontaminiert. In diesem Ansatz ist eine Lebendkeimzahlbestimmung geplant. Diese wird durchgeführt, bei der sowohl das Wasser als auch einen Abstrich der Schlauchinnenwände auf Nährbodenplatten überführt werden, um das Bakterienwachstum analysieren zu können. Des Weiteren wurde eine Endoskopie der Schlauchinnenwände durchgeführt um den Biofilm optisch nachzuweisen

Die Analysen des Wassers und der Schlauchinnenwände auf Biofilm bzw. auf die Quantität der biofilmbildenden Bakterien wurden jeweils in gleichbleibenden Abständen von drei Tagen durchgeführt. Um auch abgestorbene Keime berücksichtigen zu können, erfolgte zusätzlich eine Proteinbestimmung.

Da sich der erste Ansatz lediglich auf die Quantität biofilmbildender Keime bezieht, wurde ein zweiter Ansatz gewählt, der auch die Qualität, also die Artenvielfalt der Bakterien ermittelt. Dazu wurden die gleichen Schläuche, die auch beim ersten Ansatz gewählt wurden, mit normalem abgestandenem Leitungswasser befüllt. Mithilfe von sog. *EcoPlates* kann dann nachgewiesen werden, welche Arten von Bakterien sich in den Schläuchen befinden. Dabei wurde das Augenmerk auch auf den Unterschied zwischen herkömmliche Duschschräuche und mit Nano-Silber beschichteten Schläuchen gelegt.

Da eine Silberbeschichtung schon lange als besonders bakterienabweisend gilt, wurde von den Versuchsreihen erwartet, dass der mit Nano-Silber beschichtete Schlauch einen geringeren Bakterienbewuchs aufweist, als der herkömmliche Duschschauch. Auch die

Artenvielfalt dieses Schlauches sollte geringer sein, als bei dem herkömmlichen Vergleichsmodell.

In einem Langzeitversuch wurden die Schläuche mit kontaminierten Trinkwasser befüllt und mit Stopfen verschlossen worden. In gewissen Abständen wurden die unter gleichbleibenden Bedingungen (stetige Temperaturkontrolle) senkrecht hängenden Schläuche untersucht. Des Weiteren wurde das kontaminierte Wasser nach der Befüllung der Schläuche auf folgende Parameter untersucht:

- Leitfähigkeit
- Sauerstoffgehalt
- Keimzahlbestimmung

Nach Ablauf der entsprechenden Lagerzeit wurden von den Duschschräuchen jeweils das enthaltene Wasser (a) und der Innenschlauch (b) auf folgende Parameter analysiert:

- Leitfähigkeit (a)
- Sauerstoffgehalt (a)
- Keimzahlbestimmung (a)
- Abstrich (b)
- Endoskopie (b)
- Proteinbestimmung (b)

Für den zweiten Ansatz wurde zusätzlich vom in den Schläuchen enthaltenen Wasser eine Keimidentifizierung mit den *EcoPlates* durchgeführt.

### Endoskopie

Die Endoskopie ist eine Methode, die ursprünglich für die humanmedizinische Diagnostik entwickelt wurde. Das Gerät wird in erster Linie verwendet, um in das Innere eines lebenden menschlichen Organismus blicken zu können. Für die Untersuchung der Innenwände der Schläuche wurde ein Stab-Endoskop verwendet.

Das Endoskop wurde den Schlauch eingeführt um anschließend ein Kamerabild von den Schlauchinnenwänden aufzunehmen. Dabei variierte die Methode. Da der verwendete Keim *pseudomonas putida* eine fluoreszierende Eigenschaft hat, wurde die Schlauchinnenwand nicht nur unter normaler Beleuchtung, sondern auch unter UV-Licht analysiert.

