

Erstellung eines Konzepts zur Entwicklung der „Dienstleistung Schmierung“ zur Maximierung der Anlagenlebensdauer auf Basis von ionischen Flüssigkeiten als Spezialschmiermittel

M. Kotschan

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**5/2007**

## **Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

# Erstellung eines Konzepts zur Entwicklung der „Dienstleistung Schmierung“ zur Maximierung der Anlagenlebensdauer auf Basis von ionischen Flüssigkeiten als Spezialschmiermittel

DI Dr. Michael Kotschan MBA  
Mag. Roland Kalb, Stefan Pecharda  
proionic Production of Ionic Substances GmbH

Mag. Dr. Wolfgang Staber MBA, Ing. Christian Lackner  
Montanuniversität Leoben

Leoben, Dezember 2006

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



## Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT. Sie wurde im Jahr 2000 vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften als mehrjährige Forschungs- und Technologieinitiative gestartet. Mit der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT sollen durch Forschung und Technologieentwicklung innovative Technologiesprünge mit hohem Marktpotential initiiert und realisiert werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements und der großen Kooperationsbereitschaft der beteiligten Forschungseinrichtungen und Betriebe konnten bereits richtungsweisende und auch international anerkannte Ergebnisse erzielt werden. Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt über den hohen Erwartungen und ist eine gute Grundlage für erfolgreiche Umsetzungsstrategien. Anfragen bezüglich internationaler Kooperationen bestätigen die in FABRIK DER ZUKUNFT verfolgte Strategie.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse – seien es Grundlagenarbeiten, Konzepte oder Technologieentwicklungen – erfolgreich umzusetzen und zu verbreiten. Dies soll nach Möglichkeit durch konkrete Demonstrationsprojekte unterstützt werden. Deshalb ist es auch ein spezielles Anliegen die aktuellen Ergebnisse der interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Homepage [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at) und die Schriftenreihe gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula  
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie



## Inhaltsverzeichnis

	<b>Seite</b>
<b>1 KURZFASSUNG UND ABSTRACT .....</b>	<b>5</b>
1.1 Kurzfassung .....	5
1.2 Abstract .....	7
<b>2 EINLEITUNG.....</b>	<b>9</b>
<b>3 ZIELE DES PROJEKTES .....</b>	<b>10</b>
<b>4 INHALTE UND ERGEBNISSE .....</b>	<b>11</b>
4.1 Verwendete Methoden .....	11
4.2 Anforderungen an den Schmierstoff.....	11
4.2.1 Kurzfassung einiger DIN Normen.....	12
4.3 Recherche: Telefoninterviews .....	13
4.3.1 Fragen beim Telefoninterview .....	13
4.3.2 Zusammenfassung der Antworten.....	14
4.4 Recherche: Fragebogen.....	15
4.4.1 Inhalt des Fragebogens.....	16
4.4.2 Zusammenfassung der Antworten.....	18
4.5 Recherche: Kontrollbefragung.....	20
4.5.1 Zusammenfassung der Kontrollbefragung .....	21
4.6 Auswirkung Ionischer Flüssigkeiten auf Umwelt und Mensch.....	23
4.7 Innovationsgehalt der Dienstleistung Schmierung .....	27
4.8 Projektergebnisse.....	28
<b>5 DETAILANGABEN IN BEZUG AUF DIE ZIELE DER PROGRAMMLINIE .....</b>	<b>32</b>
<b>6 SCHLUSSFOLGERUNGEN ZU DEN PROJEKTERGEBNISSEN.....</b>	<b>34</b>
<b>7 AUSBLICK UND EMPFEHLUNGEN .....</b>	<b>35</b>
<b>8 VERZEICHNISSE .....</b>	<b>36</b>
8.1 Literatur .....	36
8.2 Tabellen.....	38
8.3 Abbildungsverzeichnis.....	38
<b>9 ANHANG.....</b>	<b>39</b>
9.1 Weiterführende Literatur.....	39



# 1 Kurzfassung und Abstract

## 1.1 Kurzfassung

Aus Vorgesprächen mit potentiellen Anwendern der Dienstleistung Schmierung, dem Anlagen- und Maschinenbau, wurde einerseits der Bedarf an einer derartigen Dienstleistung abgeleitet und andererseits das wirtschaftliche und ökologische Einsparungspotential erkannt. Die Dienstleistung Schmierung setzt sich aus den Teilschritten Definition des Schmierproblems, Entwicklung des Lösungs-Konzeptes, Bereitstellung Schmiermittel, Durchführung der Schmierung, Ersatz, Rücknahme und Entsorgung der Schmiermittel zusammen.

