



Schlussbericht 30. November 2016

Verbesserung der Berechnungsmodelle und Aufzeigen von Kostenreduktionspotenzialen von Wärmetauschern in Anwendungen mit starker Staubbeladung - 2

Innovationsbedürfnisse von Schweizer Wärme-
tauscher-Herstellern



Zürcher Hochschule
für Angewandte Wissenschaften



**School of
Engineering**

IEFE Institut für Energiesysteme
und Fluid-Engineering

Datum: 30. November 2016

Ort: Winterthur

Auftraggeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Industrielle Prozesse
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:

ZHAW, CH-8401 Winterthur

Auftragnehmerin:

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW
Institut für Energiesysteme und Fluid-Engineering IEFE
Technikumstrasse 9
CH-8401 Winterthur
www.iefe.zhaw.ch

Autoren:

Martin Schneider, ZHAW / IEFE, m.schneider@zhaw.ch
Frank Tillenkamp, ZHAW / IEFE, frank.tillenkamp@zhaw.ch
Lorenz Brenner, ZHAW / IEFE, lorenz.brenner1@zhaw.ch
Martin König, ZHAW / IEFE, martin.koenig@zhaw.ch

BFE-Bereichs/Programmleitung:

Carina Alles, Carina.Alles@bfe.admin.ch

BFE-Projektbegleitung:

Carina Alles, Carina.Alles@bfe.admin.ch

BFE-Vertragsnummer:

SI/500760-02

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch



Zusammenfassung

Anhand einer erarbeiteten Liste von Schweizer Wärmetauscher-Herstellern im Mittel- bis Hochtemperaturbereich und den im Anschluss durchgeführten Interviews konnten die Innovationsbedürfnisse der teilnehmenden Unternehmen erfolgreich geklärt werden. Zudem wurden allfällige Anliegen und Bedürfnisse hinsichtlich eines Wärmetauscher-Prüfstandes aufgenommen, sowie ein erster Kontakt mit Produzenten geknüpft. Die durchgeführten Interviews im Rahmen dieser Studie haben u.a. Fouling, also die Verschmutzung oder gar Zerstörung der wärmeübertragenden Flächen in Wärmetauschern (WTs), als eine weit verbreitete Problematik hervorgebracht. Optimierungen in diesem Bereich würden sich positiv auf die Performance, Baugrösse sowie die damit einhergehenden Kosten solcher Anlagen auswirken. Trotzdem betreiben hier zurzeit kaum Hersteller aktiv F&E-Anstrengungen. Es scheint als hätten die WT-Hersteller zwangsläufig gelernt, mit der Foulingthematik zu leben, gerade weil sich Fortschritte in diesem Bereich aufgrund der hohen Komplexität wohl nur unter grossem zeitlichen und finanziellen Aufwand erzielen lassen.

So stehen die Befragten auch dem Bau eines Vielzweck-Prüfstandes, u.a. zur vertieften Untersuchung von Fouling, eher skeptisch gegenüber. Es bestehen in erster Linie Bedenken bzgl. Reproduzierbarkeit, Sicherstellung der verschmutzten Arbeitsmedien bei in der Realität vorhandenen Betriebsbedingungen sowie Vereinbarkeit verschiedener Trägermedien auf ein und demselben Prüfstand. Es empfiehlt sich daher, die aufgenommenen Innovationsbedürfnisse der Schweizer WT-Hersteller in direkten Kooperationen anzugehen und den Ansatz des Vielzweck-Prüfstandes zu verwerfen.

Résumé

Sur la base d'une liste mise à jour de fabricants suisses d'échangeurs de chaleur à moyennes à hautes températures et à l'appui des interviews qui eurent lieu à la fin, il fut possible de clarifier diverses demandes d'innovation des entreprises participantes. De plus, divers problèmes et demandes furent enregistrés concernant un banc d'essai pour échangeurs à chaleur et un premier contact fut noué avec des producteurs. Les interviews réalisées dans le cadre de cette étude mirent en évidence entre autres le fouling, à savoir l'encrassement ou même la destruction des surfaces thermiques dans les échangeurs de chaleur, considéré comme un problème largement répandu. Des optimisations dans ce domaine auraient des répercussions positives sur la performance, le dimensionnement de construction tout comme sur les coûts inhérents de telles installations. Malgré cela, rares sont les fabricants actuellement qui font des efforts actifs de R & D à ce stade. Il semble que les fabricants d'échangeurs de chaleur auraient inévitablement appris à vivre avec la problématique du fouling, justement parce que des progrès ne peuvent apparemment être obtenus dans ce domaine qu'en investissant beaucoup de temps et d'argent, en raison de la haute complexité.



Ainsi, les personnes interviewées restent plutôt sceptiques en ce qui concerne la construction d'un banc d'essai polyvalent, qui servirait entre autres pour l'analyse approfondie du fouling. Il existe en premier lieu des doutes quant à la reproductibilité, la garantie des périphéries encrassées, sous des conditions de service existantes dans la réalité, et la compatibilité de divers moyens de support sur un même banc d'essai. Par conséquent, il est recommandé d'aborder les demandes d'innovation émises par les fabricants suisses d'échangeurs de chaleur dans le cadre de coopérations directes et de rejeter l'approche du banc d'essai polyvalent.

Abstract

The innovation needs of the participating companies were able to be successfully determined based on a compiled list of Swiss heat exchanger manufacturers operating in high to medium temperature ranges and the subsequently conducted interviews. Furthermore, possible concerns and needs regarding a heat exchanger test bench were adopted and initial contact with producers was established. The conducted interviews in line with this study uncovered fouling, among other things, i.e. the contamination or even destruction of the surfaces transferring heat in the heat exchangers (HEs), as a widespread common problem. Optimisation in this area would have a positive effect on the performance, installation size and the costs involved with such systems. Currently however, there are not many manufacturers making active efforts in regard to R&D here. It seems that the HE manufacturers have inevitably learned to live with the problem of fouling; especially because improvements in this area can no doubt only be achieved in connection with investing a great amount of time and money due to the high degree of complexity.

Therefore, those interviewed are, if anything, sceptical regarding the construction of a multi-purpose test bench, among other things for an in-depth examination of fouling. First and foremost, there are concerns regarding reproducibility, the safeguarding of the contaminated working substances for the real existing operating conditions as well as a compatibility of the various carrier media on the same test bench. It is therefore recommended, to deal with the recorded innovation needs of the Swiss HE manufacturers in direct collaborations and to dismiss the approach of the multi-purpose test bench.



Abkürzungsverzeichnis

| | |
|------|---|
| BFE | Bundesamt für Energie |
| WT | Wärmetauscher |
| IEFE | Institut für Energiesysteme und Fluid-Engineering |
| ZHAW | Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften |
| KTI | Kommission für Technologie und Innovation |



Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| 1 Ausgangslage | 7 |
| 2 Ziele der Arbeit | 8 |
| 3 Grundlagen und Rahmenbedingungen..... | 9 |
| 3.1 Kategorisierung der WT-Hersteller..... | 9 |
| 3.2 Bewertung WT-Hersteller hinsichtlich Relevanz | 12 |
| 4 Vorgehen und Methode | 13 |
| 4.1 Interviewdesigns..... | 13 |
| 4.2 Interviewdurchführung | 14 |
| 4.3 Analysemethode..... | 15 |
| 5 Ergebnisse und Diskussion | 16 |
| 5.1 Allgemeines | 16 |
| 5.2 Produktanalyse..... | 16 |
| 5.3 Innovationsbedürfnisse | 21 |
| 5.3.1 Fazit Innovationsbedürfnisse | 23 |
| 5.4 Wärmetauscherprüfstand | 24 |
| 5.4.1 Fazit Wärmetauscherprüfstand | 26 |
| 6 Schlussfolgerungen und Erkenntnisse | 27 |
| 7 Ausblick..... | 29 |
| 8 Literaturverzeichnis | 30 |
| 9 Tabellenverzeichnis | 31 |
| 10 Abbildungsverzeichnis | 32 |
| 11 Anhang | 33 |
| 11.1 Interview-Fragebogen | 33 |



1 Ausgangslage

In der Industrie wird Abwärme oft in grossen Mengen ungenutzt an die Umwelt abgegeben. Diese zurzeit ungenutzte Abwärme sollte in Zukunft unbedingt erschlossen werden, um einen Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz und somit an die Energiestrategie 2050 [2] des Bundes zu leisten. Daher ist der Einsatz von Wärmetauscher-Systemen unumgänglich. Oft ist die Abwärmenutzung mit gewissen Herausforderungen verbunden, sei dies eine starke Verschmutzung des Abwärmestroms oder andere unerwünschte effizienzschwächende Phänomene. Schmutzbeladene Abwärmeströme, sind in der Praxis oft anzutreffen und stellen hohe Anforderungen an die Wärmetauscher (WT). Unter anderem muss in diesem Bereich gezielt an Verbesserungen gearbeitet werden, um effiziente und schmutzresistente Systeme für die Abwärmenutzung zu entwickeln.

Im Rahmen des vorhergehenden Projekts „Verbesserung der Berechnungsmodelle und Aufzeigen von Kostenreduktionspotenzialen von Wärmeübertragern in Anwendungen mit starker Staubbeladung“ [6], welches ebenfalls vom Bundesamt für Energie (BFE) finanziell unterstützt wurde, wurden die bestehenden Berechnungsgrundlagen hinsichtlich der Verschmutzungsthematik, auch Fouling genannt, in einem Zementwerk untersucht. Gerade in der Zement- und Stahlindustrie, in der Steinwollproduktion sowie bei Ziegeleien fallen grosse Abwärmemengen an, die man zunehmend nutzen möchte. Bei diesen Anwendungen liegt die Abwärme jedoch als heisser, stark staubbelasteter Abgasstrom vor. Um die Energie aus diesen Abgaströmen auszukoppeln, werden an die benötigten WTs hohe Anforderungen gestellt. Der Staub lagert sich an den WT-Rohren ab und bildet eine isolierende Schicht, welche die Wärmeübertragungsleistung stark vermindert. Folglich werden WTs mit hohen Sicherheitszulagen (zusätzliche WT-Fläche) ausgelegt, was mit höheren Investitionskosten verbunden ist. Um dieser heute gängigen Praxis entgegen zu wirken, wurde am Institut für Energiesysteme und Fluid-Engineering (IEFE) der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) ein thermodynamisches WT-Modell ausgearbeitet, welches mittels Messungen an einer realen Anlage in der Zementindustrie validiert werden konnte. Die zentrale Fragestellung nach dem zeitabhängigen Verhalten des k-Werts vom Verschmutzungsgrad konnte leider nicht beantwortet werden. Der Grund hierfür war das erhöhte Schadensrisiko der untersuchten Anlage.