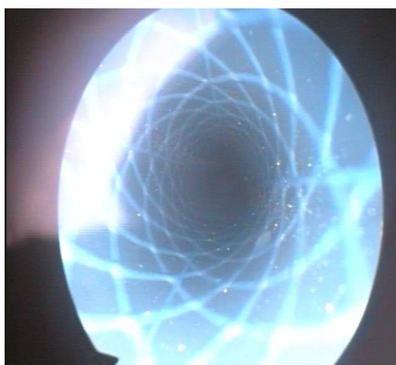


Abbildung 35: Normal-Licht-Analyse

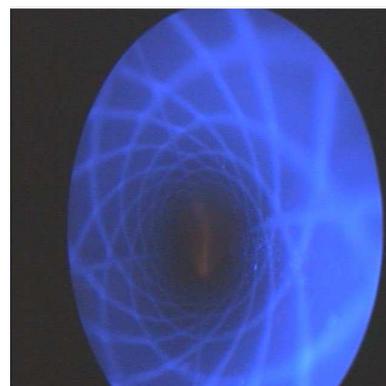


Abbildung 36: UV-Licht-Analyse

### Proteinbestimmung

Die Proteinbestimmung ist eine Methode in biochemischen und biologischen Laboren, die es ermöglicht, den qualitativen oder quantitativen Gehalt von Proteinen in einer Probe zu bestimmen. Die Proteine, auch Eiweiße genannt, sind Makromoleküle, die aus Aminosäuren zusammengesetzt sind. Jede lebende Zelle enthält Proteine, die je nach Zusammensetzung verschiedene Aufgaben übernehmen. So können sie als Enzyme den Stoffwechsel regeln,

als Hormone Informationen vermitteln, aber auch als Gerüststoffe für Zellen und Gewebe dienen.

Im Rahmen der Untersuchungen zur Innenbeschichtung wasserführender Leitungen wurde die quantitative Proteinbestimmung nach Bradford durchgeführt. Diese ermöglichte es, neben den lebenden Keimzellen in den Schlauchproben, auch die Gesamtkeimzahl zu bestimmen. Während auf den Nährböden nur lebende Keime wachsen und somit ausgewertet werden können, kann man mit der quantitativen Proteinbestimmung den Proteingehalt aller Keime nachweisen. Somit kann eine Aussage über den Bakterienbestand in den Schläuchen gemacht werden, indem sowohl lebende auch als bereits abgestorbene Keime betrachtet werden.

Der Bradford-Test ist eine photometrische Methode. Einen Rückschluss auf die in der Probe enthaltene Menge an Protein kann über die jeweilige Stärke der Absorption gemacht werden. Ist diese hoch, so befindet sich viel Eiweiß in der Probe. Um einen Bezug zu einer bereits bekannten Größe zu haben, arbeitet man beim Bradford Test hauptsächlich mit einer aus BSA (Rinderserumalbumin) hergestellten Eichstandardkurve. Mit Hilfe dieser können die später gemessenen Absorptionsstärken den richtigen Konzentrationen zugeordnet werden.

Im Rahmen der Untersuchungen wurde die Proteinbestimmung an den Schlauchstücken durchgeführt, indem diese zunächst mit einer Extraktionslösung vollständig bedeckt wurden. Anschließend wurden die Gefäße für eine halbe Stunde auf ein drehbares Rad geklemmt. Dadurch ist eine effektivere Ablösung der Proteine von den Schlauchstücken gewährleistet.

Die Lösung, in der sich nun die abgelösten Proteine von den Schlauchstücken befinden, wurde daraufhin in eine Photometerküvette pipettiert und anschließend bei einer Wellenlänge von 595nm photometrisch analysiert. Die gemessenen Absorptionsgrade konnten dann Proteinkonzentrationen zugeordnet werden, welche über eine Standardkurve bestimmt wurden.

### BIOLOG Plates

Um neben der Quantität des Bakterienbewuchses auch eine Aussage über die bakterielle Lebensgemeinschaft in den Duschschräuchen machen zu können, erfolgte im 2. Ansatz des Versuches das Arbeiten mit Mikroliterplatten der Firma BIOLOG mit dem Namen EcoPlate. Diese Platte besitzt 96 Vertiefungen, wobei 31 Substrate in jeweils 3-facher Ausführung vorkommen. Zudem kommt jeweils noch ein Well, also eine Vertiefung der Platte hinzu, in der sich zur Kontrolle nur normales Wasser befindet.

Bei den 31 Substraten handelt es sich um Kohlenstoffsubstrate, die sich wiederum in 6 Untergruppen einteilen lassen. Es sind unter den 31 Substraten also Amine, Aminosäuren, Kohlenhydrate, Karbonsäure, Polymere und Phenolische Verbindungen vertreten. Bei Abbau dieser Substrate durch Mikroorganismen werden diese zu einem rosafarbenen Farbkomplex reduziert.