Abbildung 1: Prozess der Dienstleistung Schmierung



Die Ziele des Projektes sind die Erhebung und Strukturierung der Anforderungen von Maschinen- und Anlagenbauern an die „Dienstleistung Schmierung“ sowie daraus abgeleitet die Definition, Überprüfung der Machbarkeit und Konzeption dieser Dienstleistung in Form einer engen Kooperation mit dem Kunden.

Im Projekt wurde untersucht, wie die konkrete Zusammenarbeit im Bereich der Dienstleistung Schmierung mit Industriepartnern zu definieren ist. Im ersten Schritt wurden Telefoninterviews mit Herstellern von Maschinen und Anlagen geführt. Im zweiten Schritt wurde aufbauend auf dem ersten Schritt ein Fragebogen erstellt und an weitere potentielle Kunden gesandt. Im Dritten Schritt erfolgte die Überprüfung der Ergebnisse der bisherigen Evaluierung.

Vorteile gegenüber dem derzeitigen Stand der Technik ergeben sich unter anderem aus dem Ersatz von klassischen, auf Mineralöl basierenden, durch auf Naturstoffen basierende ionische Schmiermittel und dem damit zusammenhängenden Ziel einer massiven Verlängerung der Lebensdauer von technischen Maschinen und Anlagen. Diese Vorteile spiegeln sich in einer massiven Reduzierung des Ressourceneinsatzes und somit in einer Steigerung der Nachhaltigkeit wieder.

Hersteller und Händler von derzeit marktüblichen Schmiermitteln bieten gegenwärtig Einzel-Dienstleistungen in Form von mechanischen und physikalischen Untersuchungen wie z.B. Reibkoeffizient, Geräuschklasse, Korrosionsgrad, Oxidationsbeständigkeit, Viskosität, IR-Analyse an. Ausgangspunkt weiterer, marginaler Optimierungen ist der Stand der Technik

bei (auf Erdöl basierenden) Schmiermitteln. Diese Dienstleistungen werden auch für Schadensanalysen angeboten, nicht jedoch für die Entwicklung von neuen, auf die Anwendung maßgeschneiderten Schmiermittelkonzepten oder Schmiermittel.

Der Stand der Technik wird durch auf mineralischen Grundölen basierende, molekulare Schmiermittel mit all ihren Beschränkungen definiert. Grundöle fallen im Zuge der Raffination von Erdöl an und werden durch Additivierung mit synthetischen Stoffen zu Schmiermitteln veredelt. In reiner Form sind mineralische Grundöle als Schmiermittel nicht geeignet, da diese die erwünschten Eigenschaften nicht oder nicht in ausreichendem Maße besitzen. Diese Schmiermittel werden seit langer Zeit erforscht und weiter entwickelt, es sind keine Innovationssprünge zu erwarten.

In vielen Anwendungen stoßen klassische Schmiermittel derzeit an die Grenzen des technisch Möglichen, oft müssen Limitationen der Haltbarkeit technischer Systeme und somit eine geringe Ressourceneffizienz aufgrund einer Nichtverfügbarkeit von alternativen Schmierkonzepten und Dienstleistungen in Kauf genommen werden.

