

# Abschlussbericht zum BMBF ForMaT-Projekt

## VELOMAT

### Verwertungsstrategien für Lorentzkraft-Anemometer in der Materialherstellung

Förderkennzeichen: 03FO1291

Ausführende Stelle: **Fachgebiet Thermo- und Magnetfluiddynamik**  
Fakultät für Maschinenbau  
Technische Universität Ilmenau  
Postfach 100565  
98684 Ilmenau

Projektleitung: Prof. Dr. rer. nat. habil. André Thess;  
Prof. Dr. rer. pol. habil. Katja Gelbrich

Projektlaufzeit: 01.05.2008 - 31.10.2008

**Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03FO1291 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt liegt beim Autor.**

**Konzept zur Durchführung von Projektphase II im Rahmen  
des BMBF-Programmes ForMaT zum Thema**

**VELOMAT**

**Verwertungsstrategien für  
Lorentzkraft-Anemometer in der  
Materialherstellung**

- 03.11.2008 -

**Antragsteller**

Prof. Dr. rer. nat. habil. André Thess  
Fachgebiet Thermo- und Magnetofluidynamik  
Fakultät für Maschinenbau  
Technische Universität Ilmenau  
Postfach 100565  
98684 Ilmenau  
Tel/Fax: 03677-69-2445/1281  
Email: [thess@tu-ilmenau.de](mailto:thess@tu-ilmenau.de)

Prof. Dr. rer. pol. habil. Katja Gelbrich  
Fachgebiet Marketing  
Fakultät für Wirtschaftswissenschaften  
Technische Universität Ilmenau  
Postfach 100565  
98684 Ilmenau  
Tel/Fax: 03677-69-4080/4223  
Email: [katja.gelbrich@tu-ilmenau.de](mailto:katja.gelbrich@tu-ilmenau.de)

**Zusammenfassung**

Die Messung von Strömungsgeschwindigkeiten beim Gießen von Aluminium, Stahl und Glas galt bis vor kurzem als ungelöstes Problem mit herausragender wirtschaftlicher Bedeutung. Die Arbeitsgruppen der beiden Antragsteller haben zur Lösung dieses Problems gemeinsam ein neues Messverfahren namens Lorentzkraft-Anemometrie (LKA) entwickelt, in mehreren Industriefirmen erprobt und in der ersten Phase des ForMaT-Projekts VELOMAT ein großes Verwertungspotenzial für diese Technologie identifiziert. Ziel der zweiten Projektphase ist es, durch Zusammenarbeit zwischen drei technischen Forschergruppen A - Aluminium, B - Stahl, C - Floatglas sowie einer Spezialistin auf dem Gebiet der Betriebswirtschaftslehre mit dem Spezialgebiet Marketing die kommerzielle Verwertung der LKA-Technologie einzuleiten. Hierzu soll in Gruppe A ein industrietauglicher Prototyp eines LKA-Messsystems entwickelt und ein Businessplan für eine Existenzgründung am Standort Ilmenau erstellt werden. In Gruppe B soll in Kooperation mit einem weltweit tätigen Anlagenhersteller ein LKA-Prototyp für die Durchflussmessung in einem Tauchrohr gebaut, erprobt und auf seine Verwertbarkeit hin analysiert werden. In Gruppe C soll die Machbarkeit einer in Ilmenau patentierten Idee für ein aktives LKA-Strömungsbeeinflussungssystem beim Floatglasprozess experimentell analysiert werden. Das Projekt VELOMAT knüpft an bestehende Kooperationsbeziehungen der Antragsteller zu kleinen und mittelständischen Thüringer Firmen, zu weltweit agierenden Großunternehmen sowie zu einem beantragten DFG-Graduiertenkolleg an. Neben dem wissenschaftlichen Ziel verfolgen die Antragsteller das Anliegen, junge Frauen zu einer Promotion auf dem Gebiet der Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften sowie zur Existenzgründung im Hochtechnologiesektor zu ermutigen.

**Kennwörter**

Strömungsmesstechnik, Kraftmesstechnik, Metallurgie

## Gliederung

<b>1</b>	<b>Lorentzkraft-Anemometer in der Materialherstellung</b> .....	<b>2</b>
1.1	Vorstellung der Innovation.....	2
1.2	Auswahl der forschungsrelevanten Technologiefelder .....	3
1.2.1	Technologiebereich A: Aluminium.....	3
1.2.2	Technologiebereich B: Stahl .....	4
1.2.3	Technologiebereich C: Floatglas.....	5
<b>2</b>	<b>Ziele des Projektes</b> .....	<b>5</b>
2.1	Gesamtziel.....	5
2.2	Unterziele für die einzelnen Technologiefelder .....	6
<b>3</b>	<b>Stand der Wissenschaft und Technik bei der Durchflussmessung in Hochtemperaturschmelzen</b> .....	<b>7</b>
3.1	Überblick relevanter Messtechnologien.....	7
3.2	Patente .....	8
3.3	Marktteilnehmer .....	9
3.4	Marktpotenziale.....	11
<b>4</b>	<b>Eigene Vorarbeiten</b> .....	<b>12</b>
4.1	Technische Entwicklungen .....	12
4.1.1	Überblick.....	12
4.1.2	Technologiebereich A: Aluminium.....	12
4.1.3	Technologiebereich B: Stahl .....	14
4.1.4	Technologiebereich C: Floatglas.....	15
4.2	Ermittlung der betriebswirtschaftlichen Verwertbarkeit.....	15
4.2.1	Qualitative Marktforschung .....	15
4.2.2	Quantitative Marktforschung .....	17
4.2.3	Nutzwertanalyse .....	19
4.2.4	Anforderungen potenzieller Kunden.....	20
<b>5</b>	<b>Vorgehensweise bei der Entwicklung der Verwertungskonzepte und dem Aufbau eines Innovationslabors</b> .....	<b>22</b>
5.1	Zusammenarbeit zwischen Forschung und Marktteilnehmern .....	22
5.2	Vorgehen bei Entwicklung und Umsetzung von Verwertungskonzepten .....	23
5.2.1	Ausgangspunkt .....	23
5.2.2	Technologiebereich A: Aluminium.....	24
5.2.3	Technologiebereich B: Stahl .....	26
5.2.4	Technologiebereich C: Floatglas.....	27
5.3	Aufbau eines Innovationslabors zum VELOMAT-Projekt.....	28
5.3.1	Darstellung der Kompetenzen für ein effektives Innovationsmanagement .....	28
5.3.2	Strategien zur Stärkung der Innovationskultur und Förderung von Transferprozessen .....	29
<b>6</b>	<b>Zusammensetzung und Aufgaben der Forschergruppen</b> .....	<b>30</b>
<b>7</b>	<b>Beschreibung des Arbeitsplans</b> .....	<b>31</b>
7.1	Methoden und Aufgaben .....	31
7.1.1	Wissenschaftlich-technische Projektaufgaben .....	31
7.1.2	Betriebswirtschaftliche Projektaufgaben.....	32
7.1.3	Gemeinsame Projektaufgaben.....	32
7.2	Arbeitspakete und Zeitplanung .....	32
7.2.1	Technologiebereich Aluminium.....	32
7.2.2	Technologiebereich Stahl .....	35
7.2.3	Technologiebereich Floatglas .....	37
<b>8</b>	<b>Kostenplanung</b> .....	<b>38</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>40</b>

# 1 Lorentzkraft-Anemometer in der Materialherstellung

## 1.1 Vorstellung der Innovation

Systeme zur Durchflussmessung in „kalten Fluiden“ wie Getränken, Gasen und Chemikalien werden in der Lebensmittelindustrie sowie in der chemischen Industrie seit Jahrzehnten erfolgreich eingesetzt und verkörpern eine der wichtigsten kommerziellen Anwendungen der Strömungsmesstechnik. Demgegenüber bildet die zuverlässige und genaue Messung von Fließgeschwindigkeiten in „heißen Fluiden“ wie etwa flüssigem Stahl ein bis heute weitgehend ungelöstes Problem mit herausragender wirtschaftlicher Bedeutung.

In Zeiten der Rohstoffknappheit steigen in der Metallindustrie die Anforderungen an die Präzision bei der Legierungsherstellung stetig. Oft ist die genaue Messung der Durchflussmengen von Legierungskomponenten die größte Schwierigkeit bei der Entwicklung innovativer Produktionstechnologien. Das Problem besteht darin, dass herkömmliche Messgeräte zur Durchflussbestimmung in kalten Fluiden wie Flügelräder (Benzinzapfsäule) oder Sonden (Wassermessuhr) in extrem heißen und aggressiven Substanzen wie flüssigem Stahl oder Aluminium binnen weniger Minuten zerfressen werden. Keine klassischen Durchflussmessverfahren können diese anspruchsvolle Aufgabe lösen.



Abbildung 1: Entwicklerteam des LKA vor Beginn der Projektphase I (von rechts: Prof. André Thess, Prof. Yuri Kolesnikov, Dr. Christian Karcher und Dr. Evgeny Votyakov)

Mit dem Lorentzkraft-Anemometer (LKA) hat das VELOMAT-Projektteam der Technischen Universität Ilmenau ein Verfahren entwickelt, das das oben beschriebene Problem beseitigt. Das LKA ist ein berührungsloses, elektromagnetisches Strömungsmessverfahren zur Durchflussbestimmung in Hochtemperaturschmelzen wie Aluminium, Stahl oder Zinn. Es wurde am Fachgebiet Thermo- und Magnetofluidodynamik entwickelt und patentiert (vgl. Karcher et al. 2007a, Karcher et al. 2007b, Thess et al. 2005, Thess et al. 2006, Thess et al. 2007a). Das LKA basiert auf physikalischen Prinzipien der Magnetofluidodynamik, welche die Kraft- und Heizwirkung elektromagnetischer Felder auf elektrisch leitfähige Flüssigkeiten (wie beispielsweise Metallschmelzen) untersucht. Wirkt ein stationäres Magnetfeld auf eine strömende, elektrisch leitfähige Flüssigkeit, werden in der Schmelze elektrische Wirbelströme induziert. Diese Wirbelströme rufen in Wechselwirkung mit dem Magnetfeld eine bremsende Lorentzkraft in der Schmelze hervor. Das LKA misst diese Lorentzkraft, welche proportional zum Schmelzendurchfluss und zur elektrischen Leitfähigkeit der Schmelze ist (vgl. Kap. 4.1.1). Die Wirksamkeit und Zuverlässigkeit der Messmethode wurden vom VELOMAT-

Projektteam sowohl experimentell unter kontrollierten Laborbedingungen als auch prototypisch durch Feldmessungen in Industrieunternehmen erfolgreich nachgewiesen.

## 1.2 Auswahl der forschungsrelevanten Technologiefelder

Zu Beginn der ersten Projektphase ließen sich die potenziellen Anwendungsbereiche des LKA in vier Technologiefelder einordnen: Aluminium, Stahl, Glas und Halbleiter. Bereits zu diesem Zeitpunkt bestanden Industriekontakte mit Vertretern aus den einschlägigen Marktsegmenten. Diese wurden in Projektphase I genutzt, um diejenigen Anwendungsbereiche des LKA zur Weiterentwicklung auszuwählen, welche den größten betriebswirtschaftlichen und technischen Nutzen versprechen. Nach Durchführung von Literatur- und Patentrecherchen sowie umfassender Marktforschung (vgl. Kap. 5.2) haben sich folgende drei Technologiefelder als die mit dem größten Marktpotenzial herauskristallisiert:

- Technologiebereich A: Aluminium
- Technologiebereich B: Stahl
- Technologiebereich C: Floatglas

Der Bereich Halbleiter wurde vorerst ausgeschlossen. Expertengespräche und Sekundärrecherchen haben gezeigt, dass in der Halbleiterindustrie derzeit kein hinreichend großer Bedarf besteht (vgl. Kap. 4.2.1), der eine Entwicklung mit hoher Priorität rechtfertigen würde. Im Folgenden werden die konkreten Anwendungsbereiche des LKA in den für Projektphase II ausgewählten Technologiefeldern vorgestellt.

### 1.2.1 Technologiebereich A: Aluminium

Aluminium ist aufgrund seiner außerordentlichen physikalischen, chemischen und technischen Eigenschaften das weltweit wichtigste Nichteisenmetall. Das Technologiefeld Aluminium lässt sich in die Teilbereiche Primäraluminium- und Sekundäraluminiumherstellung teilen, wobei der Marktanteil von Sekundäraluminium im Vergleich zu Primäraluminium stetig ansteigt (vgl. Postler o.J.). Aufgrund der hohen elektrischen Leitfähigkeit des Flüssigaluminiums von  $3 \cdot 10^6 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$  und der im Vergleich mit Stahl relativ niedrigen Temperaturen von  $690\text{-}850^\circ\text{C}$  ist dieser Technologiebereich für die Anwendung der Lorentzkraft-Anemometrie hervorragend geeignet.

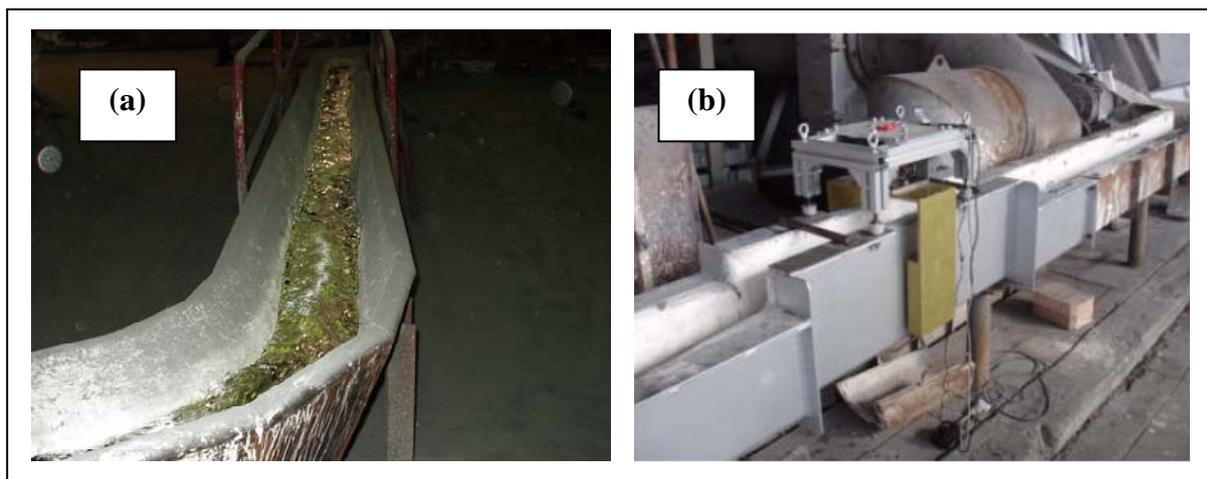


Abbildung 2: (a) Transport von Flüssigaluminium in offener Rinne bei einem Sekundäraluminiumhersteller, (b) Rinne mit einem vom VELOMAT-Projektteam entwickelten LKA-Prototyp, der zur Zeit im Rahmen einer Projektarbeit getestet wird.

Bei der Herstellung von Sekundäraluminium wird die Schmelze in der Regel in offenen Gerinnen transportiert (Abb. 2). Durch die Messung des Aluminiumdurchflusses in diesen Rinne, wie sie mit dem LKA möglich ist, erhält der Aluminiumhersteller die Möglichkeit, seinen Produktionsprozess zu kontrollieren. So können beispielsweise die chemische Zielzusammensetzung der Aluminiumlegierung genauer und schneller erreicht und die Ausbeute

bestimmt werden. Ein erheblicher Vorteil des Technologiebereichs A besteht in der Ähnlichkeit des Schmelzentransports in den Primäraluminium- und Sekundäraluminiumunternehmen. Diese ermöglicht die Entwicklung des LKA mit einem hohen Standardisierungsgrad. Das Messgerät kann kundenindividuell mit wenig Aufwand an alle wichtigen Anwendungsbereiche der Aluminiumindustrie angepasst werden.

### 1.2.2 Technologiebereich B: Stahl

Stahl gilt als wichtigster industrieller Werkstoff und steht an erster Stelle aller metallischen Konstruktionsmaterialien. Seine Prozessparameter und Materialeigenschaften machen Stahl zu einem für die Anwendung des LKA ausgezeichnet geeigneten Werkstoff. Der Flüssigstahl hat eine elektrische Leitfähigkeit von  $0,28 \cdot 10^6 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$  bei einer Temperatur von ca.  $1500^\circ\text{C}$ . Die Anwendung der Lorentzkraft-Anemometrie muss deshalb unter Berücksichtigung geeigneter Kühlungsmaßnahmen für das Magnetsystem erfolgen. Der Einsatz des LKA kommt für zwei Verfahren bei der Stahlherstellung Frage: Elektroschmelzverfahren und Stranggießen.

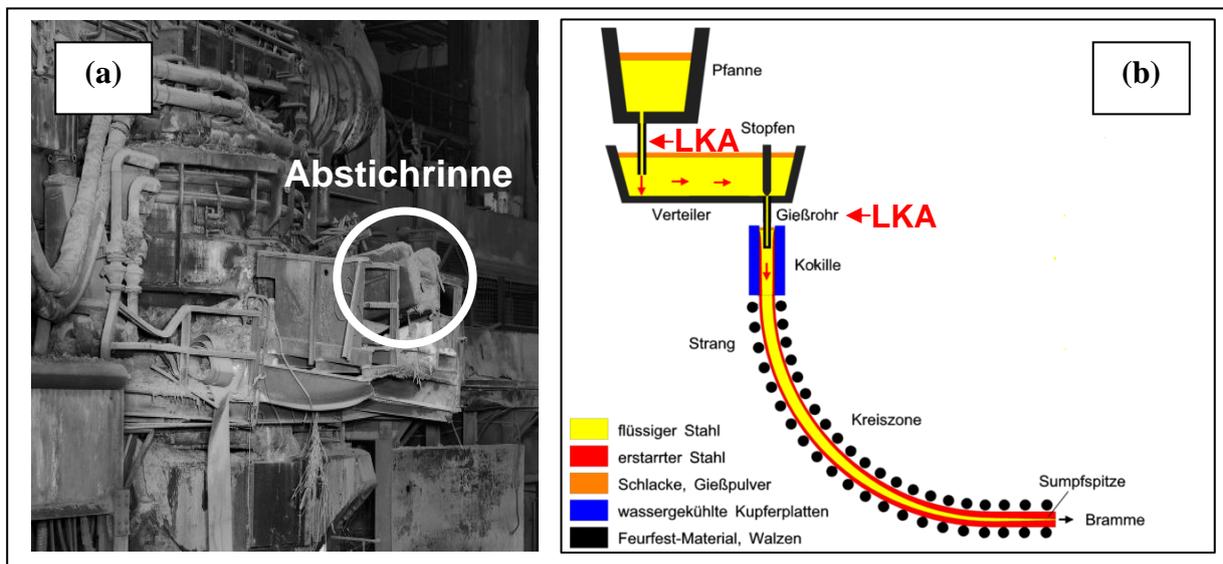


Abbildung 3: (a) Elektroofen eines Stahlwerkes, (b) Prinzip einer Stranggießanlage mit potenziellen Einsatzbereichen des LKA

Beim **Elektroschmelzverfahren** wird Stahl von besonderer Güte und Reinheit (Edelstahl) im Elektroofen geschmolzen, siehe Abb. 3a. Nach Zulegierung der notwendigen Legierungsbestandteile wird der Abstich durchgeführt. Mit der Anwendung des LKA im Bereich der Abstichrinne entstehen neue Möglichkeiten zur Dosierung und Massenstromkontrolle.

Das **Stranggießverfahren** wird in den meisten Stahlwerken angewendet. Das Prinzip des Verfahrens ist in Abb. 3b dargestellt. Der flüssige Stahl strömt in eine Pflanze mit einem Fassungsvermögen von ca. 150 Tonnen, von wo aus er in den Verteiler gelangt. Dieser verteilt den Flüssigstahl bei Mehrstranganlagen auf die einzelnen Stränge und leitet die Schmelze durch ein Gießrohr an die Kokille weiter. Der Prozess des Stranggießens ist ein kontinuierliches Verfahren (Endlosstrang), bei dem die Automatisierung eine wichtige Rolle spielt. Bisher dienen lediglich die Füllhöhe und die Stopfenstellung des Verteilers sowie die Strangdicke als indirekte Kontrollparameter für den Steuerkreis des Dosiersystems. Durch direkte Messung des Massenstromes im Gussrohr mittels eines LKA könnte eine für den Regelkreis wichtige Größe bereitgestellt werden. Damit würde sich die Stabilität des Stranggussprozesses erhöhen, was die Qualität des Endproduktes positiv beeinflusst.

### 1.2.3 Technologiebereich C: Floatglas

In der Glasindustrie sind zwei Anwendungsbereiche des LKA vorgesehen. Das Messverfahren könnte direkt zur Durchfluss- und Strömungsmessung im Flüssigglass dienen. Aufgrund der sehr geringen elektrischen Leitfähigkeit von Glas ( $10 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$ ) ist die Entwicklung des LKA für diesen Bereich so komplex, dass sie nicht Gegenstand des vorliegenden Projekts sein kann.

Für Projektphase II entscheidend ist ein zweiter Anwendungsbereich des LKA in der Glasindustrie: die Herstellung von **Floatglas**. Beim Floatglas handelt es sich um ein Flachglas, das im Floatverfahren hergestellt wird. Dieses Verfahren ist für die Glasindustrie von großer Bedeutung, da damit hochwertige, kostenintensive Gläser wie Einscheiben-Sicherheitsglas (ESG), Teilvorgespanntes Glas (TVG) und Spiegelglas produziert werden können. Beim Floatverfahren läuft das geschmolzene Glas mit einer Temperatur von  $1100^\circ\text{C}$  über eine geneigte Ebene auf ein ca. 60 Meter langes Flüssigzinnbad (Abb. 4). Dort kühlt das Glas ab, erstarrt und wird am Ende des Bades mit einer Temperatur von ca.  $600^\circ\text{C}$  von einer Walze abgehoben. Mit dem LKA könnte die Strömung im Zinnbad berührungslos gemessen und beeinflusst werden. Ziel dieser Beeinflussung ist die Vergleichmäßigung der Temperaturfelder, da die unterschiedlichen Temperaturen im Zinnbad (höchste Temperaturen kurz vor dem Ausgang des Glases) zu Qualitätsverlusten des Endproduktes in Form von optischen Verwerfungen führen. Mit bisherigen Verfahren ist eine solche Beeinflussung bisher nicht bzw. nicht zufriedenstellend möglich (vgl. Kap. 4.2.1).