Für die Benutzung der EcoPlates wurden die Duschschräuche, sowohl die handelsüblichen als auch die Nano-Silber innenbeschichteten mit Leitungswasser befüllt. Die Entnahmestelle des verwendeten Leitungswassers wurde zuvor mehrere Wochen nicht genutzt.

Das Leitungswasser wurde nach der Befüllung für zirka 6 Wochen in den Duschschräuchen bei gleichen Umgebungsbedingungen gelagert. Nach der Lagerzeit wurde das Wasser aus

den Schläuchen zunächst in sterile Bechergläser überführt, und anschließend in die 96 Wells der EcoPlates pipettiert. Für die Analyse wurden jeweils 2 EcoPlates mit Wasser aus dem handelsüblichen Duschschauch und 2 EcoPlates mit Wasser aus dem innenbeschichteten Duschschauch verwendet.

Diese Platten wurden dann in einem Brutschrank bei 25 Grad Celsius gelagert. An fünf aufeinanderfolgenden Tagen wurde dann die Platte einmal täglich gemessen. Die Messung, bei der die Farbentwicklung der einzelnen Vertiefungen aufgenommen wurde, erfolgte mit einem Photometer bei einer Wellenlänge von 595nm.

Bei der Messung im Photometer wurden aus jedem Well die optische Dichte aufgenommen. Ist diese hoch, so ist die Farbentwicklung stark und es kann davon ausgegangen werden, dass eine hohe Bakteriendichte, die das jeweilige Substrat nutzt, vorliegt.

### ➔ Ergebnis

Im Rahmen der Untersuchungen zur Biofilmbestimmung wurden zwei Analysenansätze gewählt. Zunächst beziehen sich die Auswertungen auf den ersten Ansatz, bei dem die Befüllung der Schläuche mit kontaminiertem Wasser erfolgte.

Die Schläuche, bei denen es sich sowohl um herkömmliche Duschschräume als auch um Nano-Silber innenbeschichtete Schläuche handelt, wurden mit kontaminierten Wasser befüllt. Um sicherzustellen, dass sich der *pseudomonas putida* Keim in dem Analysenwasser befindet, wurde vor der Befüllung der Schläuche dieses auf die Lebendkeimzahl überprüft. Obwohl *pseudomonas putida* im Wasser nachgewiesen werden konnten, hat sich bei der Auswertung an den jeweiligen Versuchstagen jedoch ergeben, dass so gut wie keine Keime (sowohl *pseudomonas putida* als auch andere Keime) im Wasser nachzuweisen waren.

Auch bei der Methode des Abstriches, bei dem sämtliche Schlauchinnenwände auf Keime untersucht wurden, ergab sich eine schlechte Wiederfindungsrate des *pseudomonas putida*.

Aufgrund der Vermutung, dass normales Wasser aufgrund des osmotischen Druckes die Zellen zerstören könnten, wurde der gleiche Ansatz noch einmal mit 0,9% Natrium-Chlorid-Lösung gewählt. Auch bei dieser Methode ergaben sich keinerlei zufriedenstellenden Ergebnisse in Bezug auf die Lebendkeimzahl.

Trotz den überwiegend wenigen Keimzahlen auf den Nährbodenplatten, so ergaben die Wasseranalysen, dass der handelsübliche Schlauch, entgegen aller Erwartung tendenziell eine geringere Keimzahl aufweist, als der Nano-Silber innenbeschichtete Schlauch.

Bei den Keimzahlen der Schlauchinnenwände kann aufgrund des unregelmäßigen Keimbewuchses im Schlauch selbst und aufgrund der relativ ausgeglichen Keimzahlen beider Schlauchtypen keine repräsentative Aussage getroffen werden.

Es wird vermutet, dass der Grund für die geringe Lebendkeimzahl in den, für diese Bakterien, nicht optimalen Lebensbedingungen in den Schläuche zu suchen ist. Offenbar sind die Keime, während der Lagerung im Schlauch abgestorben. Dies könnte an der zu intensiven Desinfektion der Schlauchstopfen, an fehlenden Nährstoffen oder ähnlichen liegen.