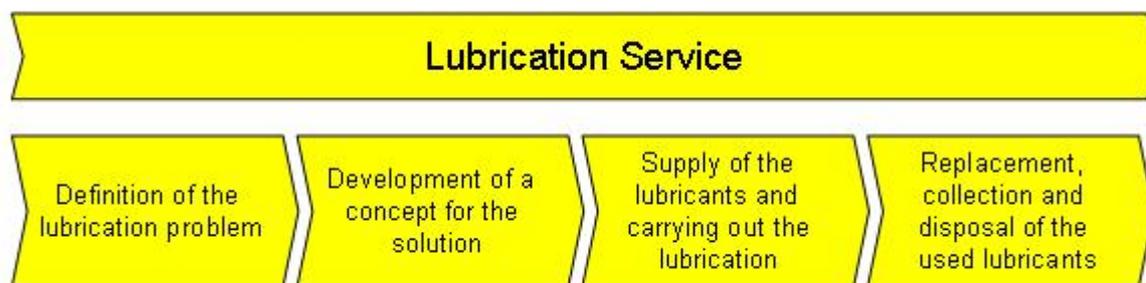
Kunden benötigen anwendungsorientierte Lösungen für ihre spezifischen Anforderungen. Klassische Schmiermittelprodukte und Dienstleistungen in Form von reiner Schmiermittel-Auftragsanalytik machen hier nur einen Teil der vom Kunden geforderten Lösung aus – die „Dienstleistung Schmierung“ ist das geeignete Instrument zur Erfüllung der ganzheitlichen Kundenanforderungen. Mit Hilfe dieser Dienstleistung Schmierung kann das Kundenziel, die Lebensdauer und Effizienz der hergestellten Anlagen und Maschinen und somit deren Ressourceneffizienz zu maximieren sowie die Umwelteinflüsse zu minimieren, erreicht werden.

Die Vorteile der Dienstleistung Schmierung liegen in der völlig neuartigen Zielsetzung, eine anwendungsorientierte Dienstleistung im Bereich Schmiermittel mit dem Einsatz einer bisher in diesem Zusammenhang nicht erforschten Substanzklasse der ionischen Flüssigkeiten zu entwickeln. Ein Grundkonzept dieser anwendungsorientierten Dienstleistung ist die Konzentration auf die zu lösende technisch/wirtschaftliche Aufgabe der Schmierung und nicht wie bisher die Konzentration auf Standard-Schmiermittel, an welche sich die technische Anlage anzupassen hat.

## 1.2 Abstract

From preliminary talks with potential users of the lubrication service, the mechanical engineers, both the need for such a service and the economical and ecological saving potential were recognized. The lubrication service consists of the steps definition of the lubrication problem, development of the approach, supply of lubricant, actual lubrication, replacement and disposal of the lubricants.

Abbildung 2: Lubrication Service



The goals of the project are the collection and structuring of the requirements of the machine and plant makers for the "lubrication service" as well as in the second step, the definition, investigation of feasibility, and the creation of a concept for this service – in close cooperation with the customer.

In the project we examined how co-operation in the area of the lubrication service is to be defined for industrial partners. The first step were telephone interviews with manufacturers of machines. In the second step based on the results from the first step, a questionnaire was created and sent to further potential customers. The results of both were examined in the third step.

Advantages over the present situation result from the replacement of classical lubricants, which are based on mineral oil, by new ionic lubricants based on natural substances, and resulting from this, a substantial extension of the life of machines and plants. These advantages lead to a substantial reduction of resources consumption and thus an increase of the sustainability of the operation/plant.

Manufacturers and dealers of currently available lubricants offer services in the form of mechanical and physical investigations of, for example, coefficient of friction, noise class, corrosion degree, oxidation stability, viscosity, IR analyses. Starting point of further, marginal optimizations is the state of the art with lubricants which are based on oil. These services are offered also for damage analyses, however not for the development of new lubricant concepts or lubricants custom-made for individual applications.

The "state of the art" is defined through mineral basic oils, which are molecular lubricants with all their limitations. Basic oils result in the course of refining petroleum and are improved and made into lubricants by the addition of synthetic materials. In their pure form mineral

basic oils are not suitable as lubricants, because they do not have the desired characteristics or do not have them to the desired measure. Research has been carried out for a long time on these lubricants and development continues, but there are no innovation jumps to be expected.

In many applications classical lubricants have now reached the limits of the technically possible. Often the unavailability of alternative lubrication concepts and services puts limits on the life of technical systems and results in lower resources efficiency.