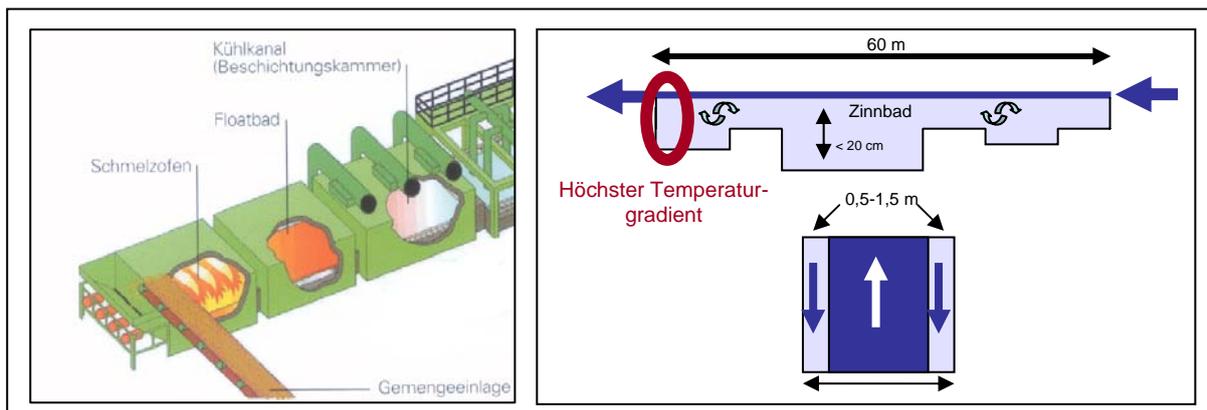


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Flachglasherstellung im Floatverfahren

## 2 Ziele des Projektes

### 2.1 Gesamtziel

Das Gesamtziel des Vorhabens besteht darin, eine auf den Ergebnissen der Arbeit in Projektphase I basierende Verwertungsstrategie zu entwickeln sowie ein Innovationslabor für die Lorentzkraft-Anemometrie aufzubauen. Dieses neuartige Strömungsmessverfahren für Hochtemperaturschmelzen wurde am Fachgebiet Thermo- und Magnetofluidodynamik entwickelt.

Im Rahmen des Projektes VELOMAT soll die am Fachgebiet Marketing der TU Ilmenau vorhandene Erfahrung auf dem Gebiet des Innovationsmanagements und der Marktforschung mit der am Fachgebiet Thermo- und Magnetofluidodynamik technisch-wissenschaftlichen Kompetenz genutzt werden, um eine nutzeranforderungsbezogene, kommerzielle Verwertungsstrategie für das LKA in einem Innovationslabor mit geöffneter Infrastruktur zu entwickeln und umzusetzen. Damit wird die interdisziplinäre Kooperation mit Industriepartnern auf ein neues Niveau gesetzt.

Das Projekt VELOMAT knüpft an bestehende Kooperationsbeziehungen der Antragsteller zu kleinen und mittelständischen Thüringer Unternehmen ebenso wie zu weltweit agierenden

Konzernen an und eröffnet unter anderem die Perspektive einer Existenzgründung im Hochtechnologiebereich im Umfeld der TU Ilmenau. Somit leistet die LKA-Verwertung einen Beitrag zur Stärkung der Innovationskraft der Wirtschaftsregion Thüringen.

Durch die neuen Einsparungsmöglichkeiten, die den potenziellen Nutzern durch den Einsatz des Messgerätes gegeben sind, leistet das Messverfahren einen wichtigen Beitrag zum Thema Umweltschutz in der traditionell geprägten Gießereibranche. So reduzieren sich durch den Einsatz der Messtechnologie die Verweilzeiten im Konverter, was die Energiekosten erheblich senkt (vgl. Karcher et al. 2005, S. 5). Damit arbeiten die Nutzer des LKA nicht nur umweltfreundlicher, sondern auch nachhaltig wirtschaftlicher. Dies ist in Zeiten der Rohstoffknappheit und der damit verbundenen steigenden Energiepreise besonders bedeutend. Die Industrie-Verbraucherpreise für Strom und Erdgas stiegen von 2000 bis 2006 um ca. 70%, der Heizölpreis um 56% (vgl. Bmwi 2008a). Nach einer Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit wird sich der Großhandelspreis für Strom bis zum Jahr 2030 gegenüber dem Stand von 2000 verdoppeln und danach weiter ansteigen. Der Weltenergieverbrauch soll bis 2030 um rund 60% ansteigen (vgl. Bmwi 2008b). Aus diesem Grund sollen umweltpolitische Ziele bei der weiteren Entwicklung des LKA mit hoher Priorität berücksichtigt werden.

## 2.2 Unterziele für die einzelnen Technologiefelder

Das LKA befindet sich für die Technologiebereiche Aluminium, Stahl und Floatglas auf unterschiedlichen Entwicklungsstufen. Abbildung 5 verdeutlicht diesen Aspekt.

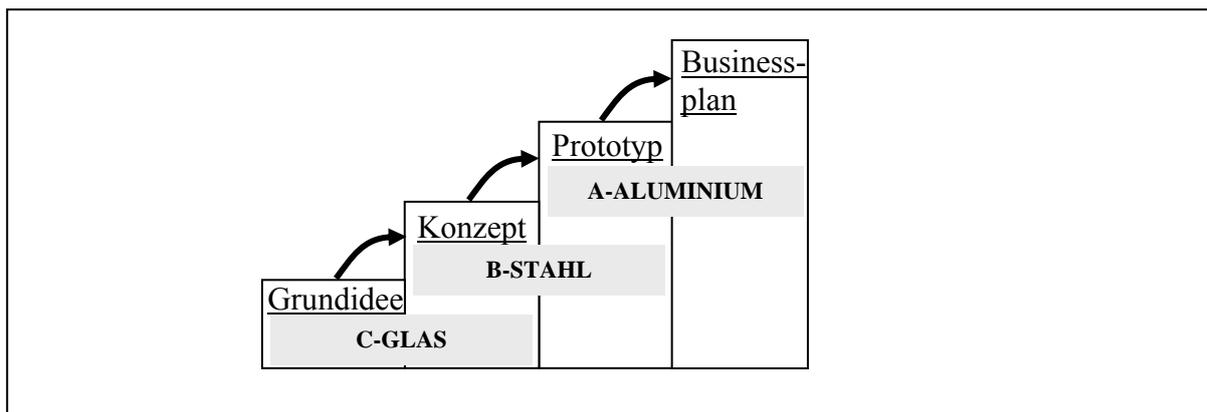


Abbildung 5: Entwicklungsstufen des LKA für die drei Technologiefelder Aluminium, Stahl und Glas zum Zeitpunkt der Einreichung des ForMaT-Konzepts für Phase II.

### Technologiebereich A: Aluminium

Die Entwicklung des LKA ist für den Aluminiumbereich am weitesten fortgeschritten. Es existieren neben der entwickelten Messtechnologie bereits mehrere Prototypen, die in zahlreichen Feldtests mit Industriepartnern (z.B. Aluminiumschmelzwerk Oetinger, Alustockach GmbH) erfolgreich getestet wurden. Weiterhin haben umfangreiche Marktforschungen in Projektphase I das große Marktpotenzial des Messgerätes bestätigt (vgl. Kap. 4.2). Ein bestehendes breites Lead-User-Netzwerk kann zur praktischen Umsetzung einer Vermarktungsstrategie für das LKA genutzt werden.

Aufgrund dieses fortgeschrittenen Entwicklungsstandes ist das **Ziel** für Projektphase II die Entwicklung eines Businessplans zur Einleitung einer Existenzgründung als Ausgründung der TU Ilmenau. Parallel dazu soll der LKA-Prototyp gemäß den vermarktungsrelevanten Anforderungen potenzieller Kunden, die im Rahmen der Marktforschung ergründet wurden, weiterentwickelt werden.

### Technologiebereich B: Stahl

Das LKA für den Technologiebereich Stahl ist in der Entwicklung nicht so weit fortgeschritten wie für den Aluminiumbereich. Es besteht ein fertiges Konzept zur industriellen Durchflussmessung im Stahlbereich. Weiterhin existiert eine durch unseren Partner **SMS Demag** bereitgestellte Feldtestumgebung. Die Ergebnisse der Marktforschung aus Projektphase I dienen der marktanforderungsgerechten Weiterentwicklung des LKA in Phase II (vgl. Kap. 4.2).

**Ziel** der nächsten Projektphase für den Stahlbereich soll sein, einen Prototyp für das Messsystem zu entwickeln und im Rahmen von bestehenden Kooperationen mit Industriepartnern sowie intern im Innovationslabor umfangreich zu testen. Außerdem steht die Gewinnung von Lead Usern sowie weiteren Kooperationspartnern und Sponsoren als wichtige Aufgabe für Projektphase II. Diese Tätigkeiten erfolgen in enger Zusammenarbeit mit Dr. Hopf von der **Saveway GmbH** Langewiesen, einem lokal ansässigen Partner des Fachgebietes Thermo- und Magnetfluidodynamik. Ist die Entwicklung des LKA für den Stahlbereich weit genug fortgeschritten, ist die Vermarktung in Kooperation mit diesem Unternehmen geplant.

### Technologiebereich C: Floatglas

Das LKA ist für den Floatglasbereich technisch am wenigsten entwickelt. Da im Rahmen der Marktforschung sehr großes Potenzial des Messgeräts in der Floatglasindustrie erkannt wurde (vgl. Kap. 4.2), soll dieser Technologiebereich in Projektphase II nicht vernachlässigt werden. Es existiert eine Idee zur berührungslosen Messung und Beeinflussung der Zinnströmung im Floatprozess, die sich aus Beratungen mit Industriepartnern und Besichtigungen mehrerer Glaswerke entwickelt hat. Außerdem sind Ergebnisse von Expertengesprächen im Rahmen der Marktforschung in Projektphase I vorhanden.

Das **Ziel** von Projektphase II besteht zunächst darin, aus der bestehenden Grundidee heraus ein nutzeranforderungsgerechtes Konzept zur LKA-Anwendung im Floatglasbereich zu entwickeln. Dieses umfasst sowohl die Strömungsmessung im Zinnbad als auch die automatisierte Beeinflussung der Zinnströmung mit dem LKA. Parallel dazu haben der Aufbau eines Lead-User-Netzwerks sowie die Gewinnung von Partnern zur Bereitstellung einer Feldtestumgebung hohe Priorität.

## **3 Stand der Wissenschaft und Technik bei der Durchflussmessung in Hochtemperaturschmelzen**

### **3.1 Überblick relevanter Messtechnologien**

Um eine Vermarktungsstrategie für das innovative Produkt LKA entwickeln zu können, ist es wichtig, konkurrierende Technologien und Unternehmen im Zielmarkt zu kennen und mit dem LKA zu vergleichen. Ohne die Berücksichtigung potenzieller **Konkurrenten** ist die Entwicklung einer optimalen Markteintrittsstrategie nicht möglich. Da die Durchflussmessung in Hochtemperaturschmelzen ein bisher nur in Ansätzen gelöstes Problem ist, ist der deutsche Markt für solche Messsysteme relativ übersichtlich. Aus diesem Grund werden auch internationale Lösungsansätze berücksichtigt.

Eine Messung des Durchflusses in Hochtemperaturschmelzen lässt sich nur mit einer begrenzten Anzahl an Technologien erzielen. Ein wesentliches Problem einer solchen Messung besteht darin, dass auf direkten Kontakt mit der flüssigen Schmelze aufgrund der hohen Temperatur und Aggressivität des Mediums verzichtet werden muss. Eine in die Flüssigkeit eingetauchte Elektrode beispielsweise würde schnell erodieren und die Schmelze verunreinigen (vgl. Karcher et al. 2007b, S. 12). Folglich entfallen herkömmliche mechanische Durchflussmessgeräte wie z.B. Flügelräder, Vortex- oder thermische Sensoren. Lediglich **berührungsfreie** Messverfahren kommen für Hochtemperaturschmelzen in Frage. Diese nutzen unter-

schiedliche Messparameter und können demnach in zwei Gruppen eingeteilt werden, die in Tabelle 1 gegenübergestellt sind.

Messgröße	Anforderungen	Nutzbarkeit
Lorentzkraft	Messung der elektrischen Leitfähigkeit der Schmelze ist erforderlich. Kalibrierung auf einem Referenzkanal mit flüssigem Metall notwendig. Dauermagnetsystem muss gegebenenfalls gekühlt werden.	Die Messmethode ist gut für Industrie geeignet, da berührungslos und robust gegen elektromagnetische und mechanische Störungen. Empfindlichkeit ist proportional zum Quadrat des Magnetfelds.
Sekundärmagnetfeld	Wegen sehr niedriger Amplituden des Sekundärmagnetfeldes müssen die Messsensoren hochempfindlich sein.	Durchflussmessung in Laborbedingungen ist realisierbar. Es wurden noch keine industriellen Dauermessungen realisiert, da sehr empfindlich gegenüber elektromagnetischen Störfeldern. Empfindlichkeit ist proportional zum Magnetfeld.

Tabelle 1: Einteilung berührungsfreier elektromagnetischer Durchflussmessverfahren nach der Messgröße

Basierend auf diesen Messtechnologien existieren verschiedene Patente zur elektromagnetischen und vorwiegend berührungslosen Durchflussmessung. Auf dem internationalen Markt sind einige wenige Unternehmen in diesem Bereich tätig.

### 3.2 Patente

Aus den Druckschriften **DE 33 47 190 A1** (INTERATOM GmbH; existiert seit 1994 nicht mehr), **DE 43 16 344 A1** (AMEPA Engineering GmbH), **DE 199 22 311 C2** (Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V.) und **DE 100 26 052 B4** (Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V.) sind berührungslose elektromagnetische Strömungsmessverfahren bekannt, bei denen ein Magnetfeld (das sogenannte Primärfeld) in die Substanz eingekoppelt wird (vgl. Julius/Haubrich 1994; Knaak 1989; Stefani et al. 2000; Thess et al. 1999). Das von Wirbelströmen induzierte Magnetfeld (Sekundärfeld) dient als Maß für die Strömungsgeschwindigkeit. Mit diesen Verfahren können sowohl die mittleren Strömungsgeschwindigkeiten, als auch die räumliche Verteilung der Strömung ermittelt werden.

Die genannten Messverfahren besitzen jedoch drei **Nachteile**. Erstens erlauben sie es wegen ihrer begrenzten Empfindlichkeit nicht, Strömungsgeschwindigkeiten in sehr langsam fließenden Substanzen zu messen. Zweitens wird die Messgenauigkeit der Systeme in einer elektromagnetisch gestörten Umgebung stark eingeschränkt, da die Magnetfeldsensoren aufgrund ihrer geringen räumlichen Ausdehnung bereits durch kleinste parasitäre Fluktuationen des Magnetfeldes beeinträchtigt werden. Drittens lässt sich die Messempfindlichkeit des Verfahrens, die durch das Verhältnis zwischen Sekundärfeld und Primärfeld charakterisiert ist, durch eine Erhöhung des Primärfeldes nicht vergrößern (vgl. Karcher et al. 2007b, S. 12).

Die genannten Nachteile werden durch die in den Druckschriften **JP 57199917 A** (Hitachi Ltd), **US 6538433 B1** (MPC AB; gehört zu Agellis Group AB) und **JP 07181195 A** (Kobe Steel Ltd) beschriebenen Verfahren teilweise überwunden (vgl. Cervantes et al. 2003, Kawbe 1982, Masafumi et al. 1995). Sie sind dadurch gekennzeichnet, dass anstatt einer direkten Messung des Sekundärfeldes eine Messung der vom Sekundärfeld auf das magnetfelderzeugende System ausgeübten Kraft vorgenommen wird. Trotz ihrer Vorzüge gegenüber den erstgenannten Methoden sind die kraftmessenden Systeme jedoch für eine Reihe wichtiger Spezialaufgaben, unter anderem für die Durchflussmessung, nicht oder nur bedingt geeignet. Beim in JP 57199917 A geschilderten Aufbau wird das magnetische Primärfeld von stromdurchflossenen Spulen erzeugt, die die zu vermessende Rohrströmung vollständig umschließen. Ein solches System ist sehr schwer, benötigt eine aufwändige Stromversorgung und kann nur nach kostspieliger Demontage der Messstrecke an einen anderen Einsatzort transportiert werden. Bei den in den Schriften **US 6538433 B1** und **JP 07181195 A** vorgestellten Systemen

handelt es sich um lokale Sensoren, die die Strömungsgeschwindigkeit nur in ihrer unmittelbaren Umgebung messen können. Für die Bestimmung des Massenstroms oder des Volumenstroms - in der Fachsprache häufig als Durchflussmessung bezeichnet - sind diese lokalen Sensoren nicht geeignet, weil das von ihnen erzeugte Magnetfeld nur einen Teil des von der leitfähigen Substanz durchströmten Querschnitts durchdringt. Zudem sinkt die Messempfindlichkeit der lokalen Sensoren mit der dritten (bei größeren Entfernungen sogar mit der vierten) Potenz des Abstandes zur leitfähigen Substanz und ist deshalb für zahlreiche Anwendungsfälle nicht ausreichend, beispielsweise bei sich verändernden Füllhöhen in den Kanälen.

### 3.3 Marktteilnehmer

Auf dem Markt für elektromagnetische Durchflussmessverfahren agieren sechs Anbieter, die eine direkte Konkurrenz zum LKA darstellen könnten:

#### 1. AMEPA Angewandte Messtechnik und Prozessautomatisierung GmbH, Aachen

Die AMEPA GmbH wurde 1984 als Ausgründung der TU Aachen von drei Mitarbeitern des Instituts für Eisenhüttenkunde gegründet. Das Unternehmen verkauft elektromagnetische Schlackedetektionssysteme für die Stahlindustrie und ist heute mit ca. 50 Mitarbeitern weltweit tätig. Neben der Schlackedetektion, die das primäre Geschäftsfeld von AMEPA darstellt, entwickelte die Firma auf Basis der Patentschrift **DE 43 16 344 A1** die **MFC Technologie**, die eine berührungslose Strömungsmessung beim Stranggießen auf der Grundlage der Messung von Magnetfeldkorrelationen ermöglicht. Trotz mehrfacher erfolgreicher Feldtests (Julius/Haubrich 1994) hat dieses Verfahren bis heute keine kommerzielle Anwendung gefunden. Es ist allerdings nicht auszuschließen, dass AMEPA an einer Vermarktungsstrategie arbeitet. AMEPA muss deshalb als **Hauptkonkurrent** für das LKA auf dem Stahlmarkt angesehen werden. Trotz der Vorteile des LKA im Vergleich zum MFC-Verfahren hinsichtlich Robustheit und Preis muss AMEPA als etabliertes Konkurrenzunternehmen beim Markteintritt berücksichtigt werden.

#### 2. Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V., Dresden

Das Forschungszentrum Dresden-Rossendorf wurde 1992 gegründet. Es besteht aus sechs Instituten, in denen ca. 700 Mitarbeiter tätig sind. In der Abteilung Magnetohydrodynamik wurde das in den Patentschriften DE 199 22 311 C2 und DE 100 26 052 B4 beschriebene Verfahren zur **berührungslosen** Bestimmung von räumlichen Geschwindigkeitsverteilungen in elektrisch leitfähigen Flüssigkeiten entwickelt (vgl. Stefani et al. 2000; Thess et al. 1999). Dabei wird außerhalb der strömenden Flüssigkeit ein magnetisches Wechselfeld angelegt, welches durch die Schmelze beeinflusst wird. Dadurch kommt es zu einer Phasenverschiebung an zwei unterschiedlichen Messorten. Mit dieser kann direkt die Durchflussgeschwindigkeit bestimmt werden. Bisher ist dieses Messverfahren nur für Laborbedingungen geeignet, da es für industrielle Umgebungen zu **störanfällig** ist. Die mehrfach angeordneten Messsensoren würden in einer realen Umgebung zu schnell gestört, was eine präzise Messung erschwert. Zum jetzigen Stand stellt das Verfahren deshalb keine Konkurrenz zum LKA da. Weitere Entwicklungen des Messverfahrens durch die Dresdner Forscher müssen jedoch berücksichtigt werden.

#### 3. Hitachi Ltd., Düsseldorf

Die Firma Hitachi wurde 1910 als Elektroreparaturgeschäft gegründet. Heute ist Hitachi ein weltweit agierendes Elektronikunternehmen mit knapp 400.000 Mitarbeitern und einem Jahresumsatz von ca. 1,5 Mrd. Euro. In der Forschungsabteilung der Hitachi Ltd. wurde ein **Durchflussmesssystem** entwickelt (vgl. Kawabe 1982), bei dem anstelle einer direkten Messung des Sekundärfeldes eine Messung der vom Sekundärfeld auf das magnetfelderzeugende System ausgeübten Kraft vorgenommen wird. Ein Messgerät auf Basis dieser Technologie existiert auf dem Markt nicht. Die Messtechnologie der Hitachi Ltd. konkurriert nicht mit dem LKA. Für industrielle Anwendungen ist die spezielle Anordnung des Magnetfelds nicht

geeignet. Außerdem ist das **ringförmig** aufgebaute System aufgrund der Kanalform und der Lage der Temperaturfelder nicht an offenen Rinnensystemen anwendbar.

#### 4. Creative Engineers Inc., York, USA

Die Creative Engineers Inc. ist ein kleines Unternehmen mit ca. 6 Mitarbeitern, das auf dem amerikanischen Markt tätig ist. Das Produkt **Magnetic Flowmeter** ist eine Lösung zur Durchflussmessung in Hochtemperaturschmelzen bis 816°C und kommt in Rohren zum Einsatz. Das Messverfahren arbeitet nach dem Faradayschen Induktionsgesetz (vgl. Creativeengineers o.J., S. 3). Durch Elektromagnete wird ein stationäres Magnetfeld induziert. In der sich bewegendem elektrisch leitfähigen Flüssigkeit entstehen durch Potenzialdifferenzen elektrische Wirbelströme. Die Potenzialdifferenzen werden durch Elektroden, die sich in der Wand des Rohres befinden, direkt gemessen. Dadurch kommen die Elektroden mit der Schmelze in Kontakt. Damit wird der Nachteil dieses Messgerätes im Vergleich zum LKA deutlich. Da **keine berührungsfreie Messung** möglich ist, verschleifen die Elektroden in der hochaggressiven Schmelze sehr schnell. Außerdem ist die Anwendung des Magnetic Flowmeters nur in geschlossenen Rohren möglich. Die Messung des Aluminiumdurchflusses in offenen Rinnensystemen entfällt aus dem Anwendungsbereich. Damit ist das Messgerät keine direkte Konkurrenz zum LKA. Eine Erweiterung des Vertriebsareals der Creative Engineers Inc. auf den europäischen Markt ist außerdem nicht zu erwarten.