Auffällig ist, dass der Leitfähigkeitswert bei den mit Nano-Silber innenbeschichteten Schläuchen immer über dem Wert für den handelsüblichen Schlauch liegt. Eventuell lösen

sich Stoffe aus dem Schlauch, die sowohl die Leitfähigkeit als auch die Lebensqualität der Bakterien beeinflussen könnten. Auch bei der Sauerstoffmessung lässt sich für den Nano-Silber innenbeschichteten Schlauch ein höherer Sauerstoffwert nachweisen.

Bei der Analyse mit Hilfe der Endoskopie spiegelte sich dasselbe Bild wie bei der Lebendkeimzahlbestimmung wieder. Es konnte optisch kein Biofilm nachgewiesen werden. Auch bei der Beleuchtung mit UV-Licht, zeigte sich kein fluoreszierendes Leuchten der *pseudomonas putida*.

Um neben der Lebendkeimzahl auch die Gesamtkeimzahl, also lebende und tote Zellen gleichzeitig, zu bestimmen, wurde des Weiteren eine Proteinanalyse durchgeführt. Es ergab sich bei dieser Methode jedoch auch kein auswertbares Ergebnis. Dies liegt daran, dass zum Extrahieren der Bakterien vom Schlauch eine Substanz genutzt wurde, die sich später als sehr störend für die photometrische Messung darstellte. Die Vermutung liegt nahe, dass sich bei weiterer Optimierung der Methode ein erfolgreiches Ergebnisse ermitteln lässt.

In dem zweiten Ansatz, in dem die Qualität der Bakterien, also die Artenvielfalt im Wasser, überprüft werden sollte, wurde mit sogenannten EcoPlates gearbeitet.

In diesem Versuch wurde mit abgestanden Leitungswasser gearbeitet und es wird vermutet, dass wahrscheinlich aufgrund der geringen Keimzahl im Trinkwasser (siehe Trinkwasser Verordnung) diese unter der Nachweisgrenze der EcoPlates liegt. Da der 2. Ansatz nur als Nebenversuch galt, wurde sich nicht weiter auf Optimierungsmöglichkeiten konzentriert. Es liegt jedoch nahe, dass die Wahl einer anderen Methode für diesen Zweck sinnvoller erscheint.

## 8.4. Heizeinheit

Die Keramikheizelemente, welche in Arbeitspaket WP 0-6 näher spezifiziert wurden, sind in Bezug auf die Aufheizzeit in Abhängigkeit von der Leistungsaufnahme untersucht worden. Dabei wurde die Aufheizzeit des in der Heizeinheit befindlichen Wassers betrachtet.

### 8.4.1 Aufheizzeit

Bei diesen Versuchen wurde auch das Rohrheizelement von *Zodiac Cabin Controls GmbH* getestet, um Vergleichswerte für die Performance der Keramikheizelemente zu erhalten. Insgesamt wurden drei Versuchsreihen durchgeführt:

- Rohrheizelement
- Keramikelement, einzelner Heizstab
- Keramikelement, zwei Heizstäbe

Für die Versuche war die Heizeinheit in einer Halterung fixiert. Die Netzqualitätsmesszange wurde so angeschlossen, dass während der Messung Strom, Spannung und Leistung gemessen werden konnten. Mit der Wärmebildkamera wurde die Temperaturänderung der Heizeinheit von außen gemessen. Die PT100 Sensoren wurden so angebracht, dass mit ihnen die Temperatur im Wasser an drei verschiedenen Punkten (*Abbildung 21*) gemessen werden konnte.



**Abbildung 37:** Versuchsaufbau der Heizelemente

### Durchführung der Messungen

Für die Messungen wurde die Heizeinheit mit definierten Wassermengen mit einer Temperatur von 10°C befüllt. Bei den Versuchen mit Keramikheizelementen wurden jeweils 800ml Wasser benutzt. Bei den Versuchen mit dem Rohrheizelement wurde die Heizeinheit mit 775ml Wasser befüllt, wodurch die Heizeinheit seinen maximalen Füllstand erreichte.