Customers would like application-orientated solutions for their specific requirements. Common lubricant products and the services offered, which consist of just lubricant analysis, are only one part of the solution demanded by the customer. The "lubrication service" is the suitable instrument for the fulfilment of holistic customer requirements. With the help of this service, it is possible to achieve the customer goal: maximizing the life and efficiency of the manufactured plants and machines and thus their resources efficiency, and at the same time the negative environmental influences are minimized.

The advantages of the project result from a completely new objective: to develop an application-orientated service for lubricants, using a substance class which has not yet been investigated in this context, the so-called ionic liquids. A basic concept of this application-orientated service is the concentration on solving the technical/economical task of lubrication and not, as has been the case until now, the concentration on standard lubricants, to which the technical plant has to adapt.

## 2 Einleitung

Im Bereich der Schmierstoffe auf Basis von mineralischen Ölen sind keine großen Innovationssprünge mehr zu erwarten. Eine neue Klasse an Substanzen, so genannte Ionische Flüssigkeiten, haben neben tribologischen noch weitere viel versprechende Eigenschaften, wie einen sehr geringen Dampfdruck - die daraus resultierende Unbrennbarkeit und sehr hohe Zersetzungstemperaturen. Diese Flüssigkeiten zeigen im Bereich der Schmiermittel großes Potential.

Aus Vorgesprächen mit potentiellen Anwendern der Dienstleistung Schmierung, dem Anlagen- und Maschinenbau, wurde einerseits der Bedarf an einer umfassenderen Dienstleistung anstatt der bloßen Bereitstellung des Schmiermittels abgeleitet und andererseits das wirtschaftliche und ökologische Einsparungspotential erkannt.

Vorarbeiten zu dieser Entwicklung wurden sowohl im Bereich einer ersten gedanklichen Konzeptionierung der Dienstleistung Schmierung im Zuge zahlreicher Industriekontakte als auch im Bereich der Entwicklung einer technischen Lösung für ein konkretes Schmierproblem in Form einer bereits dienstleistungsähnlichen Arbeit geleistet.

Die Dienstleistung Schmierung setzt sich aus den Teilschritten Definition des Schmierproblems, Entwicklung des Lösungs-Konzeptes, Bereitstellung Schmiermittel, Durchführung der Schmierung, Ersatz, Rücknahme und Entsorgung der Schmiermittel zusammen.

Die Ziele des Projektes sind die Erhebung und Strukturierung der Anforderungen von Maschinen- und Anlagenbauern an die „Dienstleistung Schmierung“ sowie daraus abgeleitet die Definition, Überprüfung der Machbarkeit und Konzeption dieser Dienstleistung in Form einer engen Kooperation mit dem Kunden.

Im Projekt wurde untersucht, wie die konkrete Zusammenarbeit im Bereich der Dienstleistung Schmierung mit Industriepartnern zu definieren ist. Im ersten Schritt wurden Telefoninterviews mit Herstellern von Vakuumpumpen geführt. Im zweiten Schritt wurde aufbauend auf dem ersten Schritt ein Fragebogen erstellt und an weitere potentielle Kunden gesandt. Im Dritten Schritt erfolgte die Überprüfung der Ergebnisse der bisherigen Evaluierung.

Die angestrebten Ergebnisse der Programmlinie Fabrik der Zukunft, innovative Technologiesprünge mit hohem Marktpotential zu initiieren und zu realisieren werden mit der Entwicklung der Dienstleistung Schmierung erfüllt. Sowohl die Entwicklung des Konzeptes der Dienstleistung Schmierung als auch die Verwendung der neuen Substanzklasse Ionische Flüssigkeiten stellen echte Innovationssprünge dar.

Der Endbericht ist entsprechend den „Hinweisen zur Berichtslegung und projektbezogenen Öffentlichkeitsarbeit“, Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften, Version November 2005, in der geforderten Struktur mit den entsprechenden Kapiteln gegliedert. Der Aufbau dieses Endberichtes ist aus dem Inhaltsverzeichnis ersichtlich.