Um diese offene Frage zu beantworten, ist ein alternativer Lösungsansatz notwendig und das Ausweichen auf einen Laborprüfstand wäre sinnvoll. Dieser, wenn richtig geplant und umgesetzt, könnte sehr ähnliche Betriebsbedingungen wie in der Realität sicherstellen. Um einen solchen Prüfstand richtig zu gestalten und zusätzliche Inputs von Schweizer WT-Herstellern hinsichtlich ihrer Innovationsbedürfnissen abzuholen, wurde das vorliegende Folgeprojekt „Verbesserung der Berechnungsmodelle und Aufzeigen von Kostenreduktionspotenzialen von Wärmeübertragern in Anwendungen mit starker Staubbeladung 2 – Innovationsbedürfnisse von Schweizer WT-Herstellern“ aufgelegt.



2 Ziele der Arbeit

Im Rahmen dieses Projekts soll die Sondierung des Innovationsbedarfs von Schweizer WT-Herstellern vorgenommen werden. Zu diesem Zweck werden die vorhandenen Bedürfnisse direkt bei den WT-Herstellern abgeholt. Bevor dies geschehen kann, müssen zuerst die relevanten Hersteller identifiziert und kontaktiert werden. Ist der Kontakt hergestellt, sollen mittels Interviews die latenten Bedürfnisse der Unternehmen ermittelt werden. Die gesammelten Feedbacks werden zusammengefasst und ausgewertet. Auf diese Weise werden die Randbedingungen sowie die Grundlagen für den Antrag eines Folgeprojekts geschaffen, welches sich auf das Lösen der zuvor eruierten Probleme ausrichtet. In einem solchen Projekt ist der Aufbau eines WT-Prüfstandes in Winterthur angedacht, welcher helfen soll die zuvor aufgeworfenen Fragestellungen der Industrie gezielt zu beantworten.

Projektziele:

- Sondieren der Innovationsbedürfnisse von WT-Herstellern in der Schweiz bezüglich:
 - Verschmutzungs- und Effizienzthematik
 - Weitere Bedürfnisse
- Knüpfen von Kontakten mit der WT-Industrie (wichtig für allfälliges Folgeprojekt)
- Klären von Randbedingungen sowie erarbeiten von Grundlagen für anschliessendes Folgeprojekt „WT-Prüfstand“ zur gezielten Beantwortung der offenen Fragestellungen der WT-Hersteller sowie des vorhergehenden Projekts



3 Grundlagen und Rahmenbedingungen

Bevor mit dem eigentlichen Interviewdesign und der Durchführung begonnen werden kann, müssen zuerst die für die Befragung relevanten Schweizer WT-Hersteller identifiziert werden. Zu diesem Zweck wird eine umfangreiche Online-Recherche durchgeführt. Ausgangspunkt dabei sind die Mitglieder der Innovationsgruppe Speicher und Wärmetauscher des Vereins energie-cluster.ch [4]. Anschliessend wurde sukzessiv weiter recherchiert bis eine Liste von insgesamt 38 Firmen vorlag.

3.1 Kategorisierung der WT-Hersteller

Um die relevanten WT-Hersteller für die Interviews zu identifizieren, werden verschiedene Kategorien zur Einteilung festgelegt (siehe **Tabelle 1**).

Kategorien zur Einteilung der WT-Hersteller nach deren Produkten

| |
|------------------|
| Anwendungsgebiet |
| Fouling-Typ |
| Temperaturniveau |
| Leistungsbereich |

Tabelle 1: Kategorien zur Einteilung der WT-Hersteller

Innerhalb dieser Kategorien wird weiter unterteilt, sodass eine Clusterbildung der verschiedenen WT-Hersteller möglich wird. Im Folgenden wird nun einzeln für die jeweilige Kategorie die weitere Unterteilung wiedergegeben und kurz erklärt, auf welcher Grundlage diese Unterteilung vorgenommen wird.

Die in **Tabelle 2** abgebildete Unterteilung in Anwendungsgebiete lehnt sich an die auf den Hersteller-Homepages genannten Beschreibungen der Firmentätigkeiten an. Es bietet sich hier an, diese branchenübliche Namensgebung zur Clusterbildung zu verwenden.



| Kategorie „Anwendungsgebiet“ | Zusätzliche Informationen |
|--------------------------------|---|
| Kälte- und Kryotechnik | Anwendungen bei tiefen Temperaturen |
| Haustechnik | Kleinere Leistungen, Temperaturen meistens < 100 °C |
| Chemie-, Pharma-, Bioindustrie | Industriebereich mit hohen Sauberkeitsanforderungen, Medien und Reaktionen |
| Lebensmittelindustrie | Spezielle Anforderungen bzgl. Reinheit, zu verarbeitende Produkte und eingesetzte Materialien |
| Industrieprozesse | Diverse Prozesse und Anwendungen unterhalb des Leistungsbereichs der Kraftwerke |
| Kraftwerkstechnik | Hohe Leistungen und Temperaturen |

Tabelle 2: Übersicht der verschiedenen Anwendungsgebiete

Die Unterteilung nach Fouling-Typ (siehe **Tabelle 3**) orientiert sich an der Arbeit von Schelker und Siegl [6].

| Kategorie „Fouling-Typ“ |
|-----------------------------|
| Kristallisation |
| Staubablagerung |
| Chemische Reaktionsprodukte |
| Korrosion |
| Vereisung |
| Biologischer Bewuchs |

Tabelle 3: Übersicht der verschiedenen Fouling-Typen



Die Unterteilung in die unteren vier Temperaturbereiche (siehe **Tabelle 4**) orientiert sich an den Anwendungsgebieten und deren typischen Temperaturbereichen.

| Kategorie „Temperaturniveau“ | Zusätzliche Informationen |
|------------------------------------|---|
| Kalte Temperaturen (bis 0 °C) | Bereich der Kälte- und Kryotechnik |
| Tiefe Temperaturen (bis 100 °C) | Bereich der Haustechnik |
| Mittlere Temperaturen (bis 300 °C) | Bereich der Industrieprozesse und Abwärmennutzung |
| Hohe Temperaturen (über 300 °C) | Bereich der Kraftwerkstechnik (inkl. Abwärmennutzung von Zementwerken und Ziegeleien) |

Tabelle 4: Übersicht der verschiedenen Temperaturbereiche

Die unteren Leistungsbereiche (siehe **Tabelle 5**) basieren auf den Betrachtungen von Cerbe und Wilhelm [3] sowie Zahoransky et al. [7].

| Kategorie „Leistungsbereich“ | Zusätzliche Informationen |
|------------------------------|---|
| 0 - 20 kW | Thermische Hausinstallationen in der Grössenordnung Einfamilienhaus |
| 20 - 100 kW | Industrielle Prozesse, Hausinstallationen in der Grössenordnung Überbauung und Wohnblöcke |
| 100 kW – 10 MW | Industrielle Prozesse, Abwärmennutzung |
| Über 10 MW | Kraftwerkstechnik |

Tabelle 5: Übersicht der verschiedenen Leistungsbereichen

Die 38 gefundenen WT-Hersteller werden nun anhand der öffentlich zugänglichen Informationen innerhalb der zuvor festgelegten vier Kategorien eingeteilt. Als Grundlage dazu dienen z.B. die Firmen-Homepages, Veröffentlichungen oder Firmenpräsentationen sowie die Einträge im Handelsregister. Mehrfachauswahl innerhalb der einzelnen Kategorien ist dabei erlaubt.



3.2 Bewertung WT-Hersteller hinsichtlich Relevanz

Auf Basis der Liste von WT-Herstellern, welche den jeweiligen Kategorien zugeordnet sind, wird eine Bewertung der einzelnen Unternehmen hinsichtlich ihrer Bedeutung für das Projekt vorgenommen. In erster Linie interessant für dieses Projekt sind WT-Hersteller im Bereich hoher Temperaturen (100 bis über 300 °C), Grossanlagen (100 kW bis über 10 MW) sowie mit vorhandener Verschmutzungsthematik (Fouling). Diese thematische Fokussierung ist einerseits durch das Vorprojekt initiiert und andererseits liegt bei Grossanlagen das höchste Energie-, CO₂- und Kosteneinsparpotenzial. Die Bewertung selbst wird dabei anhand der gesetzten Kreuze in der Liste sowie der zusätzlich gefundenen Informationen auf der jeweiligen Firmen-Homepage vorgenommen. Das angewendete Bewertungsraster ist in **Tabelle 6** wiedergegeben.

Angewendet auf die Liste der WT-Hersteller resultieren drei Gruppen unterschiedlicher Grösse entsprechend der vorgenommenen Bewertung.

| Angewendetes Bewertungsraster | Einsatzbereiche | Anzahl der WT-Hersteller |
|-------------------------------|---|--------------------------|
| Bewertung 1 (weniger wichtig) | Kalt- und Tieftemperaturbereich | 21 |
| Bewertung 2 (wichtig) | Mittel- und Hochtemperaturbereich, evtl. mit Fouling-Thematik | 10 |
| Bewertung 3 (sehr wichtig) | Hochtemperaturbereich, inkl. Fouling-Thematik | 7 |

Tabelle 6: Angewendetes Bewertungsraster für Firmen und Anzahl Hersteller in der jeweiligen Bewertungskategorie

Für das Projekt und somit auch für die Interviews relevant sind lediglich die WT-Hersteller mit der Bewertung 3 oder 2. Aus obiger Tabelle geht hervor, dass somit für die Interviews 17 Unternehmen relevant sind.



4 Vorgehen und Methode

Im Folgenden wird auf das methodische Vorgehen bzgl. der Punkte Interviewdesign, -durchführung sowie deren Analyse eingegangen. Für den Aufbau, die Gestaltung und Durchführung der Hersteller-Interviews wird auf Atteslander [1] und Kromrey [5] zurückgegriffen.