#### 5. AGELLIS Group AB + MPC AB, Lund, Schweden

Seit 2006 gehört das Unternehmen Metal Process Control MPC AB zur AGELLIS Group AB. Mit nur 23 Mitarbeitern ist das Unternehmen weltweit im Bereich Stranggießprozesskontrolle aktiv. Auch die MPC AB ist Inhaber eines Patents für ein Lorentzkraft- Durchflussmesssystem (vgl. Cervantes et al. 2003). Dabei misst ein mit einem Permanentmagneten verbundener Kraftsensor die Lorentzkraft an der Oberfläche der Flüssigkeit. So kann an dieser Stelle die Geschwindigkeit der Schmelze bestimmt werden. Im Vergleich zum LKA ist das Messsystem der MPC AB weniger effektiv. Da nur lokal an der **Oberfläche** der flüssigen Substanz gemessen wird, liegt keine Information über die Geschwindigkeitsverteilung im Schmelzeninneren vor. Eine exakte Bestimmung des Durchflusses der gesamten Schmelze ist somit nicht möglich. Außerdem führen auf der Oberfläche schwimmende Oxide zu Messfehlern. Da das Unternehmen nur auf dem Stahlmarkt tätig ist, bildet das Messverfahren in den Technologiefeldern Aluminium und Floatglas keine Konkurrenz zum LKA.

#### 6. Kobe Steel Ltd., Hyogo, Japan

Die Kobe Steel Ltd. ist mit ca. 9000 Mitarbeitern und einem Jahresumsatz von 9,5 Mrd. Euro einer der größten japanischen Stahlhersteller sowie Produzent von Kupfer und Aluminium. Das Unternehmen hat ein Durchflussmesssystem entwickelt (vgl. Masafumi et al. 1995), das sich von dem der schwedischen MPC AB kaum unterscheidet. Die oben beschriebenen Nachteile des Messverfahrens gelten deshalb auch hier. Die Kobe Steel Ltd. setzt ihr Messsystem bisher nur intern ein. Im Auftrag können Einzellösungen für andere Unternehmen entwickelt werden. Aufgrund des geringen potenziellen Umsatzanteils im Vergleich zum Hauptgeschäftsfeld ist eine ausgedehnte Vermarktung der Messtechnologie nicht zu erwarten.

Bei allen beschriebenen Messverfahren konnten teilweise erhebliche Nachteile im Vergleich zum LKA festgestellt werden. Dennoch dürfen diese konkurrierenden Technologien nicht unterschätzt werden. Informationsasymmetrien zwischen Anbieter und Nachfrager führen dazu, dass ein weniger informierter potenzieller Kunde des LKA die Vorteile des Messverfahrens eventuell nicht erkennt. Aufgrund eingeschränkten Fachwissens fehlt ihm unter Umständen die für eine richtige Entscheidung notwendige Informationsbasis. Aus diesem Grund müssen die Vorteile des LKA durch verschiedene Signaling-Strategien ausreichend kommuniziert werden. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit einer gut durchdachten und ausgereiften Kommunikationspolitik (vgl. Kap. 5.2).

### 3.4 Marktpotenziale

Um das tatsächliche wirtschaftliche Potenzial des LKA ermitteln zu können, ist eine genauere Analyse der relevanten Zielmärkte (Aluminium-, Stahl- und Flachglasproduktion) notwendig.

Auf dem deutschen Markt für **Aluminiumproduktion** wurden 2007 Produkte im Wert von rund 17 Mrd. Euro umgesetzt. Dies entspricht einem Umsatzwachstum in den letzten fünf Jahren von fast 34%. Der Produktionsumfang von Rohaluminium lag 2007 bei 1.386.600 Tonnen, wobei Sekundäraluminium mit 835.600 Tonnen einen Anteil von rund 60% ausmacht. Die Produktion dieses Recyclingaluminiums stieg von 2003 bis 2007 stetig um ca. 23%. Der Wachstumstrend der Aluminiumbranche ist auch bei der Produktion von Aluminiumformguss zu erkennen. Von 2003 bis 2008 stieg die Produktion dieser Gießereierzeugnisse von 677.100 Tonnen auf 813.200 Tonnen stetig an, was einem Wachstum um ca. 20% innerhalb von 4 Jahren entspricht. Zu dieser Produktionssteigerung der Aluminiumgusserzeugnisse hat vor allem die hohe Produktion der deutschen Automobilindustrie beigetragen. Für das laufende Jahr 2008 der Branchenverband GDA (Gesamtverband der Aluminiumindustrie e.V.) eine positive Entwicklung der Aluminiumindustrie und erwartet eine leichte Steigerung von Beschäftigung, Produktion und Umsatz. Auf dem Aluminiummarkt sind neben kleinen und mittelständischen Unternehmen auch weltweit agierende Konzerne tätig (vgl. Postler o.J.; Wener o.J.). Für eine Vermarktung des LKA sind diese positiven Markttendenzen sehr vorteilhaft. Umsatz- und Produktionssteigerungen führen dazu, dass die Aluminiumhersteller eher gewillt sind, neue Technologien zu implementieren um die Produktionskosten zu senken und gleichzeitig die Outputmenge zu erhöhen. Damit bleiben sie wettbewerbsfähig und profitieren vom steigenden Absatz auf dem Aluminiummarkt.

Die deutsche **Stahlproduktion** befand sich im Jahre 2006 in einer Phase des Booms und erreichte mit 47,2 Mio. Tonnen den höchsten Wert seit der Wiedervereinigung. Dieser Wert stieg 2007 leicht an. Deutschland ist der sechstgrößte Stahlproduzent der Welt und steht in Europa an erster Stelle. Mittlerweile befindet sich die Produktion von Stahl jedoch an ihrer Kapazitätsgrenze, weshalb die Produktionsmengen aus Sicht der Wirtschaftsexperten in den nächsten Jahren nicht erheblich steigen werden. Dennoch bleiben die Bedingungen für Stahlproduzenten nach Ansicht des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung Essen (RWI) aufgrund einer bleibend hohen Stahlnachfrage weiterhin günstig. Stahl wird in Deutschland von ca. 265 überwiegend mittelständischen Unternehmen mit über 46.000 Beschäftigten produziert. Die Schwerpunkte der Gussproduktion liegen dabei in Nordrhein-Westfalen (25%), Hessen (18%) und Baden-Württemberg (17%) (vgl. o.V. o.J.; Preuschoff 2007). Da die Stahlproduktion sich an der Kapazitätsgrenze befindet, erscheint eine Markteinführung des LKA vielversprechend. Durch die neue Technologie können die Materialausbeute erhöht und gleichzeitig die Energiekosten gesenkt werden. Dies führt zu einem höheren Output bei gleichbleibendem Materialeinsatz. Weiterhin kann durch eine bessere Prozesssteuerung die Produktqualität erhöht werden, was die Ausschussmenge senkt.

Der deutsche Markt für die **Flachglasproduktion** zeigt ebenfalls positive Tendenzen. 2007 stieg der Umsatz mit rund 1,3 Mrd. Euro um 12,6% im Vergleich zum Vorjahr. Mit der Produktion von Flachglas beschäftigen sich in Deutschland lediglich 18 Betriebe mit knapp 4000 Beschäftigten. Die Nachfrage nach Flachglas befand sich 2007 auf einem sehr hohen Niveau, was die Preise stark ansteigen lässt. Dies führte 2007 zu Rekordgewinnen Produzenten. Den stärksten Anteil macht dabei Flachglas aus, das für die Solarindustrie hergestellt wird. Vor allem für diesen Bereich werden hohe Wachstumsraten erwartet. Aus diesem Grund werden weltweit enorme Flachglaskapazitäten aufgebaut, die mittelfristig in Betrieb gehen werden und unter Umständen eine Überproduktion nach sich ziehen könnten (vgl. o.V. 2008, S. 2). Die Einführung des LKA ist für die Flachglasindustrie vor allem aus Prozessgesichtspunkten sinnvoll. Durch die mit dem Messgerät möglichen deutlichen Qualitätsverbesserungen des Endproduktes steigt die Konkurrenzfähigkeit des Unternehmens im Vergleich zu den Wett-

bewerbern, die mit mehr Ausschuss und damit höheren Herstellkosten produzieren. So entstehen für das Unternehmen auch auf international wachsenden Märkten Wettbewerbsvorteile.

## 4 Eigene Vorarbeiten

### 4.1 Technische Entwicklungen

#### 4.1.1 Überblick

Im Jahre 2004 entstand am Fachgebiet Thermo- und Magnetofluidynamik die Idee für das LKA-Verfahren. Das Verfahren ist ein Nebenprodukt der Forschergruppe „Magnetofluidynamik“ (FOR 421, Sprecher Prof. Thess), die von der Deutschen Forschungsgemeinschaft an der TU Ilmenau von 2001 bis 2007 finanziert wurde. Das Grundprinzip des Verfahrens, das auf Shercliff (1962) zurückgeht, ist in Abbildung 6 dargestellt. Strömt eine elektrisch leitfähige Flüssigkeit wie beispielsweise eine Metallschmelze durch ein von außen angelegtes stationäres Magnetfeld, so werden in der Schmelze elektrische Wirbelströme induziert. Dadurch entsteht in der Schmelze eine bremsende Lorentzkraft, die proportional zur mittleren Strömungsgeschwindigkeit und damit zur Durchflussmenge ist. Auf Grund der Gleichheit von Kraft und Gegenkraft ruft die bremsende Lorentzkraft eine gleich große beschleunigende Kraft auf das felderzeugende Magnetsystem (in Abbildung 6 ein Permanentmagnet) hervor. Die Messung der auf das Magnetsystem wirkenden Kraft erlaubt eine präzise Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit und der Durchflussrate der Flüssigkeit. Dieses Verfahren wurde vom Fachgebiet Thermo- und Magnetofluidynamik auf den Namen „Lorentzkraft-Anemometrie“ getauft und zu zwei Patenten (Thess et al. 2005, Karcher et al. 2007a) angemeldet. Durch das LKA besteht für den Menschen keine Gefahr. Zum einen handelt es sich um ein statisches Magnetfeld, das im Gegensatz zum Magnetfeld, das beispielsweise von einem Mobiltelefon erzeugt wird, nicht oszilliert. Zum anderen klingt das Magnetfeld beim LKA außerhalb des Messbereichs stark ab.

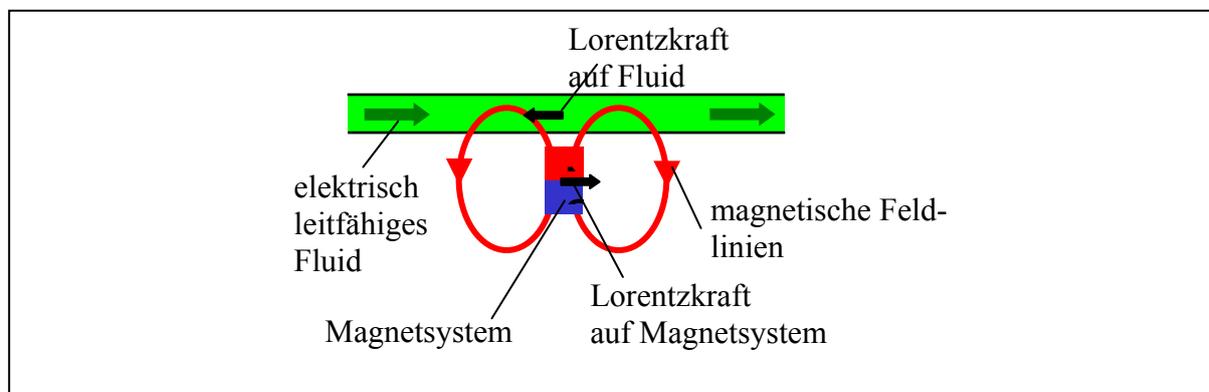


Abbildung 6: Prinzipskizze der Lorentzkraft-Anemometrie

Eine ausführliche Darstellung der methodischen Grundlagen der LKA ist den wissenschaftlichen Veröffentlichungen von Thess et al. (2006), Thess et al. (2007a) zu entnehmen. Am 11. Juli 2005 wurde der Prototyp eines LKA erstmals erfolgreich in einem Unternehmen der Sekundäraluminiumindustrie getestet. Seither erfolgt eine aus eigenen Mitteln finanzierte Weiterentwicklung der Technologie. Im Februar 2007 wurden die Entwickler der Lorentzkraft-Anemometrie mit dem Thüringer Forschungspreis (Thess et al. 2007b) ausgezeichnet.

#### 4.1.2 Technologiebereich A: Aluminium

##### a) Bau und Erprobung von LKA-Prototypen an offenen Kanälen in der Aluminiumindustrie

Um den Durchfluss von flüssigem Aluminium in offenen Kanälen zu messen, wurde am Fachgebiet Thermo- und Magnetofluidynamik ein spezieller Typ des LKA für die Aluminiumindustrie entwickelt (Abb. 7).

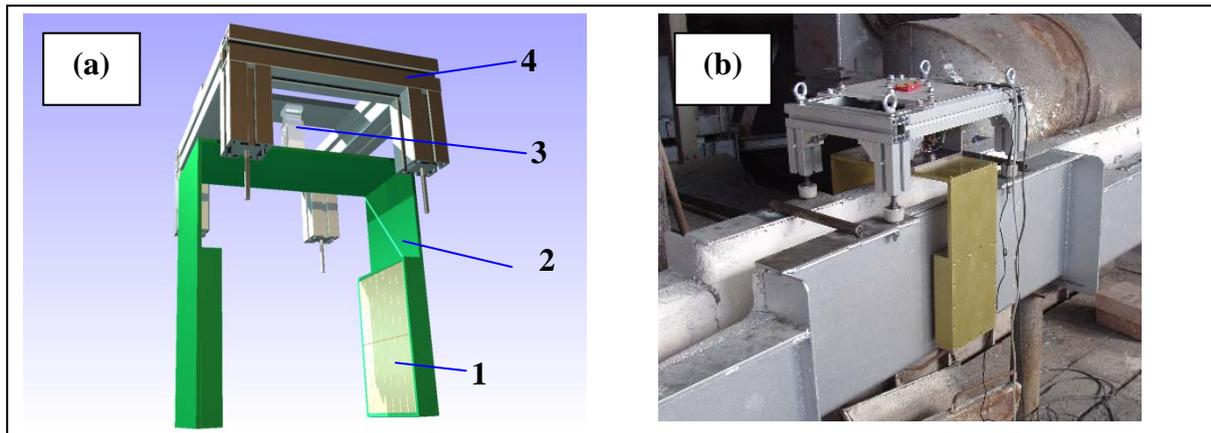


Abbildung 7: LKA für die Aluminiumindustrie (a) schematische Darstellung und (b) Prototyp im industriellen Test

Der mechanische Teil des Messgeräts besteht aus dem mit dem Joch (Pos. 2) verbundenen magnetischen System (Pos. 1), das durch Dehnmessstreifen am Balkenmessfühler (Pos. 3) auf dem Rahmen (Pos. 4) befestigt wird. Das digitale Signal des Messfühlers wird im Datenverarbeitungssystem weitergeleitet. Die Datenerfassung und Messwertberechnung erfolgen auf Basis des Softwarepakets LabView. Der Prototyp des Messgeräts wurde mehrmals erfolgreich unter extremen Einsatzbedingungen in Zusammenarbeit mit den industriellen Projektpartnern **Aluminiumschmelzwerk Oetinger GmbH** und **Alustockach GmbH** getestet (Abb. 7b). In industriellen Tests des Prototypen auf Aluminiumschmelzenströmungen im offenen Kanal bei einer Temperatur von 750-850 °C mit Reynoldszahlen der Ordnung  $10^5$  wurde ein Messfehler von +/- 3% für den Volumendurchfluss erreicht.

#### b) Bau einer Anlage zur „trockenen“ Kalibrierung des Lorentzkraft-Anemometers

Vor Anwendung eines jeden Messgerätes ist eine fachgerechte **Kalibrierung** notwendig. Bei der von den Antragstellern entwickelten trockenen Kalibrierung wird die strömende Flüssigkeit durch einen kontrolliert bewegten Festkörper ersetzt, damit die Kalibrierung nicht durch turbulente Fluktuationen beeinflusst wird. Abbildung 8a veranschaulicht das Prinzip der Anlage.

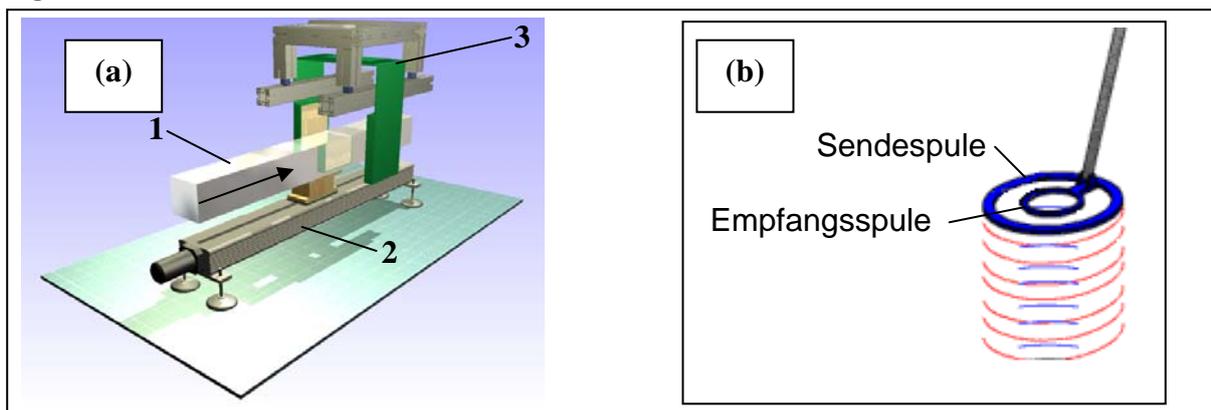


Abbildung 8: (a) Anlage für trockene Kalibrierung des LKA und (b) Leitfähigkeitssensor mit getrennter Sende- und Empfangsspule

Ein Referenzfestkörper (Pos. 1) wird mittels eines Linearschrittmotors (Pos. 2) in eine translatorische Bewegung versetzt. Der Festkörper wird im magnetischen System des LKA (Pos. 3) so positioniert, dass der Querschnitt dem der Flüssigkeitsströmung entspricht. Dazu sind verschiedene Körperquerschnitte von 25×100 mm bis 100×100 mm vorhanden. Der Festkörper wird in Strömungsrichtung durch das magnetische System gezogen. Die Schrittmotoren ermöglichen eine stufenlose Geschwindigkeitseinstellung im Bereich von 0,001 bis 0.6 m/s. Mit der Anlage kann das LKA so kalibriert werden, dass es mit einem Fehler von +/-3% misst.

### c) Erprobung eines Leitfähigkeitssensors

Die Kenntnis der elektrischen Leitfähigkeit des zu messenden Mediums ist unabdingbar, um aus der von einem LKA gemessenen Lorentzkraft den Volumenstrom berechnen zu können. Aus diesem Grund hat die Entwicklung eines Messsystems für **in-situ Messungen** der elektrischen Leitfähigkeit im vorliegenden Projekt eine hohe Priorität. Eine geeignete Anordnung zur Messung der elektrischen Leitfähigkeit ist ein phasenempfindlicher Sensor mit getrennten Sende- und Empfangsspulen, dessen Aufbau in Abb. 8b schematisch gezeigt ist. Am Fachgebiet Thermo- und Magnetofluidodynamik wurde im Rahmen der Vorarbeiten zum vorliegenden Projekt ein kommerzieller Sensor mit omegaförmiger Spulenanordnung, einer Sendefrequenz von 13.500 Hz und einer Sendeleistung von 60 mW an einem Flüssigmetallkreislauf getestet. Dieser Sensor soll in Phase II in ein LKA-System integriert werden.

### d) Konzipierung einer LKA-Kalibrieranlage mit Flüssigzinn

Um die vorhandenen LKA-Prototypen für Aluminium zu verkaufsfähigen Produkten weiterzuentwickeln, ist eine Kalibrierung mit realen turbulenten Geschwindigkeitsprofilen unabdingbar. Zu diesem Zweck ist in Phase II des ForMaT-Projekts der Bau einer Kalibrieranlage geplant. Der geplante Aufbau dieser Anlage ist in Abbildung 9 dargestellt. Die Anlage soll mit Flüssigzinn arbeiten. Die Zinnströmung wird durch gesteuerte elektromagnetische Pumpen angetrieben. Außerdem wird der Strömungsausgleich zwischen der LKA-Messstrecke und dem Referenzdurchflussmessgerät durch einen Strömungsausgleichspeicher versorgt, in dem die Flüssigkeit auf einer konstanten Füllhöhe gehalten wird. Die Temperatur des flüssigen Zinns liegt im Bereich von 300 bis 450 °C. Dieser Temperaturbereich ist im Laborbetrieb besser handhabbar als der von realem Aluminium. Mit der beschriebenen Anlage soll die LKA-Kalibrierung bei Reynoldszahlen bis zu  $10^5$  ermöglicht werden. Durch Kalibrierung und Messunsicherheitsanalyse soll der Messfehler des LKA auf  $\pm 0,5\%$  gesenkt werden.