### 3 Ziele des Projektes

Die Ziele des Projektes liegen in der Erhebung und Strukturierung der Anforderungen von Maschinen- und Anlagenbauern an den Prozess der „Dienstleistung Schmierung“ sowie daraus abgeleitet in der Definition, Überprüfung der Machbarkeit und Konzeption dieser Dienstleistung mit dem Ergebnis, neue Kooperationsformen zu finden. Diese Kooperation basiert auf den Bedürfnissen der Kunden, die Lebensdauer und Effizienz von technischen Systemen zu maximieren und somit den Ressourceneinsatz und Umweltverbrauch zu minimieren. Es werden detailliert die einzelnen Aspekte der Dienstleistung definiert sowie der Prozess der Dienstleistung Schmierung beschrieben und validiert.

Im vorliegenden Projekt wurden durch gezielte Experteninterviews und Recherchen die Anforderungen von Maschinen- und Anlagenbauern an die „Dienstleistung Schmierung“ erhoben. Folgende Anforderungen wurden hier unter anderem erwartet:

- Organisatorische Anforderungen an den Prozess der Dienstleistung: Art der Bereitstellung der Dienstleistung
- Rechtliche Anforderungen: Geheimhaltung, Schutzrechte, Gewährleistung, Entsorgung Schmiermittel
- Anforderungen an Umweltverträglichkeit, Arbeitssicherheit und Ressourceneffizienz
- Technische Anforderungen: Metall- und Dichtungswerkstoffpaarungen und Verträglichkeiten, chemische und physikalische Anforderungen
- Wirtschaftliche Anforderungen: Kosten der „Dienstleistung Schmierung“ bestehend aus Einsparungspotential infolge Lebensdauererlängerung, Dienstleistung Analyse und Lösung Schmierproblem, Kosten Schmiermittel (Entwicklung und Herstellung Schmiermittel) und Durchführung Schmierung

Im Projekt wurden der Stand der Technik bezüglich herkömmlicher Schmiermittel (konventionelle und Spezialschmiermittel) sowie die Entwicklungsgrenzen der etablierten Schmiermittel-Branche recherchiert und basierend auf diesen Daten das Lösungskonzept für eine „Dienstleistung Schmierung“ erarbeitet. Die Ziele des Projektes konnten erreicht werden, die Einschätzung über einen Bedarf des Marktes an einer Dienstleistung Schmierung ist zutreffend.

## 4 Inhalte und Ergebnisse

### 4.1 Verwendete Methoden

Der Bedarf an einer Dienstleistung Schmierung wurde bereits in vielen Gesprächen mit Maschinen- und Anlagenbauern konkretisiert. Wie diese Dienstleistung jedoch zu verstehen und zu definieren ist, wurde im vorliegenden Projekt erarbeitet.

Die Methodik zur Erreichung des Zieles der Entwicklung der Dienstleistung Schmierung ist:

- Detaillierte Erhebung und Recherche der Anforderungen von Maschinen- und Anlagenbauern an die Dienstleistung Schmierung.
- Recherche in einschlägigen, wissenschaftlichen Datenbanken.
- Im Sinne der Nachhaltigkeit wird die Verwendung von in großen Mengen verfügbaren natürlichen Ausgangsstoffen zur Synthese der Ionischen Schmiermittel angestrebt.
- Der Antragsteller verfügt sowohl über die Kompetenz zur Erstellung von (organisatorischen) Prozessen und Dienstleistungen als auch über die Kompetenz auf dem Gebiet des Maschinen- und Anlagenbaues und der Ionischen Flüssigkeiten.

### 4.2 Anforderungen an den Schmierstoff

Da bislang keine Dienstleistung Schmierung existiert, konnte hierzu auch kein Stand der Technik recherchiert werden. Der Stand der Technik bezüglich Schmiermittel ist in zahlreichen Publikationen und Normen veröffentlicht, diese Anforderungen an den Schmierstoff werden nachstehend dargestellt.

Die folgende Tabelle zeigt die von Möller, Bartz und Mang beschriebene Schnittmenge der Eigenschaften an, die von einem Schmierstoff sowohl bei Kugellagern als auch bei Zahnradgetrieben und diversen Pumpen allgemein erfüllt werden soll [1, 2, 3, 4].