Die Messungen liefen folgendermaßen ab:

1. Starten des Messprogramms
2. Aufnahme eines Wärmebildes (Wiederholung alle 30 bis 60 Sekunden)
3. Starten der Aufzeichnung der Leistungsaufnahme
4. Anschalten der Spannungsversorgung
5. Aufwärmen des Wassers in der Heizeinheit auf über 40°C (gemessen am unteren Sensor)
6. Abschalten der Spannungsversorgung
7. Abschalten der Messung der Leistungsaufnahme
8. Abschalten des Messprogramms

### ➤ Ergebnis

Bei den durchgeführten Versuchen zeigte sich, dass die Keramikheizelemente durchaus eine Alternative zu dem Rohrheizelement darstellen. Das Brauchwasser wird zum Teil schneller und gleichmäßiger erhitzt.

## 8.5 Stoffnachweis

Die Untersuchungen der Wasserhahnprototypen zielten einzig und allein auf die Bestimmung der Nickel-Konzentration im Trinkwasser ab. Dazu wurden Versuche im stationären Zustand und in einem dynamischen System durchgeführt. Die Auswertung erfolgte im Labor für instrumentelle Analytik an der HAW-Hamburg-Bergedorf. Das verwendete Gerät ist ein Graphitrohr-AAS (Atom-Absorptions-Spektrometer).

### 8.5.1 Stationärer Zustand

Die stationären Messungen wurden mit einem glanzverchromten und einem mattverchromten Wasserhahnprototypen durchgeführt. Zunächst wurden die Wasserhähne mit destilliertem Wasser (ca. 3ml) nach VDE-Vorschrift 0510 befüllt und auslaufsicher verschlossen. Die erste Bestimmung der Nickel-Konzentration erfolgte nach einer Stagnationszeit von zwei Wochen, eine weitere Probe wurde nach drei Wochen analysiert.

### 8.5.2 Dynamisches System

Der Nachweis zur Nickel-Konzentration im Trinkwasser innerhalb eines dynamischen Systems erfolgte über einem Zeitraum von 10 Wochen. In wöchentlichen Abständen erfolgte die Probenentnahme. Eine Probe wurde aus dem glanzverchromten Wasserhahnprototyp und für Vergleichsmessungen eine Probe aus dem handelsüblichen Referenz-Wasserhahn entnommen. Zusätzlich wurde vor jeder Probenentnahme eine sogenannte Nullprobe aus dem Trinkwassersystem der HAW-Hamburg entnommen.

### 8.5.3 Auswertung der Ergebnisse

Es wurden Durchflussmessungen von 07.04.2011 bis 16.06.2011 durchgeführt mit dem Ergebnis, dass die Konzentrationen an Nickel Ni<sup>++</sup> durchweg unter dem von der deutschen Trinkwasserverordnung festgesetzten Grenzwert von 20 µg/l lagen.

Ferner wurden stationäre Messungen mit einem glanz- und einem mattverchromten Wasserhahnprototypen in der Zeit vom 25.Mai 2011 bis 16.Juni 2011 durchgeführt. Die Messungen haben ergeben, dass bei Stagnation des Wassers die Grenzwerte der deutschen Trinkwasserverordnung in beiden Fällen deutlich überschritten wurden!

**Tabelle 31:** Nickelkonzentration

Stagnationszeit (stationär)	Nickelkonzentration im Wasserhahnprototyp		Grenzwert (TrinkwV)
	mattverchromt	glanzverchromt	
nach 2 Wochen	45 µg/l	68 µg/l	20 µg/l
nach 3 Wochen	63 µg/l	65 µg/l	20 µg/l
Stagnationszeit (dynamisch)	Nickelkonzentration im Wasserhahn		Grenzwert (TrinkwV)
	Prototyp	Referenz	
Start	2 µg/l	1,5 µg/l	20 µg/l
nach 1 Woche	-2,6 µg/l	-3,1 µg/l	20 µg/l
nach 2 Wochen	0,13 µg/l	0,13 µg/l	20 µg/l
nach 3 Wochen	-0,18 µg/l	-0,4 µg/l	20 µg/l
nach 4 Wochen	-	-	20 µg/l
nach 5 Wochen	0,02 µg/l	-0,14 µg/l	20 µg/l
nach 6 Wochen	0,17 µg/l	0,0 µg/l	20 µg/l
nach 7 Wochen	-0,25 µg/l	-0,25 µg/l	20 µg/l
nach 8 Wochen	-	-	20 µg/l
nach 9 Wochen	-0,25 µg/l	-0,13 µg/l	20 µg/l
nach 10 Wochen	-0,15 µg/l	-0,15 µg/l	20 µg/l

## Zusammenfassung / Ausblick

Dieser Abschlussbericht beinhaltet die Ausarbeitungen zu den im Vorfeld definierten Arbeitspaketen WP 0-1 bis WP 0-8. Beginnend mit der Marktrecherche und die darauffolgende Schnittstellenanalyse, über die Definition von verschiedenen Produktkonzepten und deren Bewertung, bis hin zur Erstellung einer Spezifikation für das gewählte Gesamtsystem und die abschließenden Versuche zur Verifikation.