4.1 Interviewdesigns

Die 17 identifizierten WT-Hersteller werden telefonisch kontaktiert. Die jeweiligen Kontaktdaten stammen aus vorhergehenden Recherchen. Im Fokus der Interviews standen Personen der Hersteller, welche z.B. Positionen wie Entwicklungsleiter, Technischer Leiter, Spartenleiter, Product Manager oder Geschäftsführer besetzen. Bei den Firmen, bei welchen die passende Person nicht bereits im Vorfeld bekannt war, wird die allgemeine Kontaktnummer aus dem Telefonbuch verwendet und bis zur richtigen Person durchtelefoniert. Sofern das Gespräch nicht gleich durchgeführt werden konnte, wurden die jeweiligen Interviewtermine am Telefon fixiert. Vereinzelt Interviews wurden persönlich direkt am Arbeitsplatz des Interviewpartners ausgeführt. Die Teilnahme an den Interviews ist freiwillig. Eine Incentivierung (siehe **Tabelle 7**) verfolgt das Ziel, die potentiellen Teilnehmer der Interviews zur Beantwortung der Fragen zu animieren und den Rücklauf zu erhöhen.

Incentivierungspunkte

Die Bedürfnisse und Anliegen der Hersteller hinsichtlich eines WT-Prüfstandes sind platziert und werden wenn irgend möglich in der Planung und Konzipierung mitberücksichtigt.

Die Hersteller erhalten die anonymisierten und ausgewerteten Ergebnisse aus den Interviews aus erster Hand.

Die Hersteller werden über den weiteren Verlauf sowie den Projektfortschritt des WT-Prüfstandes auf dem Laufenden gehalten.

Bei einem späteren Betrieb des WT-Prüfstandes werden die Hersteller als Partner bevorzugt behandelt und genießen eine höhere Priorisierung bzgl. einer allfälligen Zusammenarbeit im Projekt.

Tabelle 7: Liste der Incentivierungspunkte



Den Aufbau und Inhalt der Interviews zeigt **Tabelle 8**.

| Aufbau | Inhalt |
|----------------------------|---|
| 1. Einführung: | Begrüssung Vorstellen des Interviewers sowie des Instituts Vorstellen des Projekts Klären der Vertraulichkeit Klären des Interviewablaufs |
| 2. Interview: | Innovationsbedürfnisse abholen Produktepalette klären Allgemeine Fragen / Hintergrundinformationen |
| 3. Abschluss und Ausblick: | Dank Zusammenfassung und Ausblick Klären des Kontakts für Rückfragen Verabschiedung |

Tabelle 8: Inhalt und Aufbau der Befragung

4.2 Interviewdurchführung

Die Interviewdurchführung folgt der unter **Tabelle 8** aufgezeigten Struktur. Teile des Interviews sind vollstandardisiert, bei welchen der Interviewpartner lediglich eine Auswahl innerhalb vorgegebener Antworten vornehmen kann, andere Teile sind halbstandardisiert und lassen einen gewissen Freiraum bei der Beantwortung.

Die Durchführung der Interviews kann, wie bereits zuvor erwähnt, telefonisch oder persönlich bei den Firmen vorgenommen werden. Eine Übersicht über die Teilnahme der Hersteller an den Interviews gibt **Tabelle 9**. 7 der 17 befragten Hersteller sind heute nur noch Händler oder Lohnfertiger und keine eigentlichen WT-Hersteller mehr. Somit sind diese für die Umfrage nicht von Relevanz, was eine Grundmenge von N = 10 Wärmetauscherherstellern ergibt.

| Teilnahme an Interviews | Anzahl der Unternehmen |
|---------------------------------------|------------------------|
| Kontaktierte Hersteller: | 17 |
| Absagen: | 7 |
| Telefonisch durchgeführte Interviews: | 9 |
| Persönlich durchgeführte Interviews: | 1 |

Tabelle 9: Zusammenfassung der Interviewbereitschaft



Während der Befragungen, welche auf 20 bis 60 Minuten ausgelegt sind, werden wo erlaubt Audioaufnahmen aufgezeichnet. Anschliessend werden die Interviews transkribiert und für die Auswertung anonymisiert.

4.3 Analysemethode

Hinsichtlich Analysemethode können keine Signifikanzanalysen [1], wie z.B. der Zweistichproben T-Test (Betrachtung von Mittelwerten zweier Stichproben) durchgeführt werden. Ebenso ist ein Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest (Überprüfung stochastischer Unabhängigkeit zweier Merkmale) auf Grund der zu kleinen Grundmenge von lediglich 10 Unternehmen nicht möglich.

Trotzdem wird eine einfache statistische Analyse vorgenommen und in Diagrammen und Tabellen verarbeitet, jedoch im Bewusstsein, dass die Auswertung und die damit verbundenen Aussagen nur begrenzt repräsentativ sind.



5 Ergebnisse und Diskussion

5.1 Allgemeines

Wie im **Abschnitt 4.2** erwähnt, konnte eine Liste mit 17 Schweizer WT-Herstellern identifiziert und deren Interviewbereitschaft telefonisch abgeklärt werden. Wie sich herausstellte, sind vier der kontaktierten Firmen lediglich im Handel tätig und zwei Unternehmen betreiben nur die Fertigung in der Schweiz. Weiter hat ein Betrieb die Herstellung von Wärmetauschern komplett eingestellt. Eine Firma erwähnte hierbei, dass aufgrund zu hoher Personalkosten die Produktion ins Ausland verlagert wurde. Ein weiteres Unternehmen wandelte sich vom WT-Hersteller zu einem reinen Entwicklungsbüro. Mit den verbleibenden 10 Firmen konnten Interviews durchgeführt werden. Anhand dieser Erkenntnisse ergibt sich eine Stichprobengrösse von $n = 10$ (100% Rücklaufquote), wobei sich die Konsistenz der Liste anhand der geführten Gespräche sehr gut überprüfen liess.

Die folgenden Abschnitte verarbeiten die zentralen Aussagen und relevanten Informationen der durchgeführten Interviews. Hierbei liegt der Fokus, wie in **Abschnitt 3.2** erwähnt, bei Mittel- bis Hochtemperaturanwendungen. Informationen zu kleineren Leistungsbereichen und tiefen Einsatztemperaturen werden mitefassen, jedoch in diesem Bericht nicht explizit ausgeführt. Anhand der erfassten Daten werden Bezüge zwischen den verschiedenen Antworten hergestellt, um ein umfassendes Bild der Innovationsbedürfnisse der befragten Unternehmen im Bereich WT-Herstellung zu erhalten. Der komplette Fragebogen für die Interviews findet sich im **Anhang 11.1**.

5.2 Produktanalyse

In diesem Abschnitt werden die verschiedenen WT-Typen mit ihren Einsatzgebieten sowie die Betriebstemperaturen und thermischen Leistungen der befragten Firmen gemäss Fragebogen wiedergegeben. In weiteren Punkten wird auf das Fouling, die damit zusammenhängende Verminderung der Wärmeübertragung sowie auf die verwendeten Arbeitsmedien eingegangen. Jeweils im Anschluss werden die ausgewerteten Produkteinformationen korreliert.

Die Firmen wurden gefragt, welche Wärmetauscher-Typen sie auslegen oder produzieren (freie Antwort). Die Auskünfte wurden kategorisiert und zusammengefasst. **Tabelle 10** zeigt die Auflistung der verschiedenen WT-Bauweisen und die Anzahl der Nennungen.



| Wärmetauscher-Bauweise | Anzahl der Nennungen |
|---------------------------------|----------------------|
| Rohrbündelwärmetauscher | 7 |
| Plattenwärmetauscher | 3 |
| Rippenrohrwärmetauscher | 2 |
| Koaxial- (Helix-) Wärmetauscher | 2 |
| Lamellenwärmetauscher | 1 |

Tabelle 10: Themenblock Wärmetauscher-Typen, Anzahl der Nennungen der spezifischen Bauweise (Mehrfachnennung möglich)

Wie aus obiger Tabelle hervorgeht, wird die Bauform des Rohrbündelwärmetauschers unter den befragten Unternehmen mit Abstand am meisten produziert und vertrieben, gefolgt vom Platten- und Rippenrohrwärmetauscher. Bei vier Firmen ist der Rohrbündelwärmetauscher das einzige Wärmetauscher-Produkt im Sortiment und ist als Teil einer kompletten Anlage zu sehen. Diese Bauart wird hauptsächlich im Hochtemperatur- und Trocknungssegment eingesetzt.

Des Weiteren wurden die Unternehmen mit einer vorgegebenen Auswahl aus vier Kategorien befragt, in welchem Temperaturniveau ihre Produkte anzusiedeln sind. **Abbildung 1** zeigt die abgefragten Temperaturen und die entsprechende Anzahl der Nennungen.

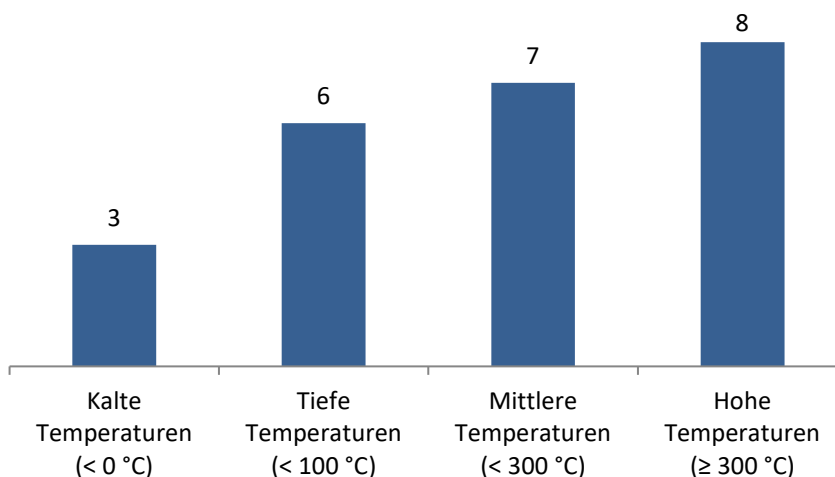


Abbildung 1: Themenblock Temperaturniveau, Anzahl der Nennungen des jeweiligen Einsatzbereiches (Mehrfachauswahl möglich)

Aus obigem Diagramm ist ersichtlich, dass die tiefen bis hohen Temperaturen ähnlich oft genannt wurden. Dies ist unter anderem auf eine breite Produktpalette der befragten Hersteller zurückzuführen. Die hohe Anzahl der Nennung des Hochtemperaturbereichs ist mit der gewählten Zielgruppe der



Umfrage zu erklären. Es wurden vorzugsweise Firmen mit Produkten interviewt, welche heisse Rauchgase als Arbeitsmedium in Industrie- und Kraftwerksprozessen aufweisen (siehe Abschnitt 3.2). Die höchsten Betriebstemperaturen von 700 bis 1100 °C wurden hauptsächlich von Herstellern im Zusammenhang mit rohrbündelartigen Wärmeübertragern in der Trocknungs- und Lebensmittelindustrie genannt. Der Hochtemperatureinsatz solcher Systeme resultiert oft in thermischen Leistungen im MW-Bereich.