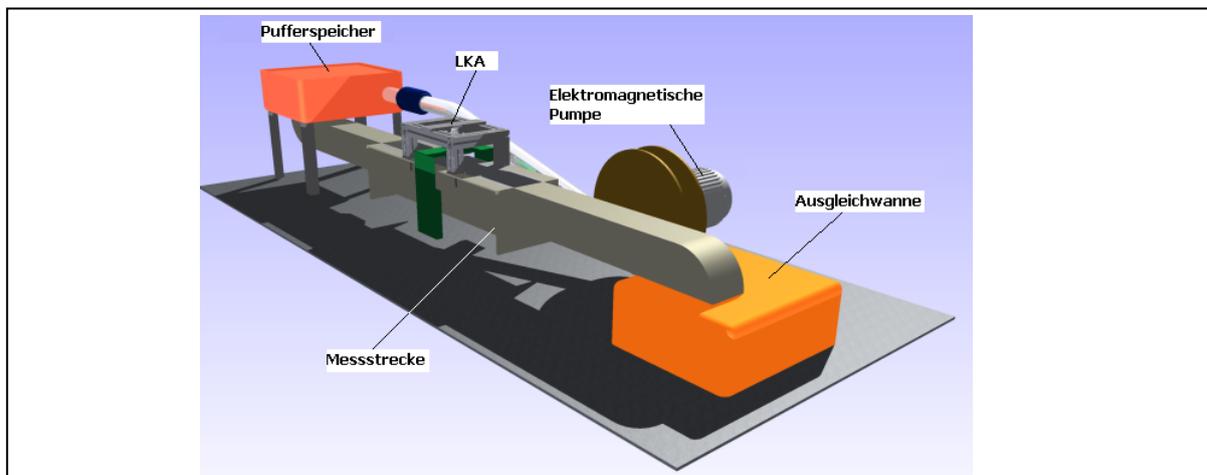


Abbildung 9: Schematische Darstellung der in Phase II des ForMaT-Projekts zu errichtenden Kalibrieranlage für die LKA-Systeme. Thermoisolation und Schmelzöfen sind nicht abgebildet.

## 4.1.3 Technologiebereich B: Stahl

### Entwicklung eines LKA-Konzepts zur berührungslosen Durchflussmessung in Tauchrohren

Die technischen Entwicklungen des LKA für den Stahlbereich sind bisher im Vergleich zu Aluminium weniger weit fortgeschritten, sollen aber in Projektphase II auf den gleichen Stand gebracht werden. Hierfür existiert bereits ein Konzept zur effektiven Lösung des Problems der Durchflussmessung in Tauchrohren im Stranggussprozess. Dieses wurde in Kooperation mit der Firma **SMS Demag** entwickelt und ist in Abbildung 10 schematisch dargestellt.

Durch ein spezielles Magnetsystem (Pos. 1) - ein sogenannter „Halbachzylinder“ - wird am Messort eine maximale Magnetfeldstärke erzeugt. Damit werden auch Messungen für geringere Durchflussmengen ermöglicht. Ein hochempfindlicher Dehnmessfühler (Pos. 3) wird mit

dem Joch des Magnetsystems (Pos. 2) verbunden. Das System wird so ausgelegt, dass in der Öffnung eine magnetische Induktion von 0.2 T erzeugt wird. Für eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit des Flüssigstahls von 0.12 m/s entsteht so eine Lorentzkraft von 0.1 N, mit der die Messaufgaben erfüllt werden können. Die Integration der Anlage in den Steuerkreis des Stranggussprozesses dient als wichtige Ergänzung der Qualitätskontrolle. Geplant ist weiterhin die Integration eines verkleinerbaren Messfühlers zur Erfassung der elektrischen Leitfähigkeit des Flüssigmetalls. Das Konzept für den Technologiebereich B ist durch das Patent (Thess et al. 2005) geschützt und ist somit Eigentum der TU Ilmenau.

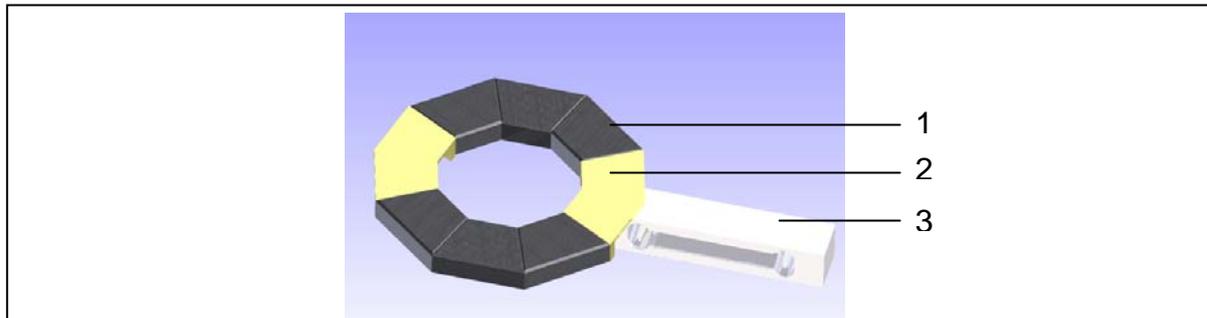


Abbildung 10: Konzept eines LKA-Systems zur Durchflussmessung im Tauchrohr beim Strangguss von Stahl

#### 4.1.4 Technologiebereich C: Floatglas

##### Konzept und Patent für aktive Strömungsbeeinflussung im Zinnbad beim Floatverfahren

Für die elektromagnetische Strömungsmessung und -beeinflussung im Flachglasbereich existieren bisher keine technischen Entwicklungen. Im Rahmen von qualitativen Expertengesprächen wurde großes Interesse eines Verfahrens zur berührungslosen Strömungsbeeinflussung im Zinnbad beim Floatprozess festgestellt (vgl. Kap. 4.2.1). Aus diesen Gesprächen sowie einem von den Antragstellern eingereichten Patent (Karcher et al. 2007a) entstand eine Idee, aus der heraus in Projektphase II ein detailliertes Konzept entwickelt werden soll. Beim Floatverfahren wird die Qualität des Endproduktes stark durch die Verteilung der Temperaturfelder im Zinnbad sowie die Schlackekonzentration auf der Oberfläche des Bades beeinflusst. Die Idee besteht darin, eine aus dem LKA und einer elektromagnetischen Pumpe bestehende aktive Einrichtung zu entwickeln um eine Temperaturfeldhomogenisierung sowie die Schlackenentfernung durch gezielt erzwungene innere Strömungen in Flüssigzinn zu ermöglichen.

## 4.2 Ermittlung der betriebswirtschaftlichen Verwertbarkeit

### 4.2.1 Qualitative Marktforschung

Das LKA ist eine Innovation auf dem Gebiet der Strömungsmessung. Sie ist bislang nur wenigen potenziellen Kunden bekannt, da die Markteinführung noch aussteht. Die Untersuchung solch unbekannter Untersuchungsgegenstände erfolgt zunächst explorativ im Rahmen der **qualitativen Forschung**. Dazu wurden in Phase I des vorliegenden Projekts teilstandardisierte Experteninterviews mit Fachvertretern aus den Technologiefeldern Aluminium, Stahl, Eisen und Halbleiter durchgeführt. Die Befragung erfolgte aufgrund des im Vergleich zu Face-to-Face-Interviews geringeren Zeit-, Kosten- und Erhebungsaufwands telefonisch. Die Gespräche wurden aufgezeichnet, transkribiert und anschließend inhaltsanalytisch ausgewertet. Um die Vergleichbarkeit der Interviews zu sichern und die Durchführung zu erleichtern, wurde ein **Leitfaden** entwickelt. Dieser enthält das grobe Vorgehen des Interviews sowie für den Untersuchungsgegenstand wichtige Themenbereiche. Der Leitfaden ist kein starrer Fragebogen. Um den Gesprächscharakter des Interviews zu fördern, wurden die Fragen je nach Gesprächsverlauf variiert. Dabei wurden wichtige Erkenntnisse gewonnen, deren Beachtung das Erfolgspotenzial der LKA-Vermarktung erhöht.

### Technologiebereiche A und B: Aluminium und Stahl

Da die Ergebnisse der Befragungen sich bei den Technologiefeldern Aluminium und Stahl nur geringfügig unterscheiden, werden sie zusammengefasst. Es wurden jeweils vier Vertreter aus Stahl- und Aluminiumgießereien zu ihrer Einschätzung zum LKA befragt. Von diesen acht Personen war dreien das LKA bereits aus Kooperationen bekannt, den anderen wurde das Verfahren während der Interviews vorgestellt. Im Ergebnis äußerten sechs Befragte **Bedarf** an dem LKA in ihrem Unternehmen, obwohl bis zu diesem Zeitpunkt in keinem der Unternehmen der Durchfluss des Flüssigmetalls gemessen wurde. Nur zwei Befragte hielten den Einsatz des Verfahrens für nicht sinnvoll. Die Ursache dafür lag allerdings im Produktionsverfahren. Für sehr geringe Stückzahlen im Feingussverfahren ist das LKA nicht geeignet. Ein weiteres Ergebnis der qualitativen Interviews sind Anforderungen der Befragten, die das LKA vor einer Einführung in ihren Unternehmen erfüllen muss (vgl. Kap. 4.2.4). Das große Potenzial des LKA in der Aluminiumindustrie hat sich auch dadurch bestätigt, dass sich nach einem der Interviews eine weitere Kooperation ergeben hat. Die Alustockach GmbH arbeitet seitdem mit dem Fachgebiet Thermo- und Magnetofluidodynamik zusammen an der weiteren Entwicklung des LKA und testet derzeit den praktischen Einsatz des Prototypen.

Eine zentrale Erkenntnis für die Entwicklung einer Vermarktungsstrategie besteht darin, dass trotz der erkannten Vorteile des LKA das Messverfahren aufgrund allgemeiner **Innovationswiderstände** nicht unbedingt auch eingesetzt wird: Nicht nur private, sondern auch industrielle Nachfrager haben oft Vorbehalte gegen Neuheiten, weil sie eingespielte Produktionsabläufe „stören“ könnten sowie Umdenken und persönlichen Aufwand erfordern. Auch um diesen Widerstand überwinden zu können, wurden im Rahmen der qualitativen Marktforschung und einer einschlägigen Diplomarbeit von Dipl.-Kffr. Mandy Gutzzeit, die sie vor Projektbeginn beendete, Determinanten des Innovationswiderstandes wissenschaftlich untersucht. Diese produktspezifischen, wirtschaftlichen, unternehmens- und umweltspezifischen Einflussfaktoren auf potenziellen Widerstand werden in Projektphase II bei der Konzipierung und Umsetzung einer Vermarktungsstrategie (vgl. Kap. 5.2) sowie bei der weiteren Entwicklung des LKA berücksichtigt.

### Technologiebereich C: Floatglas

Um den grundsätzlichen Bedarf nach einer Strömungsmessung in der Flachglasindustrie zu prüfen, wurden drei Vertreter aus den wichtigsten deutschen Unternehmen der Floatglasproduktion befragt. Im Ergebnis konnte festgestellt werden, dass kein Bedarf nach einer Messung der Zinnströmung im Floatprozess besteht, jedoch bei allen Befragten sehr großes Interesse nach einer Möglichkeit zur **Beeinflussung der Zinnströmung** vorhanden ist. Die derzeit dazu genutzten Verfahren (Graphitdämme, Graphitrührer, Linearmotoren, Pumpen, Kunststoffleiteinrichtungen, thermische Beeinflussungsverfahren) haben alle teilweise sehr gravierende Nachteile, sodass aus Sicht der Befragten großer Bedarf an einer berührungslosen Strömungsbeeinflussung im Zinnbad besteht. Diese ist mit dem LKA in Verbindung mit einer magnetischen Pumpe möglich. Alle drei Befragten äußerten den Wunsch nach weiteren Gesprächen zum LKA und zeigten Interesse an einer Entwicklungskooperation. Mit den Interviews wurde die Grundlage für eine Zusammenarbeit mit der Flachglas Torgau GmbH gelegt, einem Mitglied der europaweiten Nummer 1 der Flachglasproduktion Saint Gobain Gruppe.

Für den Floatglasbereich wurde keine quantitative Studie zur Überprüfung der Ergebnisse der Interviews durchgeführt. In Deutschland ansässig sind lediglich 18 Unternehmen, die sich mit der Floatglasproduktion beschäftigen. Eine quantitative Studie hat wegen dieser zu geringen Grundgesamtheit keinen Sinn. Da sich die Aussagen der Interviewpartner ohnehin kaum unterscheiden und sie die drei größten Floatglasproduzenten Deutschlands vertreten, haben die Ergebnisse der qualitativen Studie ein sehr großes Gewicht und können auch ohne quantitative Studie als valide angesehen werden. Aus den Aussagen der Interviewpartner und der genauen Analyse des Floatglasmarktes wurde die Erkenntnis gewonnen, dass das LKA in dieser

Industrie großes Potenzial hat, jedoch aufgrund der Marktstruktur eine **internationale Ausrichtung** der Vermarktungsstrategie notwendig ist.

#### Ausgeschlossener Technologiebereich D: Halbleiter

Zu Beginn der Projektphase I wurde von den Antragstellern geplant, das LKA bei der Produktion von Halbleitern einzusetzen. Es bestand die Idee, mit dem LKA die Geschwindigkeit beim Czochralski-Prozess zu messen, was aus Sicht der Ingenieure Rückschlüsse auf den Transport von Dotierstoffen erlaubt, deren Homogenität für die Qualität von Halbleiterkristallen wichtig ist. Außerdem könnte der Prozess der Herstellung von Solarsilizium durch eine Geschwindigkeitsmessung verbessert werden. Diese Idee wurde in Projektphase I durch Sekundärrecherche und Expertengespräche bewertet. Im Laufe der Sekundärrecherche wurde festgestellt, dass aufgrund der geringeren Strömungsgeschwindigkeiten im Czochralski-Prozess der Durchfluss nur mit einer niedrigen Empfindlichkeit gemessen werden kann. Dies erhöht die Kosten für das Messsignalbearbeitungssystem um ein Mehrfaches. Außerdem zeigte sich bereits bei der Akquise von Interviewpartnern, dass in der Solarindustrie kein Interesse an einer Durchflussmessung mittels LKA besteht. Die ASi Industries GmbH Arnstadt, ein regional ansässiges Mitglied der Ersol Solar Energy AG, äußerte nach Beschreibung des LKA-Prinzips keinen Bedarf an der Nutzung des Messverfahrens. Diese Ergebnisse haben zum Ausschluss der Halbleiterindustrie aus Projektphase II geführt.

#### **4.2.2 Quantitative Marktforschung**

Da qualitative Studien lediglich dazu dienen, einen Forschungsgegenstand zu erhellen und zu strukturieren und die Ergebnisse stark von Einzelmeinungen geprägt sind, mussten die Ergebnisse aus den Technologiefeldern Aluminium und Stahl auf breiter empirischer Basis validiert werden. Dazu wurde eine quantitative Studie mittels Online-Fragebogen durchgeführt, deren Ergebnisse im Folgenden vorgestellt werden.

#### Stichprobe

Um möglichst viele einschlägige Unternehmen zur Bearbeitung des Fragebogens einzuladen, wurden bei der Hoppenstedt Firmeninformation GmbH Adressen aus den Bereichen Stahlerzeugung, Aluminiumerzeugung, Stahlguss und Leichtmetallguss gekauft. Diese wurden anschließend nochmals qualifiziert, um Unternehmen ausschließen zu können, die kein Aluminium bzw. keinen Stahl **gießen**. Übrig blieben 625 Unternehmen, die per Brief, Telefon bzw. E-Mail gebeten wurden, an der Studie teilzunehmen. Die Rücklaufquote lag mit einem Stichprobenumfang von  $n=41$  bei 6,5% (erwartete, durchschnittliche Rücklaufquote bei quantitativen Studien: 4%). Die Unternehmen aus der Aluminium- und Stahlbranche sind mit 20 bzw. 21 Teilnehmern gleichverteilt. Zu den Unternehmen aus dem Stahlgussbereich wurden auch Eisengießereien gezählt, da der Unterschied zwischen Stahl und Eisen für die Anwendung des LKA unerheblich ist. Unter den befragten Unternehmen sind sowohl kleinere mit bis zu 50 Mitarbeitern, als auch große mit bis zu 30.000 Mitarbeitern. Die durchschnittliche Mitarbeiterzahl der teilnehmenden Unternehmen liegt bei 180 (Aluminium) bzw. 404 (Stahl), das durchschnittlich abgesetzte Produktionsvolumen liegt bei 7.700 (Aluminium) bzw. 18.200 Tonnen (Stahl). Die Befragten sind in den Unternehmensbereichen Geschäftsführung, Fertigung, Qualitätsmanagement, Forschung und Entwicklung, Technische Leitung und Einkauf tätig.

#### Ergebnisse

Die quantitative Studie lieferte folgende Ergebnisse:

- **Bisherige Durchflussmessung:** 61,1% der Befragten gaben an, bisher keine Messungen des Flüssigmetalldurchflusses durchzuführen. Dies begründeten sie damit, dass sie in ihrem Produktionsverfahren die Messung nicht als notwendig erachteten, sie bisher kein geeignetes Messverfahren gefunden haben, oder nicht wussten, dass eine solche Messung

überhaupt möglich ist. Der Hauptgrund bestand in der Angabe, dass sich eine Durchflussmessung für Kleinserien gar nicht lohnt bzw. nicht möglich ist, für Großserien aber wichtig ist. Zu diesem Zeitpunkt wurde den Probanden das LKA noch nicht vorgestellt. Von den 38,9% der Befragten, die bereits Durchflussmessungen durchführen, gaben 64,3% an, dass sie ein neues Messverfahren für notwendig halten. Die bisherige Messung erfolgt größtenteils über das Wiegen des Produktes mit verschiedenen Waagen bzw. über die indirekte Bestimmung der Produktionsmenge durch Messung der Füllzeiten. Diese Verfahren sind aus Sicht der Befragten zu ungenau (44,4%), stören den Produktionsprozess (11,1%) oder sind sehr störanfällig. Lediglich 26,8% sind mit den Ergebnissen der Messung zufrieden und sehen keinen Bedarf nach einem neuen Messverfahren.

- **Anforderungen an Messverfahren:** Im Fragebogen wurden die Anforderungen abgefragt, die in den Expertengesprächen der qualitativen Studie ermittelt wurden. Gleichzeitig hatten die Probanden die Möglichkeit, durch offene Fragen weitere Anforderungen an Messverfahren anzugeben. Dabei konnten weitere wichtige Ansprüche potenzieller Kunden an ein Durchflussmessverfahren festgestellt werden. Dazu gehören eine einfache Kalibrierung, ein minimaler Platzanspruch, eine mögliche Temperaturmessung und eine berührungsfreie Messung durch eine keramische Schale. Die wichtigsten Anforderungen an das LKA werden in Kapitel 4.2.4 vorgestellt.
- **Bewertung des LKA:** Das LKA wurde den Befragten im Laufe des Fragebogens näher vorgestellt. Anschließend sollten die Probanden ihre Meinung zum Messgerät äußern. 30,6% der Befragten gaben bereits nach dieser kurzen Vorstellung des LKA an, dass das Verfahren ihrem Unternehmen Vorteile bringen könnte, der Großteil davon stammt aus dem Stahlbereich (73%). 59% der Befragten sind der Ansicht, dass das Verfahren interessant klingt, sie zur weiteren Einschätzung aber nähere Informationen benötigen. Vorteile des Messverfahrens sehen die Befragten vor allem in einer besseren Nachverfolgbarkeit der Prozesse (16 Nennungen), in einer möglichen Steigerung der Produktqualität (9 Nennungen), und in einer Zeitersparnis bei der Betriebsdatenerfassung (6 Nennungen). Als potenzielle Nachteile werden zu geringer Nutzen für die Produktion (13 Nennungen), zu hohe Anschaffungskosten und eine zu ungenaue Messung (je 10 Nennungen) befürchtet. Alles in allem würden zu diesem Zeitpunkt 27,8% der Befragten das Messgerät in Ihrem Unternehmen einsetzen, davon 33% aus dem Aluminium- und 67% aus dem Stahlbereich. 19,5% der Befragten würden einen Prototyp des LKA in ihrem Unternehmen testen. Rund 25% der Probanden können das LKA zu diesem Zeitpunkt nicht genug einschätzen, um eine Meinung abzugeben. Festzuhalten ist, dass diejenigen, die das LKA nicht als notwendig erachten, dies vor allem mit den Besonderheiten ihres Produktionsprozesses begründen.

#### Zentrale Erkenntnisse der quantitativen Studie:

1. Das LKA kommt für **Kleinstserien** der Stahlproduktion nicht in Frage, da bei den Produzenten eine Durchflussmessung als nicht wirtschaftlich erachtet wird. Die Auswertung mittels Varianzanalyse hat ergeben, dass Unternehmen mit höheren Produktionsmengen eher Bedarf sehen, das LKA einzusetzen als Unternehmen mit geringeren Produktionsmengen.
2. Das LKA kommt nur für bestimmte **Gussverfahren** (Strangguss, Kokillenguss) und **O-fentypen** (Kupolöfen) in Frage. Für Tiegelöfen, im Feingussverfahren, beim Guss mit Handpfannen sowie beim Druckgussverfahren ist eine Messung mit dem LKA aus Sicht der Befragten nicht notwendig bzw. nicht möglich.
3. Von den Befragten gaben neun (22%) am Ende des Fragebogens an, dass sie weitere Informationen zum LKA und eine Kontaktaufnahme wünschen. Dies zeigt, dass **Interesse** am Einsatz des LKA besteht. Da die angeschriebenen Unternehmen nicht nach Gießver-

fahren gefiltert werden konnten, wurden auch solche angeschrieben, die nicht das Verfahren anwenden, für das das LKA vorgesehen ist. Somit ist eine positive Einschätzung des LKA durch über 25% der Befragten durchaus als gutes Ergebnis zu werten, das das wirtschaftliche Potenzial des LKA bestätigt.