In Arbeitspaket WP 0-1 wurde eine umfangreiche Marktrecherche durchgeführt. Diese wurde in verschiedene Bereiche, wie Sensorik, Heizelemente, Desinfektion etc., unterteilt, um eine gezielte Auswertung durchführen zu können. Dabei wurde berücksichtigt, welche Technologien in Abhängigkeit vom jeweiligen Reifegrad, bei einer zukünftigen Produktentwicklung, maßgeblichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Produkts haben könnten.

In WP 0-2 wurde eine Schnittstellenanalyse vom Gesamtsystem Flugzeug angefertigt. Diese bildete die Grundlage für die Definition der Schnittstellen der einzelnen Produktkonzepte. Mittels der Black-Box-Methode und deren Darstellung konnten die jeweiligen Schnittstellen problemlos analysiert werden.

Die Erarbeitung der Bewertungskriterien in Zusammenhang mit der Methodik waren Bestandteil der Ausarbeitungen zu Arbeitspaket WP 0-3. Diese Arbeit erfolgte über einen langen Zeitraum, da bis zur eigentlichen Bewertung ständig neue Einflüsse eine Optimierung notwendig machte. Die erzielten Ergebnisse basieren größtenteils auf Teamarbeit in Form von diversen Brainstormings und Gruppendiskussionen.

Die Definition von Produktkonzepten war Hauptaufgabe des Arbeitspakets WP 0-4. Dabei wurden nicht nur verschiedenen Systemkonzepte für das Gesamtsystem erarbeitet, sondern auch diverse Konzepte für die Teilsysteme: Heizeinheit, Desinfektion und Bedienelement am Wasserhahn.

Im Arbeitspaket WP 0-5 erfolgte die Bewertung der einzelnen Produktkonzepte.

Die Spezifizierung des Gesamtsystems erfolgte in Arbeitspaket WP 0-6. Die Grundlage dafür bildete in erster Linie die Randbedingungen/Anforderungen an das Gesamtsystem und den Systemkomponenten. Aus der Bewertungsmatrix der Gesamtkonzepte wurde das innovative Konzept als beste Lösung analysiert und für die spätere Verifikationsphase spezifiziert.

In Arbeitspaket WP 0-7 wurde der Versuchsaufbau verschiedener Funktionsdemonstratoren dokumentiert, um die Produktkonzeptlösungen zu verifizieren und hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit, Zulassbarkeit und tatsächlicher Leistungsfähigkeit zu testen. Diese sogenannte Test- und Verifikationsphase erfolgte im abschließenden Arbeitspaket WP 0-8. In dieser wurde mittels verschiedener Testfälle die Funktionalität der realisierten Lösung nachgewiesen.

Da in der Testphase nicht alle Produktlösungen verifiziert werden konnten, stellen die dazugehörigen Ausarbeitungen lediglich eine Momentaufnahme dar. Der Projektstand verfügt noch über genügend Potential für weiterführende Messungen und Versuchsreihen.