Als Folgefrage wurden die Leistungsbereiche ihrer Wärmetauscher abgefragt. Erneut war die Auswahl aus vier Kategorien vorgegeben. **Abbildung 2** visualisiert die verschiedenen Leistungsbereiche mit der Anzahl der Nennungen.

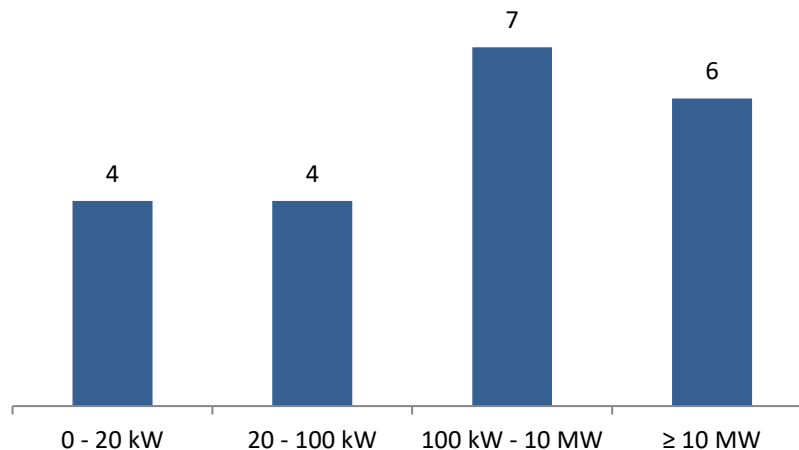


Abbildung 2: Themenblock thermische Leistungsbereiche, Anzahl der Nennungen der jeweiligen Bereiche (Mehrfachauswahl möglich)

Die mehrfache Nennung aller Leistungsbereiche unterstreicht das breite Sortiment der verschiedenen Hersteller. Die häufigere Nennung der Mittel- bis Hochleistungsbereiche lässt vermuten, dass die meisten Unternehmen nur im kleinen Rahmen Serienproduktionen durchführen. Die genannten Leistungsbereiche stimmen mit der gewonnenen Erkenntnis aus den Temperaturbereichen überein. Vor allem in der Kraftwerkstechnik sowie der Lebensmittelindustrie werden die höchsten thermischen Leistungen benötigt. Von einem Unternehmen, welches in der Trocknungstechnik tätig ist, wurden Anlagen mit einer thermischen Leistung von bis zu 40 MW genannt, wobei in der Kraftwerkstechnik Anlagen von einem Hersteller bis zu einem Leistungsbereich von 2.5 GW hergestellt werden. Normalerweise sind hier WT-Typen wie Rohrbündel- oder Rippenrohrwärmetauscher im Einsatz.



Weiter wurden die Firmen mit einer vorgegebenen Auswahl aus sechs Kategorien befragt, in welchem Anwendungsgebiet ihre Wärmeübertrager anzusiedeln sind. **Abbildung 3** zeigt die Auflistung der verschiedenen Einsatzbereiche und die Anzahl der Nennungen.

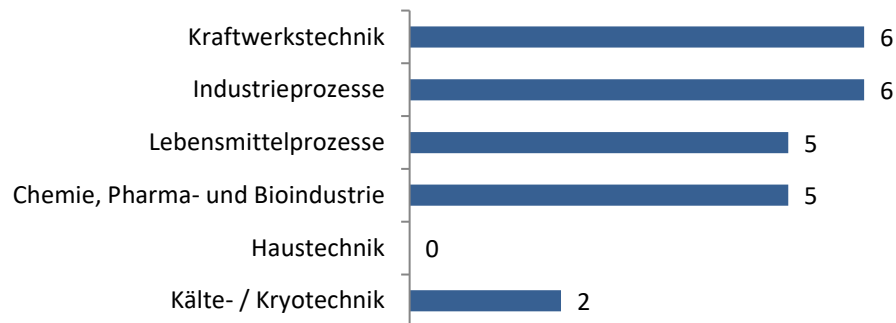


Abbildung 3: Themenblock Anwendungsgebiete, Anzahl der Nennungen des Einsatzbereiches (Mehrfachauswahl möglich)

Wie aus obigem Diagramm hervorgeht, wird die Kälte- und Kryotechnik nur von zwei und die Haustechnik von gar keiner der befragten Firmen erwähnt. Die restlichen Anwendungsbereiche werden gleichermassen genannt, was sich mit den Erkenntnissen aus den Temperatur- und Leistungsbereichen deckt. Wie bereits im oberen Abschnitt erwähnt, sind von den befragten Unternehmen in Industrie- und Kraftwerksprozessen vor allem Hochleistungs- und Hochtemperaturwärmetauscher in der Rohrbündel- oder Rippenrohrkonfiguration anzutreffen.

Ausserdem wurden die Firmen gefragt, welche Trägermedien sie in ihren Produkten verwenden (freie Antwort). Die Auskünfte wurden kategorisiert und zusammengefasst. **Abbildung 4** zeigt die Auflistung der verschiedenen Medien und die Anzahl der Nennungen.

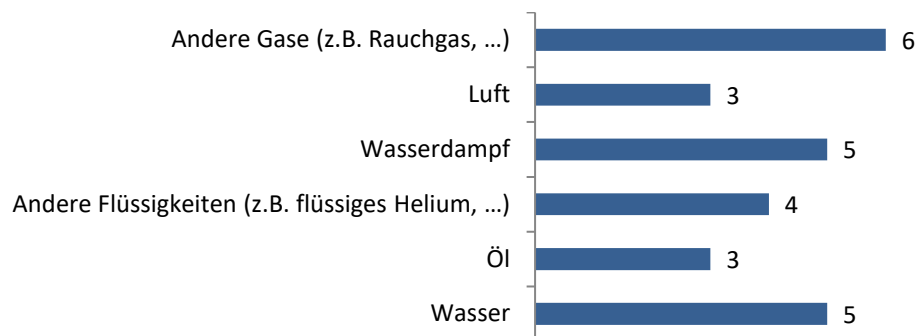


Abbildung 4: Themenblock Trägermedien, Anzahl der Nennungen des Mediums (Mehrfachnennung möglich)



Flüssigkeiten sowie Gase werden demnach bei den befragten Firmen ähnlich oft eingesetzt. Im Zusammenhang mit Kraftwerksprozessen wurde von einem Unternehmen Wasserdampf genannt, wobei in Industrie- und Lebensmittelprozessen oft heisse Gase als Arbeitsmedium dienen. Im mittleren sowie hohen Temperatureinsatzbereich geben drei der befragten Firmen an, dass auf einer Seite immer ein Gas (z.B. Rauchgas) als Trägermedium dient. Ein Hersteller führt nur Gas / Gas-Wärmetauscher in der Produktpalette und eine weitere Firma setzt nur Wasser und Wasserdampf als Medium ein. Drei Unternehmen führen Produkte für jegliche Kombination an Trägermedien.

Alle befragten Firmen mit einer Ausnahme geben an, dass sie mit Fouling, also dem ungewollten Verschmutzen der wärmeübertragenden Flächen, bereits in Kontakt gekommen sind und dies eine wichtige Bedeutung für sie hat. Die Unternehmen wurden mit einer vorgegebenen Auswahl aus sechs Kategorien befragt, mit welchem Foulingtyp sie sich bereits auseinandergesetzt haben. **Tabelle 11** zeigt die Auflistung der verschiedenen Verschmutzungsarten und die Anzahl der Nennungen.

| Foulingtyp | Anzahl der Nennungen |
|-----------------------------|----------------------|
| Korrosion | 7 |
| Staubablagerungen | 6 |
| Chemische Reaktionsprodukte | 5 |
| Kristallisation | 5 |
| Biologischer Bewuchs | 4 |
| Vereisung | 3 |

Tabelle 11: Themenblock Fouling, Anzahl der Nennungen des Foulingtyps (Mehrfachauswahl möglich)

Korrosion in Zusammenhang mit Staubablagerung, Russbildung und chemische Reaktionsprodukte treten bei den interviewten Unternehmen vor allem bei schmutzigen Rauchgasen (z.B. bei Kehrrichtverwertungsanlagen) auf. Zudem lässt sich ableiten, dass diese Kombination typisch für Hochtemperaturanwendungen mit Rohrbündelwärmetauschern ist.

„Der biologische Bewuchs in Form von z.B. Algen ist meistens eine Vorstufe von Korrosion.“

Zitat eines befragten WT-Herstellers.

Im Bezug zur Kristallisation wurden von zwei befragten Firmen auch Ablagerungen in Form von Partikeln, Spinell- und Sedimentbildung erwähnt. Zur Reinigung der Wärmetauscher werden Systeme wie



(Schwamm-) Kugelreinigungen sowie der Einsatz von Sprühdüsen genannt. Ein Unternehmen erwähnte die selbstständige Reinigung der Verschmutzung durch Abtransport mit anfallender Kondensationsflüssigkeit.

5.3 Innovationsbedürfnisse

Zusätzlich zu den Produktinformationen wurden die Innovationsbedürfnisse der WT-Hersteller erfasst. Konkret geht es dabei um aktuelle sowie vergangene Anstrengungen im Bereich Forschung und Entwicklung sowie dem Innovationspotential der bestehenden Produktpalette.

Firmen wurden gefragt, ob sie momentan Anstrengungen im Bereich Forschung und Entwicklung betreiben. **Abbildung 5** zeigt die entsprechenden Antworten.