### 4.2.3 Nutzwertanalyse

Auf Basis der Ergebnisse der qualitativen und quantitativen Studien sowie eines Workshops mit technischen und betriebswirtschaftlichen Projektmitarbeitern wurde eine **Nutzwertanalyse (Scoring)** durchgeführt (vgl. z.B. Bechmann 1978; Nagel/Stark 2001, S. 110 ff.). Diese dient der Ermittlung der besten von mehreren Alternativen und führt dazu, dass die ausgewählten Technologiefelder Aluminium, Stahl und Floatglas hinsichtlich ihres Verwertbarkeitspotenzials gerankt werden. Dabei wurde wie folgt vorgegangen:

1. **Definition der Ziele** der LKA-Verwertung  
Mit der Verwertung des LKA sollen verschiedene Ziele erreicht werden. Diese technischen, wirtschaftlichen, sozialen und umweltpolitischen Ziele wurden im Rahmen des Workshops zur Nutzwertanalyse zunächst bestimmt, um daraus Kriterien zur Zielerfüllung abzuleiten.
2. Erhebung von **Kriterien**, von denen die Zielerreichung abhängig ist  
Einfluss auf den Erreichungsgrad der LKA-Verwertungsziele haben bestimmte Kriterien. Diese wurden ebenfalls während des Workshops zusammengetragen und in die Kategorien Technologie, Markt und Verwertbarkeit eingeteilt.
3. **Gewichtung** der Kriterien  
Nicht jedes der ermittelten Kriterien hat einen gleich hohen Einfluss auf das Erreichen der Gesamtziele. Aus diesem Grund müssen die Kriterien hinsichtlich des Umfangs ihrer Wechselwirkung mit den gesetzten Zielen gewichtet werden. Diese Gewichtung ist stark subjektiv. Die Subjektivität vieler Schritte der Nutzwertanalyse ist der Grund, weshalb ein Workshop durchgeführt wurde. Die Vorschläge für die Kriteriengewichtungen konnten so gemeinsam umfassend diskutiert werden. Die Gewichtungen über die einzelnen Kriterien hinweg ergeben in der Summe 1 (=100%).
4. **Bewertung** der Alternativen Aluminium, Stahl und Floatglas hinsichtlich der Kriterien  
Nach Festlegung der Kriterien werden die Alternativen hinsichtlich ihres Zielerreichungsgrades auf einer normierten Skala bewertet. Dazu wurden den Technologiefeldern für jedes Kriterium ordinalskalierte Ausprägungen (Teilnutzenwerte) zwischen 1 (sehr negativ für Zielerfüllung) und 5 (sehr positiv für Zielerfüllung) zugeteilt. Da auch dies ein subjektiver Prozess ist, wurde jeder einzelne vergebene Teilnutzenwert ausführlich diskutiert.
5. Ermittlung des **Gesamtnutzens** (Gesamtscore)  
Nachdem die Teilnutzenwerte bestimmt sind, kann für jede einzelne Alternative, d.h. für jedes Technologiefeld, der Gesamtnutzenwert berechnet werden. Dies geschieht, indem für jedes Technologiefeld die einzelnen Teilnutzenwerte mit den Kriteriengewichten multipliziert und über alle Kriterien hinweg aufsummiert werden:  
$$GNW (TF_i) = \sum TNW_j \times g_j$$
  
Hierbei bedeuten GNW: Gesamtnutzenwert (= Nutzwert), TF: Technologiefeld, i: Art des Technologiefeldes; i= Aluminium, Stahl bzw. Floatglas, TNW: Teilnutzenwert, g: Kriteriengewicht, j: Ordnungszahl des Kriteriums, j=1...18
6. **Bewertung** des Ergebnisses  
Die Verwertung des LKA hat für das Technologiefeld mit dem höchsten Nutzwert größte Priorität, da diese Alternative das höchste Vermarktungspotenzial verspricht. Im Ergebnis der Nutzwertanalyse konnte das höchste Potenzial für den Technologiebereich Aluminium

ermittelt werden, gefolgt von Stahl an zweiter und Floatglas an dritter Stelle. Anzumerken ist, dass der Nutzwert nicht monetär interpretierbar ist, sondern lediglich Aufschluss über das Ranking der Alternativen gibt.

Tabelle 2 zeigt die Nutzwertanalyse für die Technologiefelder Aluminium, Stahl und Floatglas. Die Analyse beinhaltet 18 Kriterien, die unterschiedlich gewichtet wurden. Auf Basis dieser Nutzwertanalyse wurde das Ranking der Technologiefelder vorgenommen, auf dem das Konzept für Projektphase II basiert, d.h. die Weiterentwicklung und Verwertung des LKA erfolgt mit Priorität I für Aluminium, mit Priorität II für Stahl und mit Priorität III für Floatglas. Dieses Ranking hat auch Einfluss auf die Zusammensetzung der Forschergruppen für die nächste Projektphase (vgl. Kap. 6).

Kriterien	g	TF1: Aluminium	TF2: Stahl	TF3: Floatglas
<b>Technologie</b>				
Entwicklungsstand	0,1	5	3	2
Patentierbarkeit	0,02	5	5	5
Transferpotenzial	0,09	4	3	3
Anzahl potenzieller Einsatzbereiche	0,03	3	2	1
Entwicklungsaufwand	0,07	4	4	3
Möglichkeit kundenindividueller Anpassungen	0,05	5	3	2
Standardisierungsgrad	0,06	4	4	4
Anzahl konkurrierender Technologien	0,1	3	5	4
Erfüllungsgrad der Kundenanforderungen	0,12	4	3	1
<b>Markt</b>				
Konkurrenzsituation	0,005	2	3	4
Wachstum des Marktsegments	0,02	4	1	4
Marktgröße	0,005	4	3	2
Umfang von Markteintrittsbarrieren	0,05	3	3	3
<b>Verwertbarkeit</b>				
Aufwand für Aufbau eines Vertriebsnetzes	0,05	3	4	3
Kommunikationsaufwand	0,04	3	3	3
Anzahl industrieller Partner	0,06	5	4	4
Innovationswiderst. potenzieller Nutzer gg. LKA	0,07	3	2	3
Nutzen des LKA aus Kundensicht	0,06	4	3	4
<b>Gesamt</b>	<b>1,00</b>	<b>3,88</b>	<b>3,34</b>	<b>2,89</b>

Tabelle 2: Nutzwertanalyse (g: im Workshop gemeinsam ermittelter Gewichtungsfaktor; TF: Technologiefeld)

#### 4.2.4 Anforderungen potenzieller Kunden

Die Nutzwertanalyse zeigt, dass die Anforderungen der Kunden mit einer Gewichtung von 0,12 das wichtigste Zielkriterium sind. In den qualitativen und quantitativen Studien wurde deshalb untersucht, welche Anforderungen potenzielle Kunden an Messsysteme im Allgemeinen und an das LKA im Besonderen haben. Diese wurden zusammengefasst und nach Wichtigkeit aus Sicht der Befragten in eine Rangfolge gebracht. Anschließend wurden die Anforderungen mit dem derzeitigen Entwicklungsstand des LKA verglichen und in einem Anforderungsportfolio veranschaulicht (Abb. 11). Aus diesem Portfolio geht hervor, welche Anforderungen mit hoher Priorität weiterentwickelt werden müssen und welche vorerst vernachlässigt werden können. Es wurde zunächst für jedes Technologiefeld ein separates Portfolio erstellt. Aufgrund der geringen Unterschiede hinsichtlich der Anforderungen wurden diese jedoch zu einem Gesamtportfolio aggregiert.

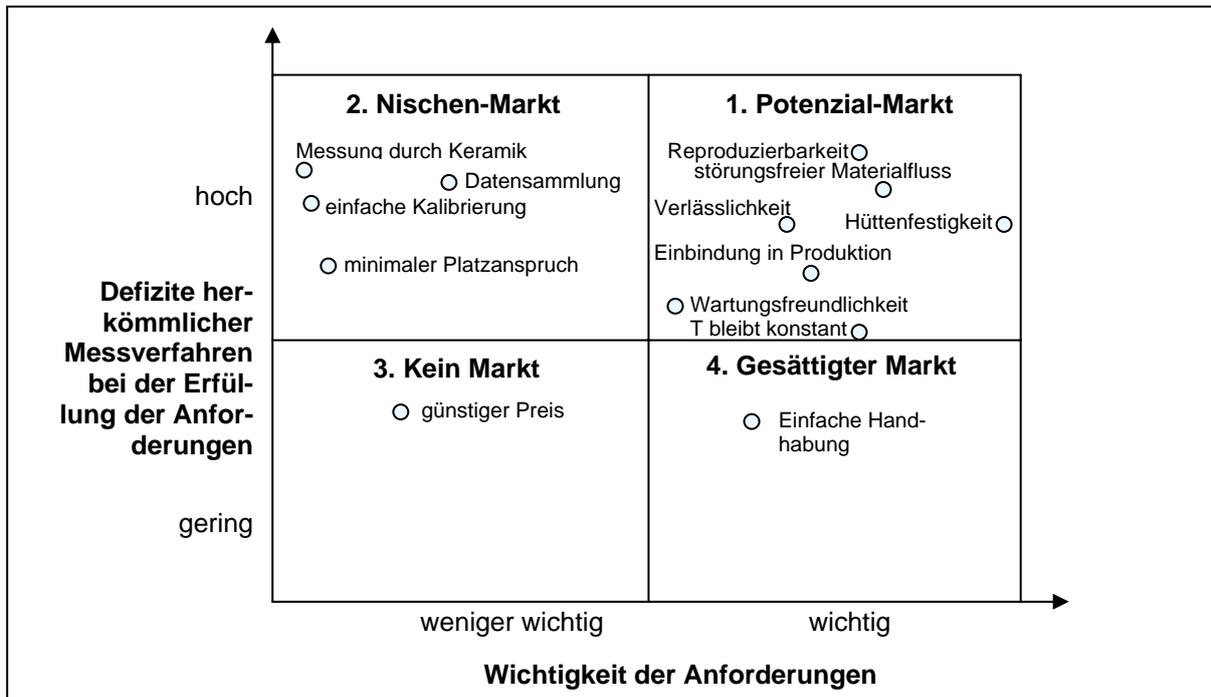


Abbildung 11: Anforderungsportfolio zum LKA

#### Quadrant 1: Potenzial-Markt

Sind die Anforderungen an das LKA aus Sicht der potenziellen Kunden wichtig und bestehen bei herkömmlichen Messverfahren große Defizite bezüglich dieser Anforderungen, ist es ratsam diese Produkteigenschaften mit höchster Priorität weiterzuentwickeln. Folgende Anforderungen an das LKA können diesem Quadranten zugeordnet werden: Reproduzierbarkeit, keine Störung des Materialflusses, permanente Verlässlichkeit, Hüttenfestigkeit, Möglichkeit einer Einbindung in die vorhandene Produktionskette, kein Temperaturverlust durch die Messung sowie Wartungsfreundlichkeit. Die von den Befragten am wichtigsten erachtete Anforderung an das LKA ist die Hüttenfestigkeit, d.h. das LKA muss unter den schweren Gießereibedingungen (hohe Temperaturen und Strahlungen) zuverlässig arbeiten können.

#### Quadrant 2: Nischen-Markt

Wurden Anforderungen von potenziellen Kunden als weniger wichtig erachtet und bestehen jedoch hohe Defizite bei herkömmlichen Technologien hinsichtlich dieser Produkteigenschaften, so sollten diese Anforderungen mit Priorität zwei weiterentwickelt werden. Folgende Anforderungen an das LKA können diesem Quadranten zugeordnet werden: Ermöglichung einer Datensammlung, einfache Kalibrierung, minimaler Platzanspruch sowie berührungslose Messung durch eine keramische Schale.

#### Quadrant 3: Kein Markt

Für Produkteigenschaften, die den potenziellen Kunden weniger wichtig sind und ohnehin von anderen Messverfahren bereits erfüllt werden, besteht kein Bedarf nach Weiterentwicklung. In diesen Quadranten kann die Anforderung eines günstigen Preises eingeordnet werden. Der Preis war den Befragten weniger wichtig. Sofern die wichtigen Anforderungen aus Quadrant 1 durch das LKA erfüllt werden, spielt der Preis eine untergeordnete, jedoch nicht unwichtige Rolle.

#### Quadrant 4: Gesättigter Markt

Anforderungen an das LKA, die potenziellen Kunden zwar wichtig sind, aber bereits durch konkurrierende Technologien zu einem ausreichenden Grad erfüllt werden, müssen ebenfalls nicht weiterentwickelt werden. Dazu zählt die Forderung nach einer einfachen Handhabung. Dennoch sollte diese Anforderung im Fall des LKA nicht ganz vernachlässigt werden, da sie großen Einfluss auf die Zufriedenheit mit einem Produkt ausübt.

Durch die Portfolioanalyse wird deutlich, welche Anforderungen das LKA mit welcher Priorität aus Sicht potenzieller Kunden erfüllen sollte. Dies dient als Ausgangspunkt für eine anforderungsgerechte Produktentwicklung, die in Projektphase II vorgesehen ist.

## 5 Vorgehensweise bei der Entwicklung der Verwertungskonzepte und dem Aufbau eines Innovationslabors

### 5.1 Zusammenarbeit zwischen Forschung und Marktteilnehmern

Der Anteil auf wissenschaftlicher Forschung basierender innovativer Technologien auf dem Markt hat sich in den letzten Jahren stark erhöht, was die Bedeutsamkeit einer **Interaktion** zwischen akademischer und industrieller Forschung hervorhebt (vgl. Schmoch 2003, S. 11). Bei der technischen Entwicklung und betriebswirtschaftlichen Verwertung des LKA wird auf eine solche Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Praxis sehr großer Wert gelegt, um das LKA erfolgreich vermarkten zu können. Dazu sollen bestehende Partnerschaften mit industriellen Unternehmen genutzt werden. Ein wichtiges Ziel des VELOMAT-Projekts besteht darin, das Partnernetzwerk weiter auszubauen, was in Projektphase I schon erfolgreich gelungen ist. Neben ersten Kontakten mit verschiedenen Unternehmen, die in Projektphase II vertieft werden sollen, bestehen bereits intensive Partnerschaften. Dazu zählen sowohl deutschlandweit ansässige, weltweit agierende Großunternehmen, als auch kleine und mittelständische Unternehmen aus Thüringen. Letztere sind in der folgenden Aufstellung der derzeit bestehenden Industriekontakte kursiv gedruckt.

#### Technologiebereich A: Aluminium

Oetinger Aluminium GmbH Weißenhorn (Sekundäraluminium), Wieland Werke Ulm (Nichteisenmetalle), PEAK Werkstoff GmbH Velbert (Aluminium), Metallwerke Bender Rheinland GmbH (Aluminium), Alustockach GmbH (Aluminium), *Metallgießerei Pößneck*

Mit der **Oetinger Aluminium GmbH** arbeitet das Fachgebiet Thermo- und Magnetofluidynamik seit dem Jahr 2007 erfolgreich an der Entwicklung des LKA. Der bisherige Entwicklungsstand ist zu einem sehr großen Teil auf die enge Zusammenarbeit zwischen der TU Ilmenau und der Oetinger GmbH zurückzuführen. Diese Kooperation soll in Projektphase II genutzt werden, um das LKA erfolgreich zu vermarkten. Dabei können durch die Oetinger GmbH nicht nur neue Industriekontakte entstehen. Das Unternehmen hat die notwendige Erfahrung und Expertise, um das VELOMAT-Projektteam bei der Entwicklung einer Verwertungsstrategie kompetent zu unterstützen.

Der Kontakt mit der **Alustockach GmbH** entstand in Projektphase I. Das Unternehmen ist sehr interessiert am Einsatz des LKA und entschloss sich zu einer F&E-Kooperation mit dem VELOMAT-Team. Derzeit wird im Unternehmen der Prototyp eines LKA praktisch getestet, was einen Vergleich zwischen unterschiedlichen Produktionsbedingungen ermöglicht.

#### Technologiebereich B: Stahl

*Saveway GmbH Langewiesen*, Dillinger Hüttenwerke AG, SMS Demag AG Düsseldorf, *Schubert & Salzer Lobenstein*, *Silbitz Guss GmbH*, Arcelor Maizieres les Metz (Frankreich), POSCO (Korea), Baosteel Shanghai (China), CORUS Ijmuiden (Niederlande)

Im Stahlbereich bestehen mehrere, teilweise internationale Industriekontakte. Hervorzuheben ist die intensive Zusammenarbeit mit dem deutschen Unternehmen Saveway Langewiesen sowie SMS Demag. Diese Kooperationen bestehen seit mehreren Jahren und haben unterschiedliche Ausprägungen. Die **Saveway Langewiesen** ist ein im Umfeld der TU Ilmenau ansässiges Unternehmen, das sich auf den weltweiten Vertrieb und die Installation von Messtechnik für die Stahl- und Gießereiindustrie spezialisiert hat. Es ist geplant, die Vermarktung des LKA für den Stahlbereich in Kooperation mit Saveway durchzuführen, wenn die

technischen Entwicklungen weit genug fortgeschritten sind. Dadurch kann deren bestehendes Kundennetzwerk genutzt werden und die Zusammenarbeit zwischen TU Ilmenau und lokalen Unternehmen wird gefördert. Mit der **SMS Demag AG** besteht eine F&E-Kooperation. Die Erfahrungen des Anlagenherstellers für Stahlwerke wurden für die Entwicklung des bestehenden Konzeptes für das LKA genutzt. Ziel in Projektphase II ist der industrielle Test eines noch zu entwickelnden Prototypen bei der SMS Demag AG, die eine Testumgebung bereitstellen wird.

#### Technologiebereich C: Floatglas

Schott AG Mainz, Schott AG Jena, Flachglas Torgau GmbH/ Saint Gobain Gruppe, Guardian Flachglas GmbH

Für den Floatglasbereich besteht bisher eine Idee der LKA-Anwendung, die aus umfangreichen Gesprächen mit Unternehmen der Floatglasproduktion entstand. Zur **Flachglas Torgau GmbH**, die zur europaweiten Nummer 1 der Glasproduktion, der Saint Gobain Gruppe, gehört, sowie zur Guardian Flachglas GmbH konnten im Rahmen der qualitativen Studien in Projektphase I erste Kontakte geknüpft werden. Sie zeigten großes Interesse an der LKA-Anwendung und Bereitschaft an der Entwicklung mitzuwirken. Da bisher nur eine Idee besteht, ist das Partnernetzwerk im Glasbereich noch wenig umfangreich und soll in Projektphase II weiter ausgebaut werden.

## 5.2 Vorgehen bei Entwicklung und Umsetzung von Verwertungskonzepten

### 5.2.1 Ausgangspunkt

Das LKA befindet sich für die drei unterschiedlichen Technologiefelder in unterschiedlichen Planungsphasen des **Innovationsprozesses**. Aus diesem Grund unterscheidet sich das Vorgehen bei der Entwicklung der Verwertungskonzepte in Projektphase II. Anhand des W-Modells von Brandenburg (2002) sollen die unterschiedlichen Phasen dargestellt werden, in denen sich die Entwicklung des LKA für die Technologiefelder Aluminium, Stahl und Floatglas befindet (Abb. 12).

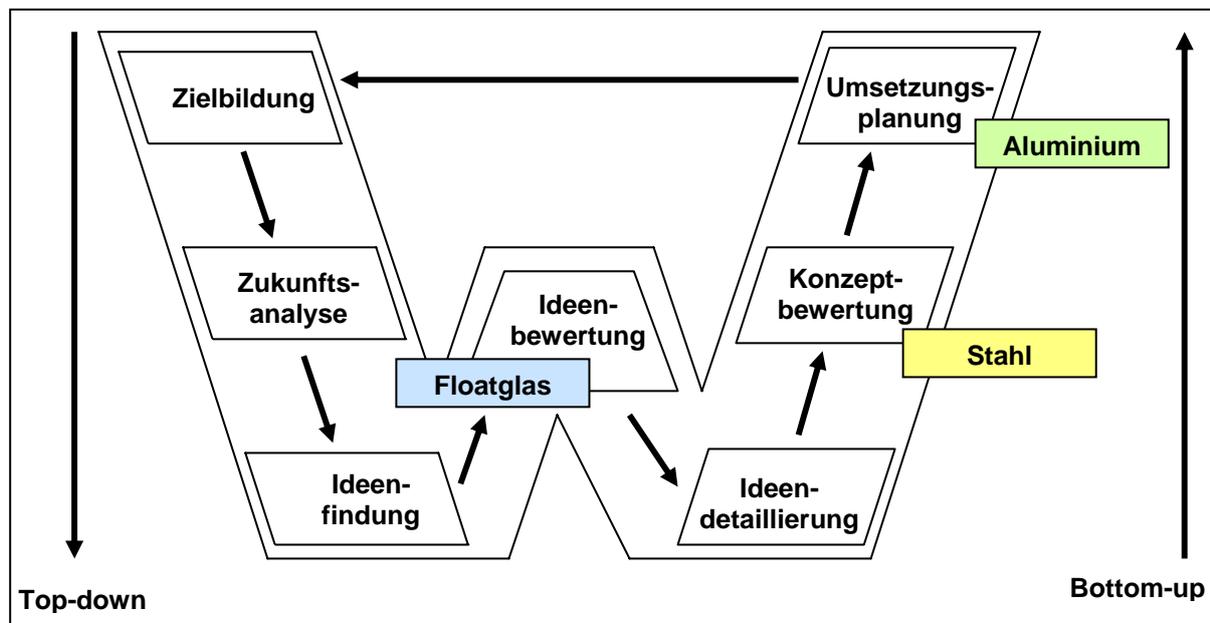


Abbildung 12: Aluminium, Stahl und Floatglas im W-Modell nach Brandenburg (2002)

Das W-Modell ist lediglich ein Grobkonzept des Ablaufs eines Innovationsprozesses. Die Phasen sind deshalb nicht trennscharf zu sehen, sondern können verflochten sein und in speziellen Prozessen auch komplett wegfallen (vgl. Eversheim et al. 2003a, S. 32). Zur Darstellung der IST-Situation der LKA-Entwicklungen in den unterschiedlichen Technologiefeldern

sowie zur Erläuterung der notwendigen Planungsschritte in Projektphase II ist das Modell sehr gut geeignet.

## 5.2.2 Technologiebereich A: Aluminium

Die Entwicklung des LKA ist für den Aluminiumbereich am weitesten fortgeschritten. Im W-Modell des Innovationsprozesses befindet sich Aluminium bereits am Anfang der Umsetzungsplanung. In dieser Phase werden die Ergebnisse aus den früheren Planungsphasen grafisch in einer so genannten **InnovationRoadMap** zusammengefasst. Diese dient dazu, die Unternehmens- und Marktanforderungen sowie den zeitlichen Verlauf der technologischen Entwicklungen kurz-, mittel- und langfristig abzubilden. Dazu werden Zukunftsvorhaben und geplante Entwicklungen in die RoadMap eingeordnet, die betriebswirtschaftlichen mit den technischen Innovationsaufgaben verknüpft und Aktivitäten zur Umsetzung der Vorhaben abgeleitet (vgl. Eversheim et al. 2003a, S. 32). Solch eine InnovationRoadMap soll zu Beginn der Projektphase II entwickelt werden, um die anstehenden Aufgaben der LKA-Verwertung für den Aluminiumbereich zu visualisieren. Ziel von Projektphase II ist die Entwicklung eines Businessplans zur Einleitung einer Ausgründung der TU Ilmenau. Die dafür notwendigen Schritte werden in der grafischen RoadMap verankert.