---

## Literaturverzeichnis

- AUCKENTHALER / HUGGENBERGER** AUCKENTHALER, Adrian ; HUGGENBERGER, Peter: Pathogene Mikroorganismen im Grund und Trinkwasser. Birkhäuser Verlag, 2003. ISBN 3-7643-6950-7
- BARGEL 2000** BARGEL, Hans-Jürgen, Schulze Günther: Werkstoffkunde. Springer Verlag, Berlin 2000. 10.Auflage, ISBN: 3540792961
- BLUME 2006** BLUME, Torben: Potenziale von Ultraschall bei der Desinfektion wässriger Medien. GFEU an der TUHH, 2006. – ISBN 3-930400-90-1
- BOLTON 1999** BOLTON, J.R., Henke, L. 1999. Ultraviolet disinfection: A basic primer. Water Conditioning and Purification (WCP) 04, 34-38. Bolton, J.R.. Ultraviolet application handbook. Bolton Photo-sciences Inc.
- BÖHM 2002** Grundlagen der Reinigung und Desinfektion. In: D. Strauch und R. BÖHM (Hrsg. 2002): Reinigung und Desinfektion in der Nutztierhaltung und Veredelungswirtschaft. Enke Verlag, Stuttgart.
- DIETZE 2004** DIETZE, Alexander: Oberflächenwasseraufbereitung durch Membranfiltration. VDI Verlag GmbH, 2004. – ISBN 3-18-381303-3
- DVGW 1986** DVGW: Chlordioxid in der Wasseraufbereitung. Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V., 1986.
- DVGW 1991** DVGW: Dosieranlagen für Desinfektions- bzw. Oxidationsmittel. Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V., 1991.
- DVGW 1996** DVGW Arbeitsblatt W512 09/1996: Verfahren zur Beurteilung der Wirksamkeit von Wasserbehandlungsanlagen zur Verminderung von Steinbildung. Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V.
- DVGW 2002** DVGW Merkblatt W225 05/2002 : Ozon in der Wasseraufbereitung. Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V., 2004.
- DVGW 2004** DVGW Arbeitsblatt W551 2004: Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums in Neuanlagen. Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V., 2004.
- DVGW 2005** DVGW Arbeitsblatt W 213-5 06/2005: Filtrationsverfahren zur Partikelentfernung, Teil 5: Membranfiltration. Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V., 2005.
- DVGW 2006** DVGW: UV-Geräte zur Desinfektion in der Wasserversorgung, Teil 1: Anforderungen an Beschaffenheit, Funktion und Betrieb. Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V., 2006.
- GIMBEL 2004** GIMBELI, Prof. Dr.-Ing. R. ; Jekel, Prof. Dr.-Ing. M. ; Liessfeld, Dipl.- Ing. R.: Wasseraufbereitung, Grundlagen und Verfahren. Oldenbourg Industrieverlag GmbH, 2004. – ISBN 3-486-26365-X

- GOLDSTONE 1998** GOLDSTONE, R.J.; Rutherford, P.H.: Plasmaphysik, Eine Einführung. 1998.
- LEADLEY / WILLIAMS 2001** LEADLEY, C., A. WILLIAMS and Chorleywood Food Association (2001): Current and potential applications for power ultrasound in the food industry. New- Food. 4, 23-26
- LIPP 2005** LIPP, Dr.-Ing. P. ; BALDAUF, Dr.Ing. G. ; KÜHN, Prof. W.: Membranfiltrationsverfahren in der Trinkwasseraufbereitung - Leistungen und Grenzen. In: GWF-Wasser Abwasser 13 (2005), März, Nr. -, S. 50–61
- PILSL 1997** PILSL, J. Wasser als Wärmeträger. Hüthig-Verlag, Heidelberg 1997.
- RASO 1998** RASO, J., A. Palop, R. Pagan and S. Condon (1998): Inactivation of Bacillus subtilis spores by combining ultrasonic waves under pressure and mild heat treatment. J. Appl. Microbiol. 85, 849-854
- ROESKE 2006** ROESKE, Wolfgang: Trinkwasserdesinfektion. Oldenburg Industrie-verlag, 2006. – ISBN 3-486-63065-2
- SCHOLZ 2001** SCHOLZ, Prof. Dr.-Ing. MSME Dieter: Diplomarbeiten normgerecht verfassen: Schreibratgeber zur Gestaltung von Studien-, Diplom- und Doktorarbeiten. Würzburg: Vogel Verlag 2001.
- SCHÜRMAN 2007** SCHÜRMAN, Alexander: Betrachtungen zur dezentralen Trinkwasserdesinfektion unmittelbar vor der Verbrauchsstelle in Flugzeugen. FH-Münster, Hamburg 2007.
- SCHÜTT- ABRAHAM 1992** SCHÜTT-ABRAHAM, I., E. Trommer und R. Levetzow (1992): Ultraschall im „Steri- Becken“ Zum Einsatz von Ultraschall in Einrichtungen zur Reinigung und Desinfektion von Messern am Arbeitsplatz in Schlacht- und Zerlegebetrieben. Fleischwirtsch. 72.
- SEIDEL 1992** SEIDEL, Dipl.-Ing. T.: Beitrag zur Methodik der Vorbereitung des Ozoneinsatzes in der Trinkwasseraufbereitung, Technische Universität Dresden, Dissertation, 1992.
- TrinkwV 2003** Trinkwasserverordnung - Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (2001/2003). URL: [www.juris.de](http://www.juris.de)