Tabelle 1: Anforderungen an den Schmierstoff

Anwendungen	Eigenschaften
Bei Zahnradgetrieben, Kugellagern und diversen Pumpen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Langzeitgebrauchsfähigkeit</li> <li>- Wärmeabfuhr möglich</li> <li>- Korrosionsschutz und Oxidationsschutz</li> <li>- Verträglichkeit mit anderen Bauteilen (v.a. Dichtungswerkstoffe)</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"><li>- Hochtemperaturbeständigkeit (bis 200°C)</li><li>- Lasttragevermögen (Lastaufnahmevermögen) d.h. Ausbildung</li><li>- einer tribo-aktiven Schicht unter allen Betriebsbedingungen</li><li>- Kältefließvermögen (bis -30°C)</li><li>- Schaumverhütung (v.a. bei Tauchschmierung)</li></ul>
--	--

Es gilt jedoch jede einzelne Schmierproblemstellung gesondert zu betrachten und die für den jeweiligen Fall spezifischen Eigenschaften zu definieren, die dann nicht exakt diesen allgemein gewünschten Eigenschaften entsprechen müssen.

#### 4.2.1 Kurzfassung einiger DIN Normen

Die Anforderungen an Schmierstoffqualitäten für Kugellager, Getriebe und Pumpen sind im Wesentlichen in DIN-Normen beschrieben [1]. Internationale Spezifikationen Lieferbedingungen von Verbänden und Firmen sowie Behördenanforderungen spielen nur eine untergeordnete Rolle. Einige Normen für Schmieröle sind im folgenden Teil angeführt:

DIN 51 501: reine Mineralöle ohne Wirkstoffe, die bis etwa 50°C einsetzbar sind. Das Lasttragevermögen hängt nur von der Viskosität ab.

DIN 51 517: Schmieröle C, CL und CLP haben längere Schmierfristen.

Schmieröle C nach Teil 1 der Norm sind altersbeständige Mineralöle (i.a. Solventraffinate) ohne Wirkstoffzusätze für die Umlaufschmierung.

Schmieröle CL nach Teil 2 der Norm enthalten Wirkstoffe zur Verbesserung des Korrosionsschutzes und der Alterungsbeständigkeit. Sie werden für höhere Temperaturen und bei Korrosionsgefahr bei der Umlaufschmierung eingesetzt.

Schmieröle CLP nach Teil 3 der Norm. Es sind neben Korrosionsschutz- und Alterungsschutzwirkstoffen auch EP-Additive zum Herabsetzen des Verschleißes im Mischreibungsgebiet hinzugefügt.

Schmierfette:

Schmierfette sind in der Norm DIN 51 825 als „Schmierfette K“ beschrieben. Diese und andere Schmierfette sind durch eine Serie von Buchstaben und Ziffern nach den Vorschriften von DIN 51 502 codiert.

### 4.3 Recherche: Telefoninterviews

In einer ersten Rechercherunde wurden im Zuge der Erstellung des Konzeptes Dienstleistung Schmierung 18 Firmen aus der Vakuumpumpen-, Getriebe- und Kugellagerbranche mehrmals telefonisch kontaktiert. Auf diese Weise wurden sowohl die Fragen, als auch die Antworten iterativ verfeinert und konkretisiert.

In folgender Liste sind jene Firmen angeführt, mit welchen ausführlicher Kontakt gehalten wurde.

Tabelle 2: Firmenliste Telefoninterviews

Firma	Anschrift
Pfeiffer Vacuum GmbH	Berliner Str. 43, D-35614 Asslar
VAT Vakuumventile AG	Seelistrasse, CH-9469 Haag
MAN Nutzfahrzeuge Vertrieb Süd AG	Brunner Straße 44, A-1230 Wien
Gebrüder Becker GmbH	Hölker Feld 29-31, D-42279 Wuppertal
Aerzener Maschinenfabrik GmbH	Reherweg 28, D-31855 Aerzen
Kaeser Kompressoren GmbH	Carl-Kaeser-Strasse 26, D-96410 Coburg
Nash Elmo GmbH	Katzwanger Str.150, D-90461 Nürnberg
Magna Powertrain AG & Co KG	Industriestraße 35, A-8502 Lannach
Leybold Vakuum GmbH	Bonner Strasse 498, D-50968 Cologne
ZF Friedrichshafen AG	Graf-von-Soden-Platz 1, D-88046 Friedrichshafen
SKF