Die InnovationRoadMap enthält sowohl die geplanten technischen Weiterentwicklungen des LKA als auch die Schritte bei der Erstellung eines Verwertungskonzeptes. Die geplante Vorgehensweise bei der Entwicklung einer Vermarktungsstrategie wird im Folgenden erläutert.

Das Vorgehen bei der Erstellung eines Verwertungskonzeptes kann dem der Entwicklung einer **Marketingkonzeption** gleichgesetzt werden. Diese umfasst der betriebswirtschaftlichen Grundlagenliteratur folgend (vgl. z.B. Meffert 2000) Festlegungen auf drei Gebieten: Zielebene, Strategieebene und Instrumentalebene. Abbildung 13 verdeutlicht die Bestandteile einer Marketingkonzeption. Die Planung dieser Teilbereiche erfolgt top-down, erst nach Festlegung von Zielen können die zur Zielerreichung notwendigen Maßnahmen geplant werden.

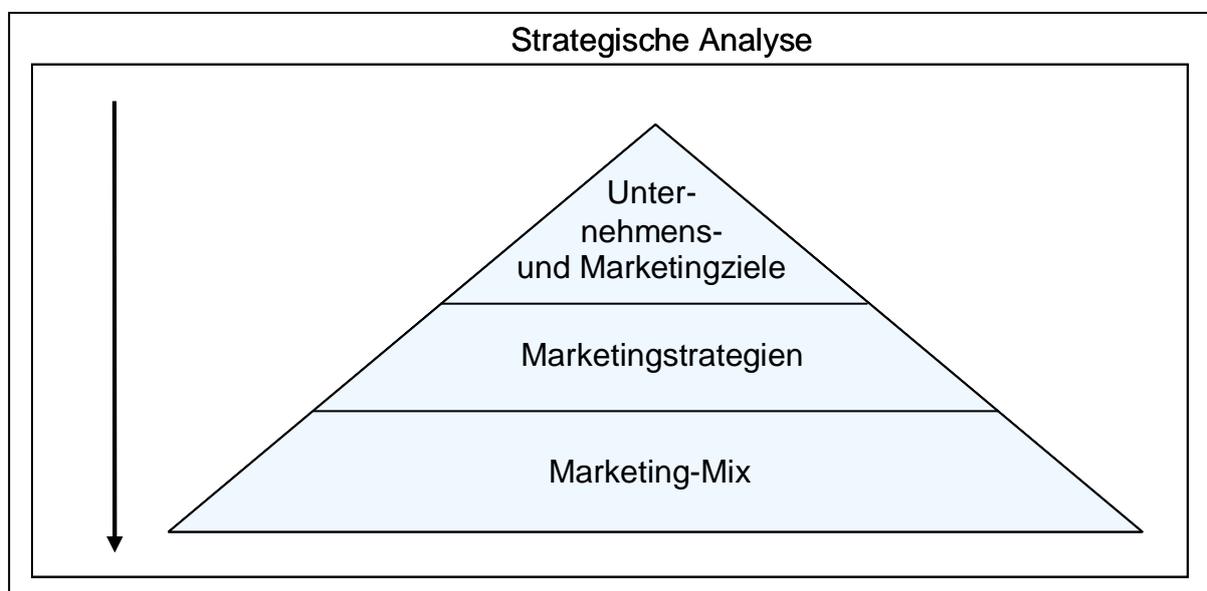


Abbildung 8: Bestandteile einer Marketingkonzeption (Meffert 2000, S. 60)

An der Spitze der Marketingkonzeption und damit auch des Verwertungskonzeptes stehen die **Unternehmens- und Marketingziele**. Vor Festlegung operativer Maßnahmen muss festgelegt werden, welche Ziele das VELOMAT-Team mit der Vermarktung des LKA verfolgt. Dabei wird ein Zielsystem gebildet, das Subziele aus unterschiedlichen Bereichen beinhaltet (z.B. Rentabilität, Marktstellung, soziale Ziele, finanzielle Ziele, wissenschaftliche Ziele). Dazu müssen verschiedene Situationsanalysen durchgeführt werden, um den relevanten Markt

einzugrenzen, zu analysieren und die eigene Position festzustellen. Die Marktsegmentierung (Eingrenzung des Zielmarktes) wurde bereits in Projektphase I durchgeführt. Für Projektphase II entscheidend ist die Detaillierung der in Phase I begonnen Marktanalyse. Dabei sollen die eigene Stellung, potenzielle Wettbewerber, rechtliche Beschränkungen, Wachstumsraten der Branchen etc. analysiert werden. Ein geeignetes Mittel dazu ist die SWOT-Analyse, die unternehmensinterne (Stärken, Schwächen) und unternehmensexterne (Chancen, Risiken) Variablen einer Marktanalyse in einem Portfolio vereint. Die dazu notwendigen Daten wurden größtenteils bereits in Projektphase I gesammelt und müssen in Phase II verdichtet werden. Auf Basis der Situationsanalysen werden die Vermarktungsziele festgelegt.

Nach der Zielsetzung erfolgt die taktische **Strategieentwicklung**, d.h. die Planung des Vorgehens zur Erreichung der festgelegten Ziele. Dabei werden verschiedene Marketingstrategien entwickelt, beispielsweise die Marktstimulierungsstrategie (Präferenzstrategie vs. Preis-Mengen-Strategie) oder die Marktareal-Strategie (national vs. international). Die Strategieentwicklung erfolgt auf Basis der gesetzten Ziele und hat einen entscheidenden Einfluss auf die Gestaltung des Vermarktungskonzeptes und die resultierende Unternehmensgründung. Aus diesem Grund sollen die Marketingstrategien im Rahmen des bestehenden Netzwerks aus technischer und betriebswirtschaftlicher interner und externer Expertise entwickelt werden.

Wurde eine taktische Strategie des Unternehmens festgelegt, können die operativen Maßnahmen, d.h. die zur Umsetzung der Unternehmensziele und -strategien eingesetzten Marketinginstrumente, geplant werden. Dies beinhaltet die Entwicklung eines optimalen **Marketing-Mix** und umfasst Planungsentscheidungen in den Bereichen Produktpolitik, Preispolitik, Distributionspolitik und Kommunikationspolitik. Die **Produktpolitik** umfasst beispielsweise die Auswahl der Zielgruppe und die Darstellung der USP des LKA (Unique Selling Proposition = im Vergleich zur Konkurrenz einzigartige Produkteigenschaft). Im Rahmen dieses Teils des Marketing Mix wird auch entschieden, ob kundenindividuelle Produktmodifikationen angeboten werden oder nicht. Diese Festlegung bedarf intensiver Zusammenarbeit zwischen betriebswirtschaftlichen und ingenieurwissenschaftlichen Projekt-mitarbeitern, um den wirtschaftlichen Nutzen und den technischen Aufwand dieser Entscheidung gegenüberzustellen.

Die **Preispolitik** beinhaltet zum einen die Ermittlung der Zahlungsbereitschaft der potenziellen Kunden (beispielsweise mittels Conjoint-Analyse) und zum anderen die Festlegung eines „idealen“ Preises für das LKA. Dieser darf weder zu weit über noch zu weit unter der ermittelten Zahlungsbereitschaften liegen und muss wissenschaftlich untersuchte Phänomene des Kaufverhaltens (z.B. preisabhängige Qualitätswahrnehmung) berücksichtigen. Es gibt drei Methoden um den Preis eines neuen Produktes festzusetzen: die kostenorientierte Preisfindung (auf Basis von Vollkosten- oder Teilkostenrechnung), die nachfrageorientierte Preisfindung (Target Pricing, Value-based Pricing) und die konkurrenzorientierte Preisfindung. Die wichtigste Entscheidung im Rahmen der Preispolitik besteht in der Auswahl zwischen Penetrationsstrategie (mit geringem Preis möglichst schnell hohe Marktanteile erzielen) und Abschöpfungsstrategie (möglichst hohe Umsätze erzielen).

Im Rahmen der **Distributionspolitik** wird der Vertriebskanal (direkt vs. indirekt) festgelegt. Bei den gesamten distributionspolitischen Planungen wird ein mehrstufiger Prozess durchlaufen, der Situationsanalysen zur Vertriebspolitik (z.B. Distributionsgrad), die Formulierung distributionspolitischer Ziele, die Festlegung und Realisierung einer absatzmittlergerichteten Basisstrategie und sowie im Ergebnis die Ausgestaltung des logistischen Systems des Unternehmens umfasst (vgl. Meffert 2000, S. 584 ff.) Die Distributionspolitik umfasst weiterhin ein umfassendes Absatzkanalmanagement (beispielsweise Entscheidung, ob Vertriebspartner gewählt werden sollen) und die operative Marketinglogistik.

Durch die **Kommunikationspolitik** wird festgelegt, wie das LKA nach außen vertreten wird. Diese spielt bei Innovationen eine besondere Rolle. Anfänglicher **Innovationswiderstand**,

der bei Einführung eines Produktes mit hohem Neuheitsgrad mit sehr großer Wahrscheinlichkeit auftritt, kann durch eine durchdachte Kommunikationspolitik schnell überwunden werden. Die Ergebnisse der Marktforschung in Projektphase I zeigen, dass einige Gießereiunternehmen sehr traditionell arbeiten und dem LKA skeptisch gegenüberstehen. Solche Vorbehalte können durch eine geeignete Kommunikationsstrategie abgebaut werden. Die Kommunikationspolitik umfasst dabei nicht nur die klassische Werbung, sondern auch den Kontakt zwischen Kunden und Unternehmen (Webseite, Messeauftritte, Face-to-face-Kommunikation). Da Kommunikation einen hohen finanziellen Einsatz erfordert, muss die Strategie intensiv geplant werden und auf die Personen im Unternehmen ausgerichtet sein, die den höchsten Einfluss auf die Kaufentscheidung ausüben. Kurzum: Mit möglichst wenig Geldeinsatz sollen möglichst viele entscheidungsbefugte Personen vom LKA überzeugt werden.

Auf Basis der Marketingkonzeption soll für das LKA im Aluminiumbereich ein Businessplan entwickelt werden, der eine Unternehmensgründung einleitet. Diese umfasst neben den oben beschriebenen taktischen, strategischen und operativen Planungen auch eine umfassende Kosten- und Wirtschaftlichkeitsanalyse, die ebenfalls in Projektphase II aufbauend auf den Ergebnissen bereits durchgeführter Bewertungsverfahren vorgenommen werden soll. Dazu gehören beispielsweise eine Investitions- und Abschreibungsplanung mit den geplanten Investitionen und den damit anfallenden Abschreibungen, eine Liquiditätsrechnung, eine Plan-Gewinn- und Verlustrechnung, eine Cash-Flow-Rechnung und eine Bilanz. Diese beinhalten Voraussagen über drei bis fünf Jahre, mindestens jedoch bis zu einem Jahr nach Erreichen des Break-Even-Points, der ebenfalls im Rahmen der Kostenplanung in Projektphase II berechnet wird.

Als **Ergebnisse von Projektphase II** für das LKA im Aluminiumbereich sind geplant:

1. Ein weiterentwickelter Prototyp des LKA, der die in den Quadranten I und eventuell II des Anforderungsportfolios (vgl. Abb. 11) dargestellten Eigenschaften erfüllt. Der Messfehler des LKA soll unter 0,5% liegen.
2. Eine fertig installierte Anlage für die flüssige Kalibrierung des LKA (vgl. Kap. 4.1.2).
3. Ein ausgereifter Businessplan, der im Groben die folgenden Bestandteile enthält:
  - Zusammenfassung
  - Vorstellung des Produktes
  - Vorstellung des Unternehmerteams
  - Analyse von Markt und Wettbewerb
  - Planung von Marketing und Vertrieb
  - Darstellung von Geschäftssystem und Organisation
  - Erläuterung eines Realisierungsfahrplans
  - Analyse der Chancen und Risiken
  - Finanzplanung

### **5.2.3 Technologiebereich B: Stahl**

Die Entwicklung des LKA für den Stahlbereich befindet sich zum jetzigen Zeitpunkt am Anfang der Phase der Konzeptbewertung (vgl. Kap. 5.2.1). Die bestehende Idee wurde bewertet und nach intensiven Kontakten mit den Industriepartnern **SMS Demag** und **Dillinger Hüttenwerke** in einem Konzept präzisiert. Bevor die Umsetzungsplanung analog zur Technologiebereich Aluminium erfolgen kann, müssen zwei weitere wichtige Schritte durchlaufen werden: Bestimmung der Anforderungserfüllung und Bestimmung der technischen Machbarkeit (vgl. Eversheim et al. 2003a, S. 108). Da die zu verwertenden Technologiefelder in Projektphase I bereits basierend auf umfassenden Marktforschungsergebnissen ausgewählt wurden, wird die von Eversheim et al. (2003a) in die Konzeptbewertungsphase eingeordnete

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erst in der Phase der Umsetzungsplanung durchgeführt. Die Phase der Konzeptbewertung dient zur quantitativen Prüfung der technischen Machbarkeit des Produktkonzeptes.

Die **Bestimmung der Anforderungserfüllung** dient dazu zu prüfen, inwieweit das LKA geeignet ist, tatsächlich die im Rahmen der Marktforschung ergründeten Anforderungen potenzieller Kunden zu erfüllen. Dazu werden die Kundenanforderungen den technischen Kriterien des LKA-Konzeptes für den Stahlbereich gegenübergestellt. Im Rahmen von intensiven Rückkopplungen zwischen den die Technik vorantreibenden Ingenieuren und dem Betriebswirten, der die Kundenanforderungen genau analysiert, kann so ein Prototyp des LKA entwickelt werden, der den Anforderungen potenzieller Kunden gerecht wird.

Bei der **Bestimmung der technischen Machbarkeit** soll nachgewiesen werden, dass das erstellte Produktkonzept auch tatsächlich technisch realisierbar ist. Dieser Schritt bildet den Kern von Projektphase II für das LKA im Stahlbereich. Hier soll aufbauend auf den Kundenanforderungen ein Prototyp erstellt werden, der zunächst unter Laborbedingungen und anschließend unter Industriebedingungen bei Partnerunternehmen umfangreich getestet wird. Dazu sollen Rapid Prototyping-Verfahren angewandt werden, um das bestehende Produktkonzept schnell umsetzen zu können. Analog dazu soll die Funktionsfähigkeit des Prototypen durch Simulationssoftware untersucht werden.

Den größten Zeitaufwand nimmt die Prototypenentwicklung in Anspruch. Ist diese erfolgreich abgeschlossen, kann für das LKA im Stahlbereich analog zum Technologiefeld Aluminium mit der Umsetzungsplanung begonnen werden. Die Erstellung eines Businessplans entfällt dabei, da geplant ist, die Vermarktung gemeinsam mit der Saveway GmbH Langwiesensee durchzuführen. Aus diesem Grund wird auch die Entwicklung einer Marketingkonzeption gemeinsam mit diesem Projektpartner erfolgen.

Als **Ergebnis von Projektphase II** für das LKA im Stahlbereich ist geplant: Ein kundenanforderungsgerecht entwickelter und umfangreich unter Labor- und Industriebedingungen getesteter Prototyp des LKA, sodass sich das LKA für den Stahlbereich auf dem derzeitigen Stand des Technologiefeldes Aluminium befindet.

#### 5.2.4 Technologiebereich C: Floatglas

Das LKA für den Floatglasbereich befindet sich im Innovationsprozess in der Phase der Ideenbewertung. Auf Basis von Expertengesprächen entstand die Idee einer berührungslosen Strömungsbeeinflussung im Zinnbad bei Floatprozess. Diese muss in den nächsten Schritten bewertet und detailliert werden, bevor ein Konzept erstellt werden kann. Für Projektphase II sind daher folgende Schritte geplant: Ideenbewertung und Ideendetaillierung.

In der **Ideenbewertungsphase** wird eine technische Lösung zur Umsetzung der Idee anhand eines Kriterienmodells und paarweiser Vergleiche der Selektionskriterien ausgewählt. Am Ende dieser Phase besteht eine Produktidee 2. Ordnung, d.h. die detaillierte Idee einer technischen Anordnung, mit der mittels LKA die Strömung im Zinnbad beim Floatprozess berührungslos beeinflusst werden kann. Dazu bedarf es interner Beurteilungen sowie weiterer Gespräche mit externen Projektpartnern aus der Flachglasindustrie.

Die Phase der **Ideendetaillierung** hat das Ziel, aus der bestehenden Idee ein Konzept zu entwickeln. Dazu werden im Rahmen weiterer Marktforschung (beispielsweise qualitative Interviews) die Anforderungen potenzieller Nutzer des LKA gesammelt und konkretisiert. Aus diesen Anforderungen werden Produkteigenschaften generiert und gewichtet. Diese Produkteigenschaften werden bei der sich anschließenden Definition der technischen Aufgaben berücksichtigt. In dieser Planungsphase treten häufig technische Widersprüche auf, die mit Hilfe der TRIZ-Methodik aufgelöst werden können. Diese „Theorie zur Lösung inventiver Probleme“

me“ ist eine umfangreiche Methodik, in deren Ergebnis auf Basis einer Widerspruchsmatrix mit Problem- und Optimierungsparametern technische Zielkonflikte gelöst werden können (vgl. dazu Eversheim et al. 2003b, S. 151 ff.). Aufbauend auf den identifizierten Produkteigenschaften und den definierten technischen Aufgaben soll ein Konzept für das LKA im Floatglasbereich entwickelt werden.

Als **Ergebnis von Projektphase II** für das LKA im Floatglasbereich ist geplant: Ein fertiges Konzept zur technischen Umsetzung einer berührungslosen Strömungsbeeinflussung im Zinnbad beim Floatprozess. Das LKA für den Floatglasbereich soll sich somit am Ende der Projektphase II auf dem derzeitigen Stand des LKA für den Stahlbereich befinden.

### **5.3 Aufbau eines Innovationslabors zum VELOMAT-Projekt**

#### **5.3.1 Darstellung der Kompetenzen für ein effektives Innovationsmanagement**

Um die LKA-Technologie erfolgreich zu entwickeln und in den Markt einzuführen, sind ein systematisches Vorgehen und ein professionelles Innovationsmanagement notwendig (vgl. Pleschak/Sabisch 1996, S. 43 f.). Wie im Folgenden näher dargestellt wird, besitzen alle Akteure des VELOMAT-Teams die notwendige Expertise für solch ein effektives Innovationsmanagement.

**Herr Prof. André Thess** leitet seit dem Jahr 1998 das Fachgebiet Thermo- und Magneto-fluiddynamik und hat gemeinsam mit seinen Miterfindern Dr. Christian Karcher und Prof. Yurii Kolesnikov die Entwicklung des LKA-Verfahrens initiiert. Er besitzt durch seine Aktivitäten als Sprecher der DFG-Forschergruppe Magnetofluiddynamik (2001-2007), als Betreiber des weltgrößten Rayleigh-Bénard Experimentes „Ilmenauer Fass“, als Koordinator zahlreicher Industrieprojekte sowie als designierter Sprecher eines beantragten DFG-Graduiertenkollegs zur Strömungsmessung und Werkstoffprüfung Erfahrung im Management komplexer Verbundvorhaben. Seine fachliche Qualifikation wurde im Jahre 2007 durch die Wahl zum Mitglied des DFG-Fachkollegiums 404 (Strömungsmechanik) gewürdigt.

**Frau Prof. Katja Gelbrich** verfügt durch ihre Lehr- und Forschungstätigkeit als Leiterin des Fachgebietes Marketing sowie ihre langjährige Tätigkeit als Geschäftsführerin einer Marktforschungsfirma über fundierte Kenntnisse in den Bereichen Innovationsmanagement sowie qualitative und quantitative Marktforschung. Für ihre Habilitation zum Thema „Innovation und Emotion. Die Funktion von Furcht und Hoffnung im Adoptionsprozess einer technologischen Neuheit für die Kunststoffbranche“ forschte Frau Prof. Gelbrich umfangreich auf dem Gebiet des Innovationsmanagements im Industriegüterbereich.

**Dipl.-Kffr. Mandy Guttzeit** hat sich als Projektmitarbeiterin für den wirtschaftswissenschaftlichen Teil in Phase I mit beeindruckender Geschwindigkeit in die technischen Aspekte des LKA-Verfahrens eingearbeitet. Sie hat die für Phase I avisierten Aufgaben mit höchstem Engagement und vorbildlicher Sorgfalt erfüllt und maßgeblich zur Formulierung des vorliegenden Konzepts beigetragen. Sie wird in Phase II die betriebswirtschaftlichen Tätigkeiten des Projektes in ständiger Rückkopplung mit den ingenieurwissenschaftlichen Mitarbeitern der Forschergruppen sowie den externen Projektpartnern und Beratern übernehmen. Durch ihre Diplomarbeit zum Thema LKA bildet sie eine ideale Schnittstelle zwischen betriebswirtschaftlichen und ingenieurwissenschaftlichen Projektaufgaben. Aufgrund ihrer Ausbildung verfügt Frau Guttzeit über das notwendige Fach- und Methodenwissen, um die Entwicklung und Umsetzung der Verwertungsstrategien in Projektphase II voranzutreiben und die dazu notwendigen Aufgaben (z.B. Ermittlung der Preisbereitschaften) kompetent durchzuführen.

Die interne Kompetenz wird neben den drei genannten Personen durch Herrn PD Dr. Christian Karcher (Oberassistent am Lehrstuhl von Prof. Thess), Herrn Dr. Vitaly Minchenya (Pro-

jektmitarbeiter in Phase I) und Herrn Dr. Oleg Andreev (Drittmittelangestellter) ergänzt. Die **externe Expertise** des vorhandenen und weiter auszubauenden Netzwerks aus Projektpartnern und Beratern ergänzt die internen Kompetenzen optimal und stellt sicher, dass das LKA nicht „am Markt vorbei“ wird, sondern aufbauend auf den Anforderungen der Kunden und der Struktur des Marktes entwickelt wird.

Ein zentraler Aufgabenbereich des Innovationsmanagements im VELOMAT-Projekt besteht im Umgang mit **Innovationswiderstand** potenzieller Kunden. Durch den gezielten Einsatz verschiedener Instrumente des Marketing-Managements (Signaling, Förderung von Screening, Referenzkundengewinnung etc.) soll Widerständen entgegengewirkt werden.

### **5.3.2 Strategien zur Stärkung der Innovationskultur und Förderung von Transferprozessen**

Mit Durchführung des VELOMAT-Projekts soll nicht nur die Innovationskultur im sich bildenden Innovationslabor gestärkt werden. Vielmehr bieten sich Möglichkeiten, mit unterschiedlichen Strategien das innovative Verhalten in drei verschiedenen Bereichen zu fördern.

An erster Stelle steht die Förderung innovativer Prozesse im geplanten **Innovationslabor**. Die Projektmitarbeiter aller Forschergruppen sowie der Betriebswirt arbeiten nach wissenschaftlichen Kenntnissen des Innovationsmanagements im Zusammenspiel mit den praktischen Erfahrungen der externen Partner. Durch interne und externe Workshops werden die Projektmitarbeiter weitergebildet. Der Vergleich mit anderen Unternehmen und Forschungsteams nach verschiedenen Kriterien (Benchmarking) zeigt Verbesserungspotenziale auf, die weitere innovative Entwicklungen nach sich ziehen.

Die Arbeit des VELOMAT-Innovationslabors hat gleichzeitig Einfluss auf das innovative Verhalten von Unternehmen aus der **Region Ilmenau**. Die Teilnahme der Projektmitarbeiter an regionalen Messen und Tagungen zeigt die Chancen von Innovationen auf und dient anderen Wissenschaftlern und Unternehmen als Anreiz zur Aufgeschlossenheit gegenüber dem „Neuen“. Dies wird ebenfalls durch die zahlreichen Kooperationen mit regionalen Unternehmen im Rahmen des VELOMAT-Projekts erreicht. Im Rahmen von Fokusgruppendifkussionen mit potenziellen Unternehmenskunden aus der Region entstehen neue Impulse für weitere Entwicklungen des LKA und es besteht von Anfang an direkter Kontakt zum Markt. Interessierte Unternehmen haben die Möglichkeit, einen Prototyp des LKA im eigenen Produktionsumfeld zu testen. Dies mindert das Risiko einer Fehlentscheidung und erhöht die Wahrscheinlichkeit der Einführung der Innovation. Durch die in Projektbereich A geplante Ausgründung entstehen außerdem hochqualifizierte Arbeitsplätze im Umfeld der TU Ilmenau, die durch die Entwicklung und Vermarktung zukunftssträchtiger Produkte Innovationen in der Region vorantreiben.

Eine zentrale Aufgabe des VELOMAT- Innovationsmanagements besteht im Umgang mit Innovationswiderstand potenzieller **Kunden**. Durch den effektiven Einsatz von Marketingstrategien und die Entwicklung einer ausgereiften Kommunikationspolitik wird die Aufgeschlossenheit der Kunden gegenüber Innovationen gestärkt.

Einen großen Beitrag zur Stärkung der regionalen Innovationskraft leisten die ausgeprägten **Transferprozesse** im Rahmen des VELOMAT-Projekts. Im Rahmen der umfangreichen Partner-Netzwerke bietet sich die Möglichkeit, das interne Wissenschafts- und Forschungswissen mit dem externen Praxiswissen zu koppeln und dadurch die Verwertung des LKA optimal voranzutreiben. Bestehende Gründernetzwerke sollen genutzt werden, um weitere Expertise heranzuziehen und so den Vermarktungserfolg des LKA zu steigern. Dazu ist der Kontakt mit dem Business Angels Netzwerk Thüringen geplant, einer Plattform, in der junge Gründer auf so genannte Business Angels mit langjähriger Erfahrung in der einschlägigen

Wirtschaftsbranche treffen. Der Austausch mit externen Beratern verstärkt die Expertise des VELOMAT-Projektteams.

## 6 Zusammensetzung und Aufgaben der Forschergruppen

Die Struktur des VELOMAT-Teams ist in Abbildung 14 dargestellt. Das Team wird von drei technischen Forschergruppen sowie von Frau Mandy Guttzeit als BWL-Spezialistin getragen. Die ingenieurwissenschaftlichen Aktivitäten in den technischen Forschergruppen werden unter Federführung von Herrn Prof. André Thess durchgeführt. Die Tätigkeiten auf dem Gebiet der Wirtschaftswissenschaften werden durch Frau Prof. Katja Gelbrich geleitet.

Für die drei Technologiebereiche Aluminium (A), Stahl (B) und Floatglas (C) werden drei spezifische Forschergruppen unter Leitung ausgewählter kompetenter Mitarbeiter des Fachgebiets Thermo- und Magnetfluidodynamik gebildet. Für die Leitung von Forschergruppe A steht Dr.-Ing. Vitaly Minchenya zur Verfügung, der bereits in Phase I als Projektmitarbeiter tätig war. Forschergruppe B wird unter Leitung von Dr.-Ing. Oleg Andreev formiert. Die Forschergruppe C wird durch PD Dr.-Ing. habil. Christian Karcher geleitet. Die unterschiedliche Größe der Gruppen spiegelt den unterschiedlichen Entwicklungsstand in den drei Projektbereichen wider.

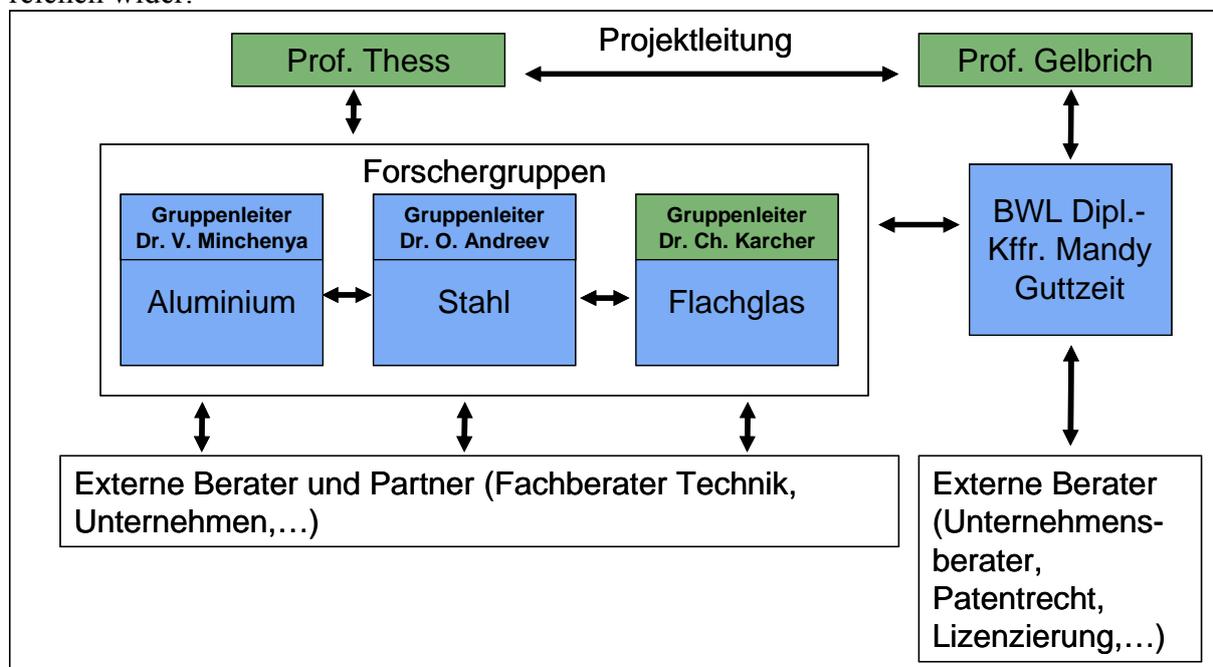


Abbildung 14: Organisationsstruktur des VELOMAT Projekts (grün: Finanzierung aus Haushaltsmitteln, blau: Finanzierung aus Projektmitteln, weiß: externe Mittel)

Die personelle Zusammensetzung der Forschergruppen gestaltet sich wie folgt:

### Forschergruppe A: Aluminium

Gruppenleiter: Dr.-Ing. Vitaly Minchenya

Projektmitarbeiter 1: Aufgabenbereich Elektronik und Automatisierungstechnik

Projektmitarbeiter 2: Aufgabenbereich Qualitätskontrolle/Metrologie

### Forschergruppe B: Stahl

Gruppenleiter: Dr.-Ing. Oleg Andreev

Projektmitarbeiter 1: Aufgabenbereich Elektrotechnik/Maschinenbau

### Forschergruppe C: Floatglas

Gruppenleiter: PD Dr.-Ing. habil. Christian Karcher

Projektmitarbeiter 1: Aufgabenbereich angewandte Physik

Projektmitarbeiter 2: technischer Mitarbeiter (organisatorisch Dr. Karcher unterstellt, übernimmt jedoch forscherguppenübergreifende Aufgaben)

Bei der Rekrutierung der Projektmitarbeiter für die technischen Forschergruppen bemühen sich die Antragsteller, einen Frauenanteil von einem Drittel zu erreichen. Für die betriebswirtschaftliche **Projektunterstützung** steht mit Dipl.-Kffr. Mandy Guttzeit eine Projektmitarbeiterin zur Verfügung, die sich in Phase I durch ihr beispielhaftes Engagement hervorragend für diese Aufgabe qualifiziert hat. Frau Guttzeit fertigte vor Projektphase I im Rahmen einer Kooperation beider Projektleiter ihre Diplomarbeit an, welche sich bereits mit dem Vermarktungspotenzial des LKA beschäftigte. Aufgrund ihrer Ausbildung verfügt sie über umfangreiches Fach- und Methodenwissen in den Bereichen Marketing, Marktforschung, Projektmanagement sowie quantitative Unternehmensplanung.

### **Externes Kompetenznetz**

- **Prof. Yuri Kolesnikov, Universität Riga**  
Prof. Kolesnikov ist seit dem Jahr 2001 Gastwissenschaftler an der TU Ilmenau. Er ist maßgeblich an der Entwicklung und Patentierung des LKA beteiligt und steht mit seinem Know-How als Berater zur Verfügung.
- **Frau Dr. Gerhardt, Leiterin Transferstelle TU Ilmenau**  
Die Transferstelle der TU Ilmenau berät unter anderem Wissenschaftler zu Existenzgründungen. Im Falle der geplanten Ausgründung steht Frau Dr. Gerhardt als Ansprechpartnerin für Fragen zur Unternehmensgründung zur Verfügung.
- **Udo Sturm, Unternehmensberater**  
Udo Sturm ist Berater für Finanzmarketing und Finanzkommunikation und seit 2007 Vorstandssprecher der Wirtschaftsjuvenen Südthüringen e.V.. Auch er steht als kompetenter Berater für Fragen zur Existenzgründung zur Verfügung.
- **Michael Kuom, Aluminiumschmelzwerk Oetinger, Weißenhorn; Michael Schwalbe, Alustockach GmbH; Dr. Manfred Hopf, Saveway GmbH Langwiesen; Dr. Ulrich Lange, Schott AG**  
Herr Kuom und Herr Schwalbe stehen als industrielle Ansprechpartner für den Technologiebereich Aluminium zur Verfügung, Dr. Hopf als Partner für den Technologiebereich Stahl und Dr. Lange für den Technologiebereich Floatglas.

## **7 Beschreibung des Arbeitsplans**

### **7.1 Methoden und Aufgaben**

#### **7.1.1 Wissenschaftlich-technische Projektaufgaben**

Auf Basis des in Projektphase I ausgearbeiteten Anforderungsportfolios wird in Projektphase II die Innovation LKA weiterentwickelt. Dabei werden für jeden Technologiebereich individuelle Sets von Einzelprojekten durchgeführt. Der Produktentwicklungsprozess wird in die Stufen „Konzipierung“, „Simulation & Berechnung“, „Design & Konstruktion“, „Prototypenbau & Versuch“ und „Produktherstellung“ aufgeteilt. Dazu stehen an der TU Ilmenau zahlreiche Werkzeuge zur Verfügung, die den Produktentwicklungsprozess beschleunigen (CAD Systeme Autodesk Inventor und Pro/Engineer, FEM- und CFD-Pakete ANSYS und Fluent, Rapid Prototyping Einrichtungen etc.). Bei der weiteren Entwicklung des LKA werden umfangreiche Maßnahmen zur präventiven Qualitätssicherung durchgeführt. Dabei werden in Zusammenarbeit mit Fachberatern die für die Erfüllung der Kundenanforderungen notwendigen Qualitätsziele festgestellt und umgesetzt. Kurz zusammengefasst entstehen im wissenschaftlich-technischen Bereich folgende Aufgaben:

- Nutzeranforderungsbezogene Weiterentwicklung der LKA- Technologie
- Wissenschaftlich-technische Kooperation mit industriellen Partnern
- Entwicklungskostenanalyse
- Qualitätsmanagement/Lizenzierung

### 7.1.2 Betriebswirtschaftliche Projektaufgaben

Da mit dem LKA eine technische Innovation verwertet werden soll, sind die betriebswirtschaftlichen Projektstätigkeiten nur unter enger Zusammenarbeit mit den ingenieurwissenschaftlichen Mitarbeitern auszuführen. Den größten Umfang nehmen dabei die Aufgaben im Technologiebereich Aluminium ein, da bei der Entwicklung eines Businessplans der Schwerpunkt auf betriebswirtschaftlichen Planungstätigkeiten liegt. Dazu werden die in Kap. 5.2.2 bereits ausführlich beschriebenen Tätigkeiten durchgeführt. Aufgaben, die auch in den Technologiebereichen Stahl und Flachglas anfallen, sind die Durchführung von Wirtschaftlichkeitsanalysen, die Gewinnung von Lead Usern, der Ausbau des Partnernetzwerkes sowie weitere Marktforschung für die Bereiche Stahl und Floatglas.

### 7.1.3 Gemeinsame Projektaufgaben

Obwohl alle Prozesse im InnoLab VELOMAT in enger Kooperation zwischen Forschergruppen und betriebswirtschaftlicher Projektunterstützung durchgeführt werden, sollen an dieser Stelle die Aufgaben hervorgehoben werden, die nur in gemeinsamer Arbeit zwischen allen Mitgliedern des VELOMAT- Projektes erreicht werden können. Dazu gehört beispielsweise das allgemeine Projektmanagement. Um die komplexen anfallenden Aufgaben bewältigen zu können, müssen alle Prozesse in jeder Phase des Projektes optimal gesteuert werden. Dabei werden gängige Methoden des Projektmanagements angewandt (Gantt Charts, Netzplantechnik, Aufwandsschätzungen, Critical Incident Technique etc.). Folgende Tätigkeiten können ausschließlich in Zusammenarbeit zwischen allen Arbeitsteams des VELOMAT-Projektes durchgeführt werden:

- Projektmanagement
- Verwertungskonzeptentwicklung
- Planung einer Existenzgründung

## 7.2 Arbeitspakete und Zeitplanung

### 7.2.1 Technologiebereich Aluminium

A-1	Entwicklung eines Gerätes zur Messung der elektrischen Leitfähigkeit	Verantwortlich: Projektmitarbeiter 1
Umfassende Literaturrecherche zur Generierung einer Datenbank für die elektrische Leitfähigkeit von Aluminiumschmelzen in Abhängigkeit von Temperatur und Zusammensetzung; Entwicklung eines Konzepts für ein elektromagnetisches Messsystem zur Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit in Hochtemperaturschmelzen; Bau eines Prototypen; Programmierung einer Auswerteeinheit; Testmessungen in Niedrigtemperatur-Flüssigmetallschmelzen (Galinstan) und Vergleich mit bekannten Messwerten; Testmessungen in reinem Flüssigzinn und Vergleich mit bekannten Stoffdaten; Testmessungen in der Industrie in Flüssigaluminium und Vergleich mit Datenbank; Optimierung des Messsystems.		
A-2	Entwicklung eines Arbeitsschutzkonzepts	Verantwortlich: Projektmitarbeiter 2
Anfertigung eines Konzepts zum sicheren Einsatz des LKA und Peripheriegeräten in der Aluminiumindustrie; Individuelle innerbetriebliche Umsetzung des Konzepts gemäß CE Normen; Dokumentation der Arbeitsschutzrichtlinien für das LKA.		

A-3	Industrielle Testmessungen	Verantwortlich: Gruppenleiter
Testmessungen in der Aluminiumindustrie mit LKA und Peripheriegeräten; Auswertung der Messdaten zur Validierung des Kalibrierungsverfahrens; Auswertung der Messdaten zur Optimierung des LKA und den Peripheriegeräten; Dokumentation der Messergebnisse.		
A-4	Entwicklung der Kalibrierungsprozedur	Verantwortlich: Projektmitarbeiter 2
Erstellen eines mathematischen Modells zur Kalibrierung des LKA; Erstellen eines Rechenmodells zur numerischen Kalibrierung des LKA mit kommerziellen Programmpaketen (FLENT, ANSYS); Durchführung von Kalibrierungsmessungen mit Aluminiumfestkörpern; Durchführung von Kalibrierungsmessungen im Flüssigzinnkanal; Durchführung von Kalibrierungsmessungen in Aluminiumschmelzenströmungen in der Industrie; Auswertung der Kalibrierungsmessungen und Vergleich mit mathematischem und numerischen Modellen; Bestimmung der Messgenauigkeiten des LKA.		
A-5	Bau des LKA-Kalibrierungskanals	Verantwortlich: Gruppenleiter, Projektmitarbeiter 1
Fertigung des Flüssigzinnkanals zur Präzisionskalibrierung des LKA im Labor unter industrienahe Strömungs- und Temperaturbedingungen; Programmierung und Installation der Steuerungs- und Auswerteeinheiten; Inbetriebnahme des Kanals und Durchführung von Probemessungen; Auswertung und Dokumentation der Probemessung; Optimierung des Kanals; Kalibrierungsmessungen im Flüssigzinnkanal.		
A-6	Erstellung eines Informationsprospekts	Verantwortlich: Gruppenleiter, Betriebswirt
Populärwissenschaftliche Kurzbeschreibung des LKA und des Messprinzips; Fertigung von 3D-Zeichnungen des LKA; Zusammenstellung der relevanten technischen Daten einschließlich Messgenauigkeit; Exposé über die Arbeitsschutzbedingungen; Zusammenstellung aller Information in einer Farbbroschüre zur Information und Akquise von Kunden.		
A-7	Entwicklung eines Qualitätssicherungsprogramms	Verantwortlich: Projektmitarbeiter 1
Arbeitswissenschaftliche Analyse der verschiedenen Design- und Produktionsstufen beim Bau des LKA; Ableitung von Maßnahmen zur Qualitätssicherung; Erstellen eines Anforderungskatalogs an Materialien und Werkstoffe; Ableitung von Maßnahmen zur Optimierung des Fertigungsprozesses.		
A-8	Ausbau des Partnernetzwerkes und Gewinnung von Lead Usern	Verantwortlich: Betriebswirt, Gruppenleiter
Das bestehende Partnernetzwerk soll um vorrangig lokal aber auch überregional ansässige Unternehmen (z.B. Aluminiumgießereien) erweitert werden. Damit einher geht die Gewinnung von Lead Usern, die das LKA als erste Kunden in ihren Unternehmen nach Abschluss der Entwicklungsarbeiten implementieren. Zu diesem Arbeitspaket gehört auch die Sichtung potenzieller Investoren.		
A-9	Einordnung der geplanten Entwicklungen und Zukunftsvorhaben in eine Innovation-RoadMap	Verantwortlich: Betriebswirt Gruppenleiter
In der InnovationRoadMap sollen der zeitliche Verlauf aller geplanten technischen und wirtschaftlichen Projektvorhaben kurz-, mittel- und langfristig visualisiert werden. Weiterhin enthalten sind Anforderungen an die Existenzgründer sowie Marktanforderungen.		
A-10	Festlegung der Marketingziele inkl. Bildung eines Zielsystems	Verantwortlich: alle Mitarbeiter
Bevor die Strategieentwicklung für die geplante Existenzgründung erfolgen kann, müssen die Unternehmens- und Marketingziele klar definiert werden. Diese werden anschließend in ein Zielsystem eingeordnet, an dem sich die Entwicklung der Unternehmensstrategien orientiert (vgl. A-12)		

A-11	Detaillierung der in Projektphase I durchgeführten Marktanalyse	Verantwortlich: Betriebswirt
Zu diesem Arbeitspaket gehören beispielsweise die Analyse der eigenen Marktstellung und potenzieller Wettbewerber sowie damit einhergehend die Durchführung einer SWOT-Analyse, welche die Stärken und Schwächen des Unternehmens mit den Chancen und Risiken kombiniert. Dies ist die Basis für die Strategieentwicklung.		
A-12	Entwicklung taktischer Marketingstrategien	Verantwortlich: Betriebswirt, Gruppenleiter, Projektleitung
Um langfristig das Unternehmensverhalten zu planen werden im Rahmen des strategischen Managements die Marketingstrategien des zu gründenden Unternehmens entwickelt. Dies erfolgt unter Berücksichtigung der festgesetzten Marketingziele (vgl. A-10).		
A-13	Entwicklung des Marketing-Mix	Verantwortlich: Betriebswirt, Gruppenleiter, Projektleitung
Basierend auf den geplanten Zielen und Marketingstrategien (A-10, A-12) wird auf Instrumentalebene der Marketing-Mix, d.h. die tatsächlich durchzuführenden Maßnahmen im Unternehmen, entwickelt. Dazu gehören die Planung von Produkt-, Preis-, Distributions- und Kommunikationspolitik.		
A-14	Durchführung der Kosten- und Wirtschaftlichkeitsanalyse sowie der Finanzplanung	Verantwortlich: Betriebswirt, Gruppenleiter, Projektleitung
Dieses Arbeitspaket beinhaltet alle für eine Existenzgründung notwendigen Finanzplanungen. Dazu gehören beispielsweise die Analyse der Herstellkosten für das LKA, die Planung der Vermarktungskosten und der Einnahmen sowie darauf aufbauend die Durchführung einer Wirtschaftlichkeitsanalyse.		
A-15	Entwicklung des Businessplans	Verantwortlich: Betriebswirt, Gruppenleiter, Projektleitung
Auf Basis der entwickelten Marketingkonzeption wird ein Businessplan erstellt, auf dessen Basis die Existenzgründung erfolgen kann.		

## Zeitplan

Aufgabe	Anfang	Abschluss	Dauer	2009			2010				2011			
				Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2		
A-1	02.03.2009	23.12.2009	42,6w	■			MA-2							
A-2	01.10.2009	28.04.2010	30w				■							
A-3	02.03.2009	30.11.2009	39,2w	■			MA-1							
A-4	01.12.2009	30.04.2010	21,8w				■							
A-5	03.05.2010	31.03.2011	47,8w				■				MA-4			
A-6	01.12.2009	30.03.2010	17,2w				■							
A-7	02.03.2009	21.08.2009	25w	■										
A-8	02.03.2009	31.03.2011	108,8w	■										
A-9	02.03.2009	27.03.2009	4w	■										

A-10	01.04.2009	23.06.2009	12w	
A-11	01.05.2009	01.09.2009	17,6w	 MA-3
A-12	01.09.2009	01.03.2010	26w	
A-13	02.03.2010	30.06.2010	17,4w	
A-14	01.04.2010	01.09.2010	22w	
A-15	05.01.2010	31.03.2011	64,6w	 MA-5

## Meilensteinplanung

MA-1: Abschluss der industriellen Testmessungen

MA-2: Abschluss der Entwicklung des Messgeräts für die elektrische Leitfähigkeitkontrolle

MA-3: Jahresabschlussbericht

MA-4: Fertigstellung des LKA- Kalibrierungskanals

MA-5: Abschluss des Businessplanes zur Einleitung der Existenzgründung

## 7.2.2 Technologiebereich Stahl

### Arbeitspakete

B-1	Entwicklung eines LKA- Prototypen für die Durchflussmessung im Tauchrohr	Verantwortlich: Gruppenleiter, Projektmitarbeiter 1
Umsetzung des Konzepts zur Messung von Flüssigmetallströmungen in Tauchrohrgeometrien; Entwicklung und Fertigung eines Prototyps für Labormessungen in Niedrigtemperatur-Flüssigmetallschmelzen (Galinstan) bei horizontaler und vertikaler Strömungsführung; Entwicklung und Programmierung der Messwerterfassungs- und Messwertverarbeitungssysteme; Fertigung und Inbetriebnahme eines Laborversuchsstands mit horizontaler und vertikaler Strömungsführung; Durchführung von Testmessungen im Labor; Auswertung und Dokumentation der Messergebnisse; Optimierung.		
B-2	Entwicklung eines LKA- Prototypen für die Durchfluss- und Dickemessung im Strang	Verantwortlich: Gruppenleiter, Projektmitarbeiter 1
Umsetzung des Konzepts zur Messung von Flüssigmetallströmungen in Stranggeometrien; Entwicklung und Fertigung eines Prototyps für Labormessungen in Niedrigtemperatur-Flüssigmetallschmelzen (Galinstan); Entwicklung und Programmierung der Messwerterfassungs- und Messwertverarbeitungssysteme; Fertigung und Inbetriebnahme eines Laborversuchsstands; Durchführung von Testmessungen im Labor; Auswertung und Dokumentation der Messergebnisse; Optimierung.		
B-3	Installation und Testmessungen der LKA- Prototypen in der Industrie	Verantwortlich: Projektmitarbeiter 1
Durchführung von Testmessungen in der Industrie (SMS Demag) mit entwickelten LKA-Prototypen für Tauchrohr- und Stranggeometrien; Auswertung und Dokumentation der Messergebnisse; Optimierung.		
B-4	Entwicklung eines Arbeitsschutzkonzepts	Verantwortlich: Gruppenleiter, Projektmitarbeiter 1
Anfertigung eines Konzepts zum sicheren Einsatz des LKA und Peripheriegeräten in der Stahlindustrie; Individuelle innerbetriebliche Umsetzung des Konzepts gemäß CE Normen; Dokumentation der Arbeitsschutzrichtlinien für das LKA.		

B-5	Anfertigung von Konstruktionszeichnungen und technische Dokumentation	Verantwortlich: Projektmitarbeiter 1
Populärwissenschaftliche Kurzbeschreibung des LKA und des Messprinzips für den Stahlbereich; Fertigung von 3D-Zeichnungen des LKA; Zusammenstellung der relevanten technischen Daten einschließlich Messgenauigkeit; Exposé über die Arbeitsschutzbedingungen; Zusammenstellung aller Information in einer Farbbroschüre zur Information und Akquise von Kunden.		
B-6	Ausbau des Partnernetzwerks	Verantwortlich: Betriebswirt, Gruppenleiter
Wie auch beim Technologiebereich Aluminium sollen lokal und überregional ansässige Unternehmen (z.B. Stahlwerke) als Partner gewonnen werden, um das bestehende Netzwerk auszubauen. Ebenso sollen Investoren gesichtet werden.		
B-7	Ermittlung der Anforderungserfüllung des LKA für den Stahlbereich	Verantwortlich: alle Mitarbeiter
Auf Basis der in Projektphase I ermittelten Anforderungen potenzieller Nutzer an das LKA soll die Anforderungserfüllung des Messgerätes ermittelt werden, d.h. die genannten Anforderungen werden den technischen Kriterien des Konzeptes gegenübergestellt, um einen anforderungsgerechten Prototypen entwickeln zu können.		
B-8	Detaillierung der in Projektphase I durchgeführten Marktanalyse	Verantwortlich: Betriebswirt
Zu diesem Arbeitspaket gehören beispielsweise die Analyse der eigenen Marktstellung und potenzieller Wettbewerber sowie damit einhergehend die Durchführung einer SWOT-Analyse, welche die Stärken und Schwächen des Unternehmens mit den Chancen und Risiken kombiniert.		
B-09	Erstellung des betriebswirtschaftlichen Verwertungskonzeptes	Verantwortlich: Betriebswirt, Gruppenleiter
Mit Abschluss der Entwicklungsarbeiten am Prototypen soll ein Verwertungskonzept für das LKA im Stahlbereich entwickelt werden, das die Entwicklung einer Marketingkonzeption beinhaltet.		

## Zeitplan

Aufgabe	Anfang	Abschluss	Dauer	2009			2010				2011	
				Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2
B-1	02.03.2009	30.10.2009	35w	MB-1								
B-2	02.11.2009	30.06.2010	34,6w				MB-2					
B-3	02.11.2009	26.11.2010	56w				MB-3					
B-4	01.07.2010	26.01.2011	30w									
B-5	01.07.2010	02.03.2011	35w									
B-6	02.03.2009	31.03.2011	108,8w									
B-7	02.03.2009	10.04.2009	6w									
B-8	04.05.2009	24.02.2010	42,6w									
B-9	03.05.2010	28.03.2011	47,2w				MB-4					

## Meilensteinplanung

MB-1: Abschluss der Entwicklung des LKA- Prototypen für die Durchflussmessung in den Tauchrohren

MB-2: Abschluss der Entwicklung des LKA- Prototypen für die Durchflussmessung und Dickmessung im Strang

MB-3: Abschluss der experimentellen Untersuchungen der Prototypen

MB-4: Abschluss der Verwertungskonzept-Erstellung

### 7.2.3 Technologiebereich Floatglas

#### Arbeitspakete

C-1	Ausbau des Partnernetzwerkes	Verantwortlich: Betriebswirt, Gruppenleiter
Wie auch bei den Technologiebereichen Aluminium und Stahl sollen lokal und überregional ansässige Unternehmen (z.B. Floatglashersteller) als Partner gewonnen werden, um das bestehende Netzwerk auszubauen. Ebenso sollen Investoren gesichtet werden.		
C-2	Ideenbewertung	Verantwortlich: alle Mitarbeiter
Anhand paarweiser Vergleiche von Selektionskriterien eines zu entwickelnden Kriterienmodells entsteht eine bewertete Idee für das LKA im Flachglasbereich. Dazu werden intensive Gespräche zwischen Partnern und Projektmitarbeitern stattfinden.		
C-3	Entwicklungskonzepterstellung	Verantwortlich: Betriebswirt, Gruppenleiter, Projektmitarbeiter
Zusammenstellung aller thermophysikalischen und magnetofluidodynamischen Kenngrößen zur Anwendung des LKA in der Floatglasherstellung; Zusammenstellung von potenziell einsetzbaren Materialien und Werkstoffen; Festlegung einer geeigneten Geometrie für das Prototypenkonzept; Entwicklung eines virtuellen LKA-Prototypen und elektromagnetischen Pumpe zur Strömungskontrolle; Numerische Analyse des virtuellen Prototyps mit kommerziellen Rechenprogrammen FLUENT und ANSYS; Optimierung der Geometrie; Konzepterstellung zur rechnergestützten Messwerterfassung und Messwertverarbeitung zur Strömungskontrolle; Kostenschätzung zum Bau des Prototyps; Erstellung eines Konzepts zur Durchführung von Modellexperimenten in der Glasindustrie; Zur Konzeptentwicklung finden qualitative Gespräche mit potenziellen Nutzern zur Anforderungsermittlung statt und die TRIZ-Methodik wird angewandt.		
C-4	Realisierung des Modellexperimentes für den Steuerkreis LKA & EM-Pumpe	Verantwortlich: Projektmitarbeiter 1
Planung und Vorbereitung von Modellexperimenten zur Strömungskontrolle von Flüssigzinnschmelzen mittels LKA und elektromagnetischer Pumpe in Niedrigtemperatur-Flüssigmetallschmelzen (Galinstan) und mit elektrisch schwach leitfähigen Elektrolytlösungen als Modellfluid für Glasschmelzen; Kostenschätzung zur Durchführung der Modellexperimente; Erstellung eines Konzepts zur Ausweitung der Modellexperimente auf Flüssigzinnströmungen.		
C-5	Entwicklung des Arbeitsschutzkonzeptes	Verantwortlich: Gruppenleiter
Anfertigung eines Konzepts zum sicheren Einsatz des LKA und Peripheriegeräten in der Glasindustrie; Individuelle innerbetriebliche Umsetzung des Konzepts gemäß CE Normen; Dokumentation der Arbeitsschutzrichtlinien für das LKA.		
C-6	Anfertigung von Konstruktionszeichnungen und technische Dokumentation	Verantwortlich: Projektmitarbeiter 1
Populärwissenschaftliche Kurzbeschreibung des LKA und des Messprinzips für den Floatglasbereich; Fertigung von 3D-Zeichnungen des LKA; Zusammenstellung der relevanten technischen Daten einschließlich Messgenauigkeit; Exposé über die Arbeitsschutzbedingungen; Zusammenstellung aller Information in einer Farbbroschüre zur Information und Akquise von Kunden.		

## Zeitplan

Aufgabe	Anfang	Abschluss	Dauer	2009			2010				2011		
				Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	
C-1	02.03.2009	28.03.2011	108,2w	[Gantt bar from Q2 2009 to Q2 2011]									
C-2	05.03.2009	30.10.2009	34,4w	[Gantt bar from Q2 2009 to Q3 2009]									
C-3	12.11.2009	16.06.2010	31w	[Gantt bar from Q4 2009 to Q2 2010, labeled MC-1]									
C-4	01.07.2010	21.01.2011	29,4w	[Gantt bar from Q3 2010 to Q1 2011, labeled MC-2]									
C-5	26.07.2010	06.01.2011	23,8w	[Gantt bar from Q3 2010 to Q1 2011]									
C-6	03.01.2011	31.03.2011	12,8w	[Gantt bar from Q1 2011 to Q2 2011]									

## Meilensteinplanung

MC-1: Abschluss der Konzeptentwicklung des LKA- Systems für die Glasindustrie

MC-2: Abschluss der experimentellen Untersuchungen des Steuerkreises LKA-EM-Pumpe

## 8 Kostenplanung

<b>Forscherguppe A: Aluminium</b>		
Personalkosten		
3 Mitarbeiter je 2 Jahre		360.000
2 studentische Hilfskräfte		20.000
<b>Zwischensumme Personal Forschergruppe A</b>		<b>380.000</b>
Großgeräte		
LKA-Kalibrierungskanal (Eigenbau)		
Komponenten:		
50 kg Reinzinn		5.000
Rohre, Konstruktionsmaterial		15.000
2 elektromagnetische Pumpen		80.000
Hochtemperaturkugelventile		40.000
Regelungstechnische Geräte		35.000
Computertechnik und Software		25.000
Schmelzofen		50.000
Leistungsanschlussgeräte		40.000
<b>Zwischensumme Großgeräte Forschergruppe A</b>		<b>290.000</b>
Kleingeräte		
Mikrokontrollersysteme, StarterKit, Programmierer		10.000
Messtechnik, Zubehör		15.000
<b>Zwischensumme Kleingeräte Forschergruppe A</b>		<b>25.000</b>
Zusatzkosten		
Reisekosten		15.000
Beratungskosten		12.000
Transport, Montage		15.000
1 Laptop		2.000
Monitor, Tastatur, Maus		500
<b>Zwischensumme Zusatzkosten Forschergruppe A</b>		<b>44.500</b>
<b>Forscherguppe B: Stahl</b>		
Personalkosten		
2 Mitarbeiter je 2 Jahre		240.000
2 studentische Hilfskräfte		20.000

Zwischensumme Personal Forschergruppe B		<b>260.000</b>
Kleingeräte		
Messtechnik, Zubehör		15.000
Testmetall Galinstan		24.000
Baumaterialie für die LKA Prototypen		45.000
Zwischensumme Kleingeräte Forschergruppe B		<b>84.000</b>
Zusatzkosten		
Reisekosten		10.000
Beratungskosten		10.000
Transport, Montage		7.000
1 Laptop		2.000
Monitor, Tastatur, Maus		500
Zwischensumme Zusatzkosten Forschergruppe B		<b>29.500</b>
<b>Forschergruppe C: Floatglas</b>		
Personalkosten		
2 Mitarbeiter je 2 Jahre (wiss. MA, 1 techn. MA)		240.000
1 studentische Hilfskraft		10.000
Zwischensumme Personal Forschergruppe C		<b>250.000</b>
Kleingeräte		
Messtechnik, Zubehör		15.000
Elektrolyte		2.000
Verbrauchsmaterial		22.000
Zwischensumme Kleingeräte Forschergruppe C		<b>39.000</b>
Zusatzkosten		
Reisekosten		10.000
Beratungskosten		8.000
Transport, Montage		7.000
1 Laptop		2.000
Monitor, Tastatur, Maus		500
Zwischensumme Zusatzkosten Forschergruppe C		<b>27.500</b>
<b>Betriebswirtschaftliche Projektunterstützung</b>		
Personalkosten		
1 Mitarbeiterin, 2 Jahre		100.000
5 studentische Hilfskräfte		50.000
Zwischensumme Personal Betriebswirtschaft		<b>150.000</b>
Rechnerkosten		
2 Laptops für studentische Hilfskräfte		4.000
je 2 Bildschirme, Mäuse, Tastaturen		1.000
Zwischensumme Rechnerkosten Betriebswirtschaft		<b>5.000</b>
Reisekosten		
Reisen zu Partnern		6.000
2 Fachtagungen (EMAC, AMA) 2010		10.000
Reisekosten für Dritte		4.000
Zwischensumme Reisekosten Betriebswirtschaft		<b>20.000</b>
Aufträge an Dritte		
Beratungen zum Businessplan (juristisch, Steuern)		20.000
Businessplanseminar-Besuch		4.000
Zwischensumme Aufträge an Dritte Betriebswirtschaft		<b>24.000</b>
Zusatzkosten		
Incentives für Interviewteilnehmer		1.000
Bewirtungskosten		1.000
Zwischensumme Zusatzkosten Betriebswirtschaft		<b>2.000</b>
<b>Gemeinsame Kosten</b>		
Allgemeine Verwaltungskosten		50.000

Literatur	500
Zwischensumme Gemeinsame Kosten	<b>50.500</b>
<b>GESAMTKOSTEN</b>	<b>1.681.000</b>

## Literaturverzeichnis

- Bechmann, A. (1978): Nutzwertanalyse. Bewertungstheorie und Planung, Beiträge zur Wirtschaftspolitik Nr. 29, Bern.
- Bmwi (2008a): Entwicklung von Energiepreisen und Preisindizes, veröffentlicht im Internet, <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/Binaer/Energiedaten/energiepreise-und-energiekosten1-entwicklung-energiepreise-preisindizes.property=blob,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.xls>.
- Bmwi (2008b): EWI/Prognos-Studie. Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030, veröffentlicht im Internet, [http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/Dokumentationen/ewi-prognos\\_E2\\_80\\_93studie-entwicklung-der-energiemaerkte-545.property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf](http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/Dokumentationen/ewi-prognos_E2_80_93studie-entwicklung-der-energiemaerkte-545.property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf).
- Brandenburg, F. (2002): Methodik zur Planung technologischer Produktinnovationen, Aachen.
- Cervantes, M. et al. (2003): Method and apparatus for non-contact measuring of metal bed parameters, US Patent No. 6,538,433 B1.
- Creativeengineers o.J.: Magnetic Flowmeters, veröffentlicht im Internet, [http://www.creativeengineers.com/flowmeters\\_brochure.pdf](http://www.creativeengineers.com/flowmeters_brochure.pdf), Abfrage 22.08.2008, 13:54.
- Eversheim, W.; Brandenburg, F.; Breuer, T.; Hilgers, M.; Rosier, C. (2003a): Die InnovationRoadMap-Methodik, in: Eversheim, W. (Hrsg.): Innovationsmanagement für technische Produkte, Berlin, S. 27-131.
- Eversheim, W.; Breuer, T.; Grawatsch, M.; Hilgers, M.; Knoche, M.; Rosier, C.; Schöning, S.; Spielberg, D.E. (2003b): Methodenbeschreibung, in: Eversheim, W. (Hrsg.): Innovationsmanagement für technische Produkte, Berlin, S. 133-231.
- Julius, E.; Haubrich, H. (1994): Strömungsmesseinrichtung, Offenlegungsschrift DE 4316344 A1.
- Karcher, Ch.; Schreiber, H.; Kolesnikov, Y. (2005): Magneto-hydrodynamische Anwendungen bei der Aluminiumherstellung, in: Proceedings Int. Workshop on Electroheat, Ilmenau.
- Karcher Ch., Y. Kolesnikov, A. Thess (2007a): Anordnung und Verfahren zum elektromagnetischen Dosieren elektrisch leitfähiger Substanzen, Patent, eingereicht.
- Karcher, Ch.; Kolesnikov, Y.; Minchenya, V.; Thess, A. (2007b): Industrielle Durchflussmessung in Aluminiumschmelzenströmungen mittels Lorentzkraft-Anemometrie, in: Proceedings of the International Workshop on Induction Melting and Electromagnetic Control of Melt-Flow, Ilmenau, pp. 10-26.
- Kawabe, R. (1982): Electromagnetic flowmeter for liquid metal, Japanese Patent No. 57199917 A.
- Knaak, J. (1985): Induktives Sonden-Durchflussmeßsystem, Offenlegungsschrift DE 3347190 A1.
- Masafumi, M. et al. (1995): Electromagnetic flow velocity sensor for molten metal and flow velocity measuring apparatus as well as flow velocity measuring method using it, Japanese Patent No. 07181195 A.
- Meffert, H. (2000): Marketing. Grundlagen marktorientierter Unternehmensführung, 9. Auflage, Wiesbaden.
- Nagel, K.; Stark, H. (2001): Marketing und Management, 3. Auflage, Bad Wörishofen.
- o.V. o.J.: Marktdaten des Deutschen Gießereiverbandes, veröffentlicht im Internet, <http://www.dgv.de>.
- o.V. 2008: Brancheninfo: Glasindustrie. Jahresbericht 2007 mit Ausblick 2008, veröffentlicht im Internet, [http://www.igbce.de/portal/binary/com.epicentric.contentmanagement.servlet.ContentDeliveryServlet/site\\_www.igbce.de/static\\_files/PDF-Dokumente/Branchen/452dbc5d25a00e03f16955cbe5bf21ca.pdf](http://www.igbce.de/portal/binary/com.epicentric.contentmanagement.servlet.ContentDeliveryServlet/site_www.igbce.de/static_files/PDF-Dokumente/Branchen/452dbc5d25a00e03f16955cbe5bf21ca.pdf).
- Pleschak, F.; Sabisch, H. (1996): Innovationsmanagement, Stuttgart.
- Postler o.J.: Aluminium in Zahlen, veröffentlicht im Internet, <http://www.aluinfo.de/index.php/statistiken.html>.
- Preuschhoff, B. (2007): RWI: Stahlproduktion 2007 und 2008 etwas über Niveau von 2006, veröffentlicht im Internet, <http://www.finanznachrichten.de/nachrichten-2007-04/artikel-8018068.asp>.
- Schmoch, U. (2003): Hochschulforschung und Industrieforschung. Perspektiven der Interaktion, Campus Forschung Bd. 858, Frankfurt/Main.
- Shercliff J.A. (1962): The theory of electromagnetic flow measurement; Cambridge University Press, Cambridge.
- Stefani, F. et al. (2000): Verfahren und Anordnung zur Bestimmung von räumlichen Geschwindigkeitsverteilungen in nicht-kugelförmigen elektrisch leitfähigen Flüssigkeiten, Patentschrift DE 10026052 B4.
- Thess, A. et al. (1999): Verfahren und Anordnung zur Bestimmung von räumlichen Geschwindigkeitsverteilungen in elektrisch leitfähigen Flüssigkeiten, Patentschrift DE 19922311 C2.
- Thess, A.; Kolesnikov, Y.; Karcher, Ch. (2005): Verfahren und Anordnung zur berührungslosen Inspektion bewegter elektrisch leitfähiger Substanzen; Patentanmeldung WO2007-035982.
- Thess, A.; Votyakov, E.; Kolesnikov, Y. (2006): Lorentz Force Velocimetry; Phys. Rev. Lett., vol. 96, 164501.
- Thess, A.; Votyakov, E.; Knaepen, B.; Zikanov, O. (2007a): Theory of the Lorentz force flowmeter, New J. Phys, vol. 9, 299.
- Thess, A.; Kolesnikov, Y.; Karcher, Ch.; Votyakov, E. (2007b): [www.thueringen.de/de/tkm/wissenschaft/forschung/forschungspreis/2006/angewandte\\_forschung\\_1/content.html](http://www.thueringen.de/de/tkm/wissenschaft/forschung/forschungspreis/2006/angewandte_forschung_1/content.html).
- Wener o.J.: Metallgießereien: Produktion und Umsatz bleiben auf Rekordniveau, veröffentlicht im Internet, <http://www.aluinfo.de/index.php/gda-news-de/items/metallgiessereien-produktion-und-umsatz-bleiben-auf-rekordniveau.html>.

Unterschrift (im Namen beider Antragsteller)