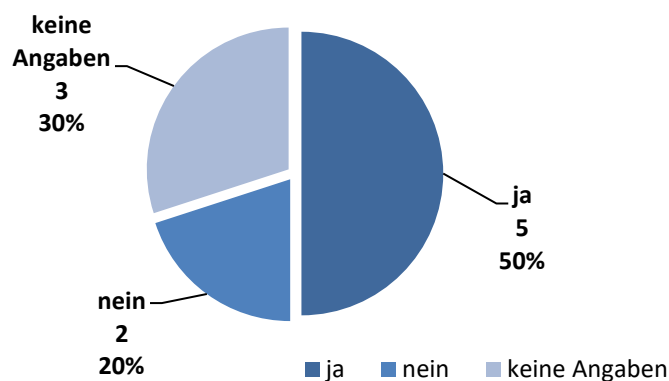


Abbildung 5: Aktuelle F&E-Anstrengungen (Antwort; Anzahl Firmen; Prozent)

Wie aus obigem Diagramm ersichtlich ist, sind die Hälfte der befragten Unternehmen in der Entwicklung neuer oder bei der Optimierung bestehender Produkte tätig. Zwei Firmen evaluieren eine Performancesteigerung, wobei zwei weitere Unternehmen auch die Kompaktheit der Bauform evaluiert. Ausserdem untersuchen zwei Betriebe neue korrosionsbeständige Rohrmaterialien für Rohrbündelwärmetauscher im Hochtemperaturbereich um Fouling zu reduzieren, wobei eine Firma auch die Materialeigenschaften (z.B. Festigkeit) untersucht. Ein weiteres Unternehmen beschäftigt sich mit Adsorption und Desorption. Es ist anzumerken, dass oft Kunden der treibende Faktor für Untersuchungen sind und vier Unternehmen die Produkte als technisch ausgereift sehen. Es wurde auch die vor Ort Untersuchung der Produkte bei den Kunden erwähnt. Eine Firma gibt an, dass die Auslegungen der Produkte hauptsächlich auf Erfahrungs- und Literaturwerten sowie Kennzahlen basiert.



Zudem wurden Firmen gefragt, ob sie in der Vergangenheit Anstrengungen im Bereich Forschung und Entwicklung betrieben haben, wobei 7 von 10 Unternehmen dies bejahen und drei keine Angabe machen. Drei der befragten Firmen konnten keine Details nennen, da dies bereits länger zurückliegt. Des Weiteren führte ein Betrieb diverse Untersuchungen im Bereich Wärmeübertragung und Druckverlust bei verschiedenen Wärmetauscher-Typen durch.

„Die Thermodynamik im Bereich der klassischen Wärmetauscher ist abgehandelt.“

Zitat eines befragten WT-Herstellers.

Ausserdem evaluierten zwei Unternehmen die Weiterentwicklung und Produkteinnovation von Rohrbündel- und Rippenrohrwärmetauschern. In einem Betrieb wurde der Einsatz von Kunststoffmaterialien im Hochtemperaturbereich für Rohrbündelwärmetauscher untersucht und optimiert. Ein Unternehmen nannte als Beispiel die Weiterentwicklung von Rauchgaskühlern, vor allem im Bereich der Materialtechnik in der Rohrbündelkonfiguration, um Fouling zu verhindern. Eine weitere Firma im Hochtemperatursektor beschäftigte sich mit der Versteifung der Rohre, Wärmeausdehnung und Dichtheit der Rohrbündelwärmetauscher. Zudem wurden diverse Reinigungssysteme untersucht und optimiert.

Anschliessend wurden die Unternehmen gefragt, ob sie bei ihren Wärmetauschern Innovationspotential sehen. **Abbildung 6** zeigt die entsprechenden Antworten.

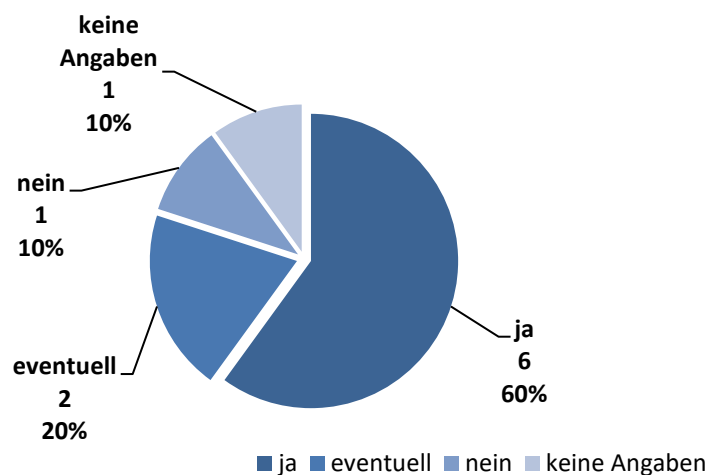


Abbildung 6: Themenblock Innovationsbedürfnisse bei Wärmetauschern (Antwort; Anzahl Firmen; Prozent)



Zwei Drittel der befragten Firmen sehen aktuell Innovationsbedürfnisse für ihre WT-Produkte. Zwei Unternehmen nennen hierfür die Kompaktheit und die damit einhergehenden Kosteneinsparungen. Ausserdem sehen zwei Firmen mit Produkten in der Industrie- und Kraftwerkstechnik Potential in neuen korrosionsbeständigen Materialien für Rohrbündelwärmetauscher. Ein Betrieb sieht Optimierungsmöglichkeiten bei Kissen-Platten-Wärmetauschern bezüglich Druckverlust und Wärmeübergang auch im Zusammenhang mit Fouling. Ferner sieht ein weiteres Unternehmen Verbesserungspotential beim Druckverlust in Mischer-Wärmetauschern. Zwei Firmen sehen erst ein Innovationsbedürfnis, falls Schadensfälle bei bestehenden Wärmetauschern auftreten.

Im Zusammenhang mit den Innovationsbedürfnissen wurden die Unternehmen zudem gefragt, ob bereits Fördermittel, z.B. im Rahmen eines Förderprojekts von der KTI, beantragt wurden. 4 von 10 Firmen bejahen die Frage, wobei bei einem Unternehmen ein KTI-Antrag abgelehnt wurde. In zwei Betrieben fehlt das Interesse und bei zwei weiteren befragten Firmen wird solches als ein zu langfristiges Unterfangen angesehen. Zwei WT-Hersteller machten keine Angaben.

Des Weiteren wurden die Unternehmen gefragt, ob sie bereits mit Universitäten oder Fachhochschulen zusammengearbeitet haben. 7 der 10 befragten Firmen verfolgen aktuell eine Kooperation oder haben in der Vergangenheit Projekte mit Hochschulen durchgeführt. Die Resonanz der befragten Betriebe war hier durchwegs positiv.

5.3.1 Fazit Innovationsbedürfnisse

Anhand **Abbildung 6** lässt sich ableiten, dass die befragten WT-Hersteller durchaus Innovationsbedarf bei ihren Produkten sehen und dem gegenüber gestellt auch aktiv F&E-Anstrengungen betreiben (**Abbildung 5**). Es hat sich jedoch auf Grundlage der Befragungen herauskristallisiert, dass die meisten Hersteller das Innovationspotenzial vor allem im inkrementellen F&E-Bereich sehen, also bei der Optimierung ihrer Produkte hinsichtlich Kompaktheit, Performance, Druckverluste, Kosten und unter anderem auch Fouling. Das zeigt sich auch in der Tatsache, dass die Thematik Fouling aktuell nur gerade von einer befragten Firma aktiv untersucht wird, allenfalls noch von zwei weiteren, welche sich aber in erster Linie mit Materialuntersuchungen beschäftigen.

Auf Grundlage dieser Erkenntnisse kann festgehalten werden, dass WT-Hersteller, wenn überhaupt, latente Innovationsbedürfnisse im Bereich Fouling haben, jedoch ihre momentane F&E-Tätigkeiten nicht darauf ausrichten. Dies kann unterschiedliche Gründe haben. Zum einen finden sich in der Literatur Berechnungsgrundlagen für verschiedene Foulingtypen, welche den Herstellern als Auslegungshilfen zur Verfügung stehen. Dabei wird nicht die Ursache des jeweiligen Foulings angegangen, sondern der WT mit einer oft sehr grosszügigen Flächenzugabe beaufschlagt und somit grösser und teu-



rer als eigentlich notwendig gebaut. Weiter oder oft auch in Kombination angewendet sind unterschiedliche Abreinigungssysteme auf dem Markt erhältlich, welche den Aufbau von Fouling verhindern oder zumindest minimieren sollen. Nicht zuletzt sind in der Vergangenheit bereits grosse Anstrengungen im Bereich Fouling getätigt worden, u.a. auch von Seiten der Wissenschaft sowie der Hersteller. Gut möglich, dass die WT-Hersteller zwangsläufig gelernt haben mit der Foulingthematik zu leben und nur sehr begrenzt bereit sind, weitere grosse F&E-Anstrengungen auf sich zu nehmen. Gerade weil sich Fortschritte in diesem Bereich aufgrund der hohen Komplexität wohl nur unter grossem zeitlichen und finanziellen Aufwand erzielen lassen.

5.4 Wärmetauscherprüfstand

In diesem Abschnitt werden allfällige Bedürfnisse der befragten Unternehmen hinsichtlich eines zukünftigen WT-Prüfstandes erfasst und ausgewertet. Ausserdem wird Ihre Motivation für eine Zusammenarbeit auf einem solchen Prüfstand abgeklärt.

Die Firmen wurden gefragt, welche Eigenschaften ihrer Meinung nach ein Prüfstand aufweisen soll (freie Antwort). Die Auskünfte wurden kategorisiert und zusammengefasst. **Tabelle 12** und **Tabelle 13** zeigen die Auflistung der zu ermittelnden Messgrössen sowie der zu untersuchenden Medien mit der Anzahl der Nennungen. **Tabelle 14** zeigt die Auflistung der allgemeinen Bedürfnisse hinsichtlich eines WT-Prüfstandes mit der entsprechenden Anzahl der Nennungen.

| Messgrössen | Anzahl der Nennung |
|--------------------------|--------------------|
| Temperatur | 3 |
| Druck | 3 |
| Durchfluss (Massenstrom) | 1 |
| Leistung | 1 |
| Keine Angaben | 6 |

Tabelle 12: Themenblock Prüfstand, Anzahl der Nennungen der Messgrössen (Mehrfachnennung möglich)

Als wesentlicher Bestandteil des Prüfstandes ist die Modularität, also ein flexibles Ein- und Ausbauen diverser WT-Module, d.h. auch verschiedener WT-Typen, sowie der Wechsel der Medien hervorzuheben. Ein befragtes Unternehmen wäre an Untersuchungen des Abflusses von Kondensat in Zusammenhang mit schräg eingebauten Komponenten interessiert. Wie aus **Tabelle 13** hervorgeht, sind auch verunreinigte Arbeitsmedien wie Rauchgas oder Schmutzwasser für den Prüfstand erwünscht. Dies deckt sich mit der Aussage aus **Tabelle 14**, in welcher fünf Hersteller die Untersuchung von Fou-



ling begrüßen würden. Es ist anzumerken, dass alle befragten Unternehmen das künstliche Erzeugen von Verschmutzung als eine sehr schwierige Aufgabe erachten. Eine der befragten Firmen würde Dichtheitsprüfungen mit Öl bei Betriebstemperatur durchführen wollen, um auch Viskositätseffekte zu untersuchen.

| Spezifische Trägermedien | Anzahl der Nennung |
|--------------------------|--------------------|
| Wasserdampf | 3 |
| Öl | 3 |
| Schmutzwasser | 3 |
| Rauchgas | 1 |
| Keine Angaben | 6 |

Tabelle 13: Themenblock Prüfstand, Anzahl der Nennungen der Trägermedien (Mehrfachnennung möglich)

Aus der **Tabelle 12** bis **Tabelle 14** geht hervor, dass rund die Hälfte der befragten Firmen keine genauen Angaben zum Prüfstand machen konnten oder wollten. Einerseits ist dies auf die Baugrösse ihrer Wärmetauscher zurückzuführen und andererseits wird es als schwierig erachtet die genauen Betriebsbedingungen nachzubilden. Dies trifft vor allem auf Hochtemperaturwärmetauscher mit hohen thermischen Leistungen zu. Zwei Unternehmen geben zudem an, dass entsprechendes Knowhow bereits vorhanden ist und ein Prüfstand daher für sie eher uninteressant sei. Dies deckt sich auch mit den Innovationsbedürfnissen und der Aussage aus den vorhergehenden Abschnitten, dass die Thermodynamik von klassischen Wärmetauschern bereits genügend untersucht wurde. Zudem stellen zwei befragte Firmen in Frage, ob es überhaupt möglich ist, die korrekte Zusammensetzung der Trägermedien abzubilden. Dies wird als zu komplex und nahezu unmöglich erachtet.

| Allgemeine Bedürfnisse | Anzahl der Nennung |
|--------------------------|--------------------|
| Künstliches Fouling | 5 |
| Modularer Aufbau | 3 |
| Verschiedene Druckstufen | 3 |
| Dichtheitsprüfung | 1 |
| Akustikuntersuchungen | 1 |
| Keine Angaben | 5 |

Tabelle 14: Themenblock Prüfstand, Anzahl der Nennungen der allgemeinen Bedürfnisse (Mehrfachnennung möglich)



Die Unternehmen wurden gefragt, ob sie allenfalls Messungen und Optimierungen auf einem solchen Prüfstand durchführen würden, sofern dieser vorhanden wäre. Eine der befragten Firmen zeigt aktiv Interesse, wobei ein weiteres Unternehmen Versuche auf dem Wärmetauscherprüfstand fahren würde, falls dieser ihre gewünschten Untersuchungen zulässt. Ein Betrieb würde eventuell Schadensfälle untersuchen und ein weiterer eine Zusammenarbeit anstreben falls spezifisch in ihren Produkten eine Entwicklung anfällt.

5.4.1 Fazit Wärmetauscherprüfstand

Anhand der erhobenen Daten sowie den durchgeführten Auswertungen, ist unter den Befragten eine breite Palette an vielseitigen und unterschiedlichen Bedürfnissen hinsichtlich eines WT-Prüfstandes vorhanden (siehe **Tabelle 12** - **Tabelle 14**). Hinzu kommen berechtigte Vorbehalte und Bedenken hinsichtlich Abbildbarkeit realer Betriebsbedingungen sowie Vereinbarkeit aller genannten Bedürfnisse (**Tabelle 14**) und Trägermedien (**Tabelle 13**) auf einem gemeinsamen WT-Prüfstand. Gerade die Sicherstellung von korrekten Betriebsbedingungen, wie z.B. des realen, verunreinigten Stoffstroms hinsichtlich Temperatur, Druck, Feuchte und Zusammensetzung ist, wenn überhaupt, nur unter immensen Aufwand zu bewerkstelligen. Kaum einfacher dürfte es sein, einen Prüfstand zu konzipieren und zu bauen, auf welchem sich alle oder zumindest eine Vielzahl der genannten Trägermedien (**Tabelle 13**) vereinen lassen. Zu unterschiedlich ist die Erzeugung und Handhabung der genannten Trägermedien auf ein und demselben WT-Prüfstand. Zu überlegen wäre allenfalls eine Eingrenzung auf bestimmte Trägermedien, welche sich relativ gut auf einem Prüfstand vereinen lassen würden. So z.B. auf einem reinen Gas oder Dampf/Flüssigkeits-Prüfstand. Weiter nicht gelöst bleibt hier die Problematik der Sicherstellung realer Betriebsbedingungen.

Zusammen mit dem verhaltenen Feedback der Hersteller hinsichtlich Zusammenarbeit auf einem solchen Vielzweck-Prüfstand, macht es wohl kaum Sinn weiter Ressourcen in dieses Vorgehen zu investieren, auch wenn man die Kosten/Nutzen-Betrachtung eines solchen Prüfstandes beleuchtet. Gemeint sind hier die nicht zu vernachlässigenden Kosten für die Planung und den Bau eines solchen Vielzweck-Prüfstandes für schweizweit maximal 4-5 Firmen mit Interesse (Nutzenseite). Effizienter und zielführender dürfte es hier sein, direkte Kooperationen zwischen Herstellern und Forschungspartnern zu genau definierten Fragestellungen anzustreben und den Gedanken an einen Vielzweck-Prüfstand zur Foulinguntersuchung zu verwerfen.



6 Schlussfolgerungen und Erkenntnisse

Anhand der erläuterten Reduzierung der Interviewpartner auf 10 Firmen wird ersichtlich, dass der WT-Markt der produzierenden WT-Hersteller im Mittel- bis Hochtemperaturbereich in der Schweiz sehr überschaubar ist. Viele Firmen betreiben nur noch Handel oder haben nebst ihrer Produktion auch ihre Entwicklung ins Ausland verlagert. Dennoch konnte eine konsistente Liste mit den wichtigsten Schweizer WT-Herstellern im Mittel- bis Hochtemperaturbereich erarbeitet und ein erster Kontakt hergestellt werden.

Mit den durchgeführten Interviews konnten die Innovationsbedürfnisse der verschiedenen WT-Unternehmen erfolgreich abgeholt und verarbeitet werden. Nebst Innovationsbedürfnissen in der Materialtechnik und Performancesteigerung ist auch die Baugrößenoptimierung ein Thema. Die genannten Schwerpunkte stehen Teils in direktem Zusammenhang mit Fouling, welches von fast allen befragten Unternehmen als zentrales Thema angegeben wird. Trotzdem wird es vielerorts nicht aktiv behandelt, was unter anderem an dessen Komplexität liegt oder an den kurzfristigen Kundenaufträgen, welche die vorhandenen Kapazitäten zur genaueren Untersuchung der Phänomene binden. Vielerorts werden die Wärmetauscher darum mit einem gewissen Sicherheitsfaktor ausgelegt. Es wird z.B. bewusst auf grössere Bauabmessungen ausgelegt, um den notwendigen Wärmeübergang auch bei Verschmutzung zu gewährleisten. Weitere Erkenntnisse im Bereich des Foulings, z.B. das zeitliche Verhalten des Wärmedurchgangskoeffizienten bei zunehmendem Verschmutzungsgrad, wären für viele Unternehmen sehr aufschlussreich. Anhand der gewonnen Daten könnten Auslegungsgrundlagen und somit bestehende Berechnungstools deutlich genauer gestaltet werden. Weiter gedacht hätte dies die Reduktion der wärmeübertragenden Fläche zur Folge, wodurch die Kompaktheit der Wärmetauscher bei gleichbleibender effektiver Leistung massgeblich gesteigert werden könnte. Dieser Effekt würde sich auch auf der Kostenseite der WTs deutlich bemerkbar machen und somit eine allfällige Investitionshürde von WT-Kunden senken.

Durch die Interviews konnten die Grundbedürfnisse bzgl. eines Vielzweck-Prüfstandes geklärt werden. Ein solcher Prüfstand müsste möglichst modular aufgebaut sein, um verschiedene WT-Module und WT-Typen schnell zu wechseln und zu testen. Untersuchungen mit Flüssigkeiten, Gasen und Wasserdampf, sowie Öl als Trägermedium im Speziellen, wären wünschenswert. Das Erzeugen von Fouling sowie damit einhergehend die Untersuchung des Wärmeübergangs und des Druckverlustes wären zu berücksichtigen, wobei die meisten WT-Hersteller der Umsetzung mittels eines Prüfstandes eher skeptisch gegenüberstehen. Hier werden vor allem die Reproduzierbarkeit, die Sicherstellung der verschmutzten Arbeitsmedien bei in der Realität vorhandenen Betriebsbedingungen sowie die Vereinbarkeit verschiedener Trägermedien auf ein und demselben Prüfstand als schwierig bis unmöglich erachtet. Zusammen mit dem eher geringen Bedürfnis Seitens WT-Hersteller auf einem solchen Prüfstand zusammen zu arbeiten, ist von einem Weiterverfolgen eines Vielzweck-Prüfstandes abzuraten.



Es empfiehlt sich in diesem Fall, die vorhandenen Innovationsbedürfnisse der Schweizer WT-Hersteller in direkten Kooperationen anzugehen.

Interessant könnten Markttrends hin zu Kalt- und Tieftemperaturanwendungen sein. In Zeiten der Energiewende 2050 werden unterschiedlichste Ansätze zur Zielerreichung überprüft und verfolgt. Ein möglicher Ansatz wäre hier die dezentrale Energieerzeugung sowie die Bildung von kleinen bis mittelgrossen Energieverbunden. Durch eine solche Neuausrichtung des Markts könnte die Nachfrage an WTs für deutlich kleinere Leistungen und tiefere Temperaturen als die in dieser Arbeit untersuchten steigen (z.B. Stichwort Anergie-Netze). Eine solche Verschiebung hätte dann wohl auch Folgen für WT-Hersteller sowie Forschungsinstitutionen.



7 Ausblick

Auf Basis der Interviewergebnisse besteht lediglich bei einem eher kleinen Teil der WT-Hersteller ein Forschungsbedürfnis hinsichtlich Foulingthematik, wohl vor allem, weil deren Abbildung und somit auch deren Überprüfbarkeit mithilfe eines Vielzweck-Prüfstandes von Seiten der Hersteller stark angezweifelt wird. Im Vordergrund stehen hier die unter **Kapitel 6** bereits genannten Bedenken bzgl. Reproduzierbarkeit, Sicherstellung der verschmutzten Arbeitsmedien bei realen Betriebsbedingungen und die Vereinbarkeit der unterschiedlichen Trägermedien auf einem Prüfstand.

Als nächsten Schritt werden die einzelnen WT-Hersteller bzgl. ihrer jeweiligen Innovationsbedürfnisse angegangen mit dem Ziel, die Produkte der WT-Hersteller gemäss ihren Bedürfnissen zu optimieren. Dabei wird nicht mehr der Ansatz des Vielzweck-Prüfstands weiterverfolgt, sondern direkte Kooperationen zwischen Herstellern und Forschungspartnern angestrebt. Wo sinnvoll und erfolgsversprechend wird punktuell die Unterstützung durch BFE- oder KTI-Mittel beantragt. Dabei können durchaus auch Themen bearbeitet werden, welche sich in der Thematik Fouling bewegen.

Weiter sind gezielte Forschungsanstrengungen hinsichtlich der angesprochenen Markttrends hin zu WTs kleineren Leistungen sowie Kalt- und Tieftemperaturanwendungen zu prüfen. Nächste Schritte sind hier in Planung.



8 Literaturverzeichnis

- [1] Atteslander, P. (2010). *Methoden der empirischen Sozialforschung*. 13. Auflage. Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. KG.
- [2] Bundesamt für Energie (2012). *Energiestrategie 2050: Erstes Massnahmenpaket*. Abgerufen von http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_370380373.pdf
- [3] Cerbe, G., & Wilhelms, G. (2008). *Technische Thermodynamik*. 15. Aktualisierte Auflage. München: Hanser Verlag.
- [4] Energie-Cluster.ch. (2017). *Innovationsgruppe Speicher Wärmetauscher*. Abgerufen von [https://www.energie-cluster.ch/de/wissenstransfer/innovationsgruppen-\(ig\)/speicher-waermetauscher-\(ig-spwt\)/unterlagen-bisheriger-meetings_1-2625.html](https://www.energie-cluster.ch/de/wissenstransfer/innovationsgruppen-(ig)/speicher-waermetauscher-(ig-spwt)/unterlagen-bisheriger-meetings_1-2625.html)
- [5] Kromrey, H. (2006). *Empirische Sozialforschung*. 11. Auflage. Stuttgart: Lucius & Lucius Verlagsgesellschaft.
- [6] Schelker, D., & Siegl, W. (2015). *Verbesserung der Berechnungsmodelle und Aufzeigen von Kostenreduktionspotenzialen von Wärmetauschern in Anwendungen mit starker Staubbeladung*. Bern. BFE-Schlussbericht vom 30. April 2015.
- [7] Zahoransky, R., et al. (2010). *Energietechnik*. 5. Auflage. Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag.



9 Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Kategorien zur Einteilung der WT-Hersteller | 9 |
| Tabelle 2: Übersicht der verschiedenen Anwendungsgebiete | 10 |
| Tabelle 3: Übersicht der verschiedenen Fouling-Typen | 10 |
| Tabelle 4: Übersicht der verschiedenen Temperaturbereiche | 11 |
| Tabelle 5: Übersicht der verschiedenen Leistungsbereichen..... | 11 |
| Tabelle 6: Angewendetes Bewertungsraster für Firmen und Anzahl Hersteller in der jeweiligen Bewertungskategorie..... | 12 |
| Tabelle 7: Liste der Incentivierungspunkte | 13 |
| Tabelle 8: Inhalt und Aufbau der Befragung | 14 |
| Tabelle 9: Zusammenfassung der Interviewbereitschaft..... | 14 |
| Tabelle 10: Themenblock Wärmetauscher-Typen, Anzahl der Nennungen der spezifischen Bauweise (Mehrfachnennung möglich)..... | 17 |
| Tabelle 11: Themenblock Fouling, Anzahl der Nennungen des Foulingtyps (Mehrfachauswahl möglich) | 20 |
| Tabelle 12: Themenblock Prüfstand, Anzahl der Nennungen der Messgrößen (Mehrfachnennung möglich) | 24 |
| Tabelle 13: Themenblock Prüfstand, Anzahl der Nennungen der Trägermedien (Mehrfachnennung möglich) | 25 |
| Tabelle 14: Themenblock Prüfstand, Anzahl der Nennungen der allgemeinen Bedürfnisse (Mehrfachnennung möglich)..... | 25 |



10 Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Themenblock Temperaturniveau, Anzahl der Nennungen des jeweiligen Einsatzbereiches (Mehrfachauswahl möglich) | 17 |
| Abbildung 2: Themenblock thermische Leistungsbereiche, Anzahl der Nennungen der jeweiligen Bereiche (Mehrfachauswahl möglich) | 18 |
| Abbildung 3: Themenblock Anwendungsgebiete, Anzahl der Nennungen des Einsatzbereiches (Mehrfachauswahl möglich) | 19 |
| Abbildung 4: Themenblock Trägermedien, Anzahl der Nennungen des Mediums (Mehrfachnennung möglich) | 19 |
| Abbildung 5: Aktuelle F&E-Anstrengungen (Antwort; Anzahl Firmen; Prozent) | 21 |
| Abbildung 6: Themenblock Innovationsbedürfnisse bei Wärmetauschern (Antwort; Anzahl Firmen; Prozent) | 22 |



11 Anhang

11.1 Interview-Fragebogen

Leitfaden für Interviews „Innovationsbedürfnisse WT-Hersteller“

1. Einführung, Termin (ca. 5')

1.1. Ziele

- InterviewpartnerIn kennt Hintergrund des Interviewers
- InterviewpartnerIn kennt den groben Rahmen des BFE-Projekts
- InterviewpartnerIn kennt und sieht den eigenen Nutzen bei einer Interviewteilnahme
- Zusage für Interview und konkreter Termin

1.2. Ablauf

1. Richtige Person / Interviewpartner ausfindig machen

- ... welche die Interviewfragen beantworten kann und auch eine gewisse Entscheidungskompetenz in der jeweiligen Unternehmung besitzt (z.B. Entwicklungsleiter, Technischer Leiter, Spartenleiter, Product Manager, Geschäftsführer, usw.)
- Durchführung einer kurzen Recherche im Vorfeld der Interviews bzgl. richtigem Interviewpartner in der jeweiligen Unternehmung. Diese Recherche erleichtert den Prozess und liefert zugleich Argumente, warum gerade diese Person Antworten geben sollte.

2. Begrüssung und kurzes Vorstellen des Interviewers sowie des IEFE's

- Martin Schneider
- Team- und Projektleiter an der ZHAW / IEFE seit über 6 Jahren, vorher in der Industrie (u.a. Bühler AG)
- Spezialisierung auf die Bereiche Energiesysteme und Fluid-Engineering, ein Teilgebiet ist die Untersuchung und Optimierung von Wärmetauschern am IEFE
- In diesem Bereich der Wärmetauscher bereits mehrere unterschiedliche Projekte mit Industriepartnern durchgeführt. Aktuell gerade die Bearbeitung eines BFE-Projekts ...
- Falls notwendig Referenzen/Umgesetzte Projekte im Bereich der WT's erwähnen:
 - ABB: Berechnungsmodell WT-Auslegung (inkl. Berücksichtigung Fouling)
 - ABB: Performanceoptimierung zweier Rohrbündel-WT's mit starker Staubbelastung
 - Alstom: Untersuchung neuer WT-Technologien an einem Laborprüfstand
 - Agroscope: WRG's in Nutztierställen (inkl. Messkonzept, Strömungssimulationen, Fouling)
 - Schmid AG: Wirkungsgradsteigerung eines 3-Zug-WT's in einer Holzfeuerung
 - SMS Concast: WT's für Hochtemperaturanwendungen (Strömungsoptimierung)



3. Kurzes Vorstellen des BFE-Projekts

- Worum geht es?

- IEFE führt eine Umfrage im Rahmen eines vom Bundesamt für Energie (BFE) geförderten Projekts bzgl. der Innovationsbedürfnisse von Schweizer WT-Herstellern durch. (Mögliche Themengebiete könnten sein: Wirkungsgradsteigerung, Effizienz, Fouling/Verschmutzung, Strömungsoptimierung, usw.)
- Basierend auf den Umfrageergebnissen soll zukünftig in Winterthur an der ZHAW ein WT-Prüfstand konzipiert und aufgebaut werden, welcher es erlaubt, bestehende oder neue Produkte (WT's) von Firmen wie Ihrer genauer zu untersuchen und falls gewünscht gemeinsam weiter zu entwickeln, sodass diese auf dem Schweizer und vor allem auf dem internationalen Markt einen entscheidenden Vorteil (USP) gegenüber ihren Mitbewerber haben.

- Was haben Sie für einen Nutzen bei einer Teilnahme?

- Ihre Bedürfnisse und Anliegen hinsichtlich eines WT-Prüfstandes sind platziert und werden wenn irgend möglich in der Planung und Konzipierung mitberücksichtigt.
- Sie erhalten die anonymisierten und ausgewerteten Ergebnisse aus den Interviews aus erster Hand.
- Wir werden Sie über den weiteren Verlauf sowie den Projektfortschritt des WT-Prüfstandes auf dem Laufenden halten.
- Bei einem späteren Betrieb des WT-Prüfstandes werden Sie als Partner bevorzugt behandelt und geniessen eine höhere Priorisierung bzgl. einer allfälligen Zusammenarbeit auf dem WT-Prüfstand.

- Dauer des Interviews?

- Ca. 30 Minuten

- Vertraulichkeit

- Ich würde das Interview gerne aufzeichnen. Die erhaltenen Interviewantworten werden streng vertraulich und ausschliesslich anonymisiert für die Auswertung der Interviews sowie zur Planung und Konzeptionierung des WT-Prüfstandes verwendet. Wenn gewünscht wird weder Ihr Name noch der Ihrer Firma explizit veröffentlicht oder mit Externen geteilt. Nach Beendigung des Projekts, werden alle Audioaufnahmen gelöscht.

4. Interviewbereitschaft abholen und -termin abmachen

- Interviewbereitschaft Ja / Nein
- Wenn Ja, Fragen ob jetzt Zeit für ein Interview oder zu einem späteren Zeitpunkt (Termin fixieren)
- Ausserdem berücksichtigen ob ein persönliches oder telefonisches Interview für den jeweiligen Interviewpartner angedacht ist.

Checkliste

- ☐ Richtige Person / Interviewpartner gefunden und direkter Kontakt bekannt
- ☐ Zusage für Interviewbereitschaft des Interviewpartners
- ☐ Konkreter Termin für Interviewdurchführung fixiert



2. Interview (25'-30')

2.1. Ziele

- Beschaffung der notwendigen Informationen/Randbedingungen für einen allfälligen WT-Prüfstand mittels Interviews
- Besseres kennenlernen des Interviewpartners/Unternehmens
- Netzwerk in die WT-Industrie erweitern

2.2. Ablauf bzw. Fragen

1. Begrüssung und bedanken für Interviewbereitschaft
2. Allenfalls nochmals kurzes Vorstellen des BFE-Projekts bzw. des Grundes für das Interview
 - (siehe oben)
3. Vertraulichkeit
 - Ich würde das Interview gerne aufzeichnen. Die Aufnahmen werden selbstverständlich vertraulich behandelt, anonymisiert und ausschliesslich zur Auswertung der Interviews verwendet.

➔ Ist das in Ordnung? Wenn ja

➔ **Start der Aufnahme!!!**

4. Klären des Ablaufs des Interviews
Aufbau in 3 Themenblöcke:
 - Abholen der Innovationsbedürfnisse im Bereich Wärmetauscher
 - Eingehen auf konkrete Produktpalette im Bereich Wärmetauscher
 - Allgemeine Fragen/Hintergrundinformationen bzgl. des Unternehmens (Vergleichbarkeit der Daten)

5. Interview

Innovationsbedürfnisse im Bereich WT:

Es geht in den folgenden Fragen darum, die Innovationsbedürfnisse und Verbesserungswünsche Ihres Unternehmens zu erfassen.

- Betreibt Ihr Unternehmen zurzeit konkrete Anstrengungen im Bereich F&E/R&D? (z.B. Weiter- oder Neuentwicklungen von Wärmetauschern)
 - Wenn ja, in welcher Form?
 - Hinsichtlich welcher Thematik? (u.a. auch Fouling?)
- Haben Sie dabei Unterstützung durch externe Partner? (z.B. Ingenieurbüros, Fachhochschulen, Universitäten, usw.)
 - Wenn ja, welche?
- Hat Ihr Unternehmen in der Vergangenheit bereits konkrete Anstrengungen im Bereich F&E betrieben?
 - Wenn ja, in welcher Form und hinsichtlich welcher Thematik? (einige Beispiele der grösseren Projekte/Optimierungen, Fouling)
- Hatten Sie dabei Unterstützung durch externe Partner? (z.B. Ingenieurbüros, Fachhochschulen, Universitäten, usw.)



- Wenn ja, welche?
- Haben Sie hierfür jemals Fördermittel beantragt und auch bekommen?
 - Wenn ja, welche? (z.B. BFE-, KTI-, NFP- oder EU-Gelder, weitere)
 - Wenn nein, wieso nicht?
- Sehen Sie bei einem oder mehreren Produkten (WT) von Ihnen gewisses Optimierungs-/Innovationspotenzial?
 - Wenn ja, welches?
- Wie müsste ein Wärmetauscherprüfstand aussehen und welche Features müsste er haben, damit er nutzenbringend in den Entwicklungsprozess Ihres Unternehmens eingebunden werden könnte? (Wenn möglich Unterteilung in „Must Have“ und „Nice to Have“)
- Angenommen es gäbe ein WT-Prüfstand, welcher die Untersuchung Ihrer Innovationsbedürfnisse erlauben würde, könnten Sie sich dann eine Zusammenarbeit vorstellen? (Wie könnte allenfalls eine solche Zusammenarbeit aussehen?)
 - Ist ein solcher Prüfstand für Sie interessant und können Sie sich vorstellen, in Zukunft Messungen und Optimierungen auf einem solchen Prüfstand durchzuführen?
 - Wenn ja, in welcher Grössenordnung könnte eine solche Zusammenarbeit bzgl. Messkampagne/Entwicklung/Optimierung auf dem oben erwähnten Prüfstand zustande kommen? (Grobe Abschätzung in CHF, für Potenzialabschätzung am IEFE)
 - Wenn nein, wieso nicht?
- Gibt es noch weitere Punkte, welche Sie an dieser Stelle thematisieren möchten?

Produktepalette im Bereich WT:

Es geht in den folgenden Fragen darum, die Produktepalette und das Kernangebot Ihrer Firma genauer zu erfassen.

- In welchen Bereichen, bezogen auf Ihre Wärmetauschersparte, ist Ihr Unternehmen tätig?
- Welche Wärmetauscher Typen/Arten vertreibt Ihr Unternehmen? (z.B. Rohrbündel-, Plattenwärmetauscher, usw.)
- Welches ist Ihr Kernangebot im Bereich der Wärmetauscher?
- Über welche beiden Medien wird bei Ihren Produkten hauptsächlich die Wärmeübertragung vorgenommen? (z.B. Luft/Luft, Luft/Wasser, Dampf/Luft, usw.)
- In welchem Temperaturniveau sind Ihre angebotenen Wärmetauscher hauptsächlich einzusetzen? Sie können dabei aus folgenden 4 Kategorien wählen.
 1. Kalte Temperaturen (bis 0 °C)
 2. Tiefe Temperaturen (bis 100 °C)
 3. Mittlere Temperaturen (bis 300 °C)
 4. Hohe Temperaturen (über 300 °C)
 - Welches ist das Temperaturniveau, in welchem Sie am meisten WT's verbauen?
- In welchem Leistungsbereich sind Ihre Wärmetauscher hauptsächlich anzusiedeln? Sie können dabei aus folgenden 4 Kategorien wählen.
 1. 0 – 20 kW
 2. 20 – 100 kW
 3. 100 kW – 10 MW
 4. Über 10 MW
 - Welches ist der Leistungsbereich, in welchem Sie am meisten WT's verbauen?



- Für welche Anwendungsgebiete bietet Ihre aktuelle Produktpalette der WT's eine passende Lösung? Sie können dabei aus folgenden 6 Kategorien wählen.
 1. Kälte- und Kryotechnik
 2. Haustechnik
 3. Chemie, Pharma- und Bioindustrie
 4. Lebensmittelindustrie
 5. Industrieprozesse
 6. Kraftwerkstechnik
 - Welches dieser Anwendungsgebiete ist Ihr Kernanwendungsgebiet?
- Sind Sie mit Ihren Wärmetauschern bereits einmal mit der Thematik Fouling in Kontakt gekommen? (Zuerst offene Frage, beschreiben lassen was genau bei Ihnen passiert)
 - Wenn notwendig Rückfrage: Wenn ja, bei welchen Anwendungsgebieten und mit welchem Foulingtyp? Sie können dabei aus folgenden 6 Kategorien wählen.
 1. Kristallisation
 2. Staubablagerung
 3. Chemische Reaktionsprodukte
 4. Korrosion
 5. Vereisung
 6. Biologischer Bewuchs
- Mit welchem Foulingtyp setzen Sie sich am meisten auseinander, sprich bei welchem besteht am meisten Innovations-/Optimierungspotenzial?

Allgemeine Fragen/Hintergrundinformationen bzgl. des Interviewpartners (Unternehmens)

Es geht in den folgenden Fragen um allgemeine Informationen über Ihr Unternehmen.

- Was ist Ihre genaue Funktion innerhalb des Unternehmens? (Wenn möglich bereits durch Recherche klären)
- Arbeitet Ihr Unternehmen im Bereich der Wärmetauscher-Entwicklung bereits mit Fachhochschulen/Universitäten zusammen?
 - Wenn Ja, mit welchen?
 - Mit welcher Forschungsgruppe (Dozent)?
 - In welchem spezifischen Gebiet?
 - Erfahrungen?
- Ist Ihr Unternehmen Mitglied in einer Innovationsgruppe, einem Netzwerk oder einem Verband, welcher sich spezifisch mit Wärmetauscher auseinandersetzt?
 - Wenn ja , welche? (z.B. Energie-Cluster, IG Speicher/Wärmetauscher, usw.)
- Reserve Fragen (nur wenn ausreichend Zeit vorhanden)
 - Wie viele Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen beschäftigt Ihr Unternehmen gesamthaft?
 - Wie viele explizit in der Schweiz? Wie viele in der Sparte Wärmetauscher?
 - Wo liegt der Firmensitz Ihres Unternehmens?

Checkliste

- ☐ Ist eine Audioaufzeichnung des Gesprächs in Ordnung? → Angaben sind vertraulich
- ☐ Interesse an weiterer Zusammenarbeit geklärt? (WT-Prüfstand)
- ☐ Wann ist spätestens Gesprächsende? (Effektives Zeitbudget)



3. Abschluss und Ausblick (5')

3.1. Ziele

- Abschluss des Interviews
- Klären des weiteren Vorgehens hinsichtlich Verwendung des Interviews (Randbedingungen für Prüfstand), zustellen von Ergebnisse für Loop, Rückfragen
- Interesse an weiterer Zusammenarbeit (vor allem hinsichtlich des geplanten Prüfstands)

3.2. Ablauf bzw. Fragen

1. Dank

- Bedanken für Gesprächsbereitschaft, Frage stellen: Gibt es noch Punkte, die im Gespräch nicht erwähnt wurden, Sie aber noch anmerken möchten?
- Weitere Anregung für Prüfstand (Innovationsbedürfnisse)

2. Zusammenfassung & Ausblick

- Wichtigste Punkte/Erkenntnisse zusammenfassen, checken ob Verständnis mit Interviewpartner übereinstimmt

3. Rückfragen / Loop

- Möglichkeit für Rückfragen? (E-Mail oder Telefonisch)
- Würden Sie sich bereit erklären, die ermittelten Rahmenbedingungen für den WT-Prüfstand, welche auf den durchgeführten Interviews basieren, nochmals durchzugehen und zu kontrollieren ob Ihre Bedürfnisse richtig untergebracht sind?

4. Ergebnisse und geplanter Prüfstand

- Möchten Sie informiert und auf dem Laufenden gehalten werden?

5. Audiogerät stoppen und Verabschiedung

Checkliste

- ☐ Vertraulichkeit Dokument klären
- ☐ Erhaltene Erkenntnisse/Ergebnisse checken
- ☐ Bereitschaft für Rückfragen/ Loop klären
- ☐ Audioaufzeichnung sichern!

Besten Dank für das Gespräch!