## Quellenverzeichnis

- www.densit.de** BIOLOG Mikrotiterplatten als Methode zur Charakterisierung des physiologischen Profils einer Bakteriengemeinschaft. URL: [http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=975968025&dok\\_var=d1&dok\\_ext=pdf&filename=975968025.pdf](http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=975968025&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=975968025.pdf) (2011-06-29)
- www.dueker.de** Technisches Email. URL: <http://www.dueker.de/te-technisches-email.html> (2010-02-28)
- www.eichenauer.de** PTC-Heizelemente / PTC-heating elements. URL: [http://www.eichenauer.de/fileadmin/be\\_user/img/produkte/industrieanwendungen/7\\_PTC\\_Heizelemente.pdf](http://www.eichenauer.de/fileadmin/be_user/img/produkte/industrieanwendungen/7_PTC_Heizelemente.pdf) (2011-01-10)
- www.fraunhofer.de** Sol-Gel-Technik URL: <http://www.photokatalyse.fraunhofer.de/kompetenzen/prozessentwickl/sol-gel.asp> (2010-02-28)
- www.fraunhofer.de** Sol-Gel-Technik. URL: <http://www.fraunhofer.de/archiv/magazin/pflege.zv.fhg.de/german/publications/df/df1999/199-18.htm>
- www.hansgrohe.de** Isiflex XXL Brausenschlauch DN15 1,25m. URL: [http://www.hansgrohe.de/product.htm?id=40Klassifizierung\\_1656~610Klasse\\_610~623Klasse\\_623,101958](http://www.hansgrohe.de/product.htm?id=40Klassifizierung_1656~610Klasse_610~623Klasse_623,101958) (2010-10-08)
- www.hartchrom.com** Nickel-Chrom Beschichtungsverfahren. URL: <http://www.hartchrom.com/beschichtungsverfahren/nickel-chrom.html> (2011-06-27)
- www.haw-hamburg.de** Rapid Prototyping – Was ist das? URL: <http://www.mp.haw-hamburg.de/rp/> (2011-06-28)
- www.heroldgmbh.de** Wasserentkalkung: Die Filtertechnik von permatrade. URL: <http://www.heroldgmbh.de/wasserentkalkung.htm> (2010-02-24)
- www.ikz.de** Wasserchemie, Wasseranalytik und Wasseraufbereitung URL: <http://www.ikz.de/1996-2005/1998/05/9805078.php> (2011-06-24)
- www.ird-uk.com** Grundlagen der Aquatransform- Funktionsweise. URL: <http://www.ird-uk.com/de/wasserdesinfektion-mainmenu-12/e-dis-verfahren-mainmenu-18> (2010-02-28)
- www.innovatec-rheinbach.de** Elektrolytischer Ozongenerator: Experimental-Kit OZON-MICRO-ZELLE. URL: [http://www.innovatec-rheinbach.de/OZON-MICRO-ZELLE\\_Experimental-Kit.pdf](http://www.innovatec-rheinbach.de/OZON-MICRO-ZELLE_Experimental-Kit.pdf) (2010-06-21)
- www.katadyn.com** Katadyn Ceradyn Filter Element. URL: <http://www.katadyn.com/dede/katadyn-produkte/produkte/katadynshopconnect/katadyn-wasserfilter-haushaltsfilter/katadyn-ceradyn-filter-element/> (2010-02-28)
- www.sterione.com** Vergleich: Steorine und Nanosilber. URL: <http://www.sterione.com/de/vergleich-sterione-und-nanosilber.html> (2011-06-28)
- www.umweltbundesamt.de** Schulungs- und Informationsbroschüre Desinfektionsverfahren. URL: [http://www.umweltbundesamt.de/nachhaltige-produktion/anlagensicherheit/anlagen/eitep/pdf\\_d/anlage8.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/nachhaltige-produktion/anlagensicherheit/anlagen/eitep/pdf_d/anlage8.pdf) (2011-06-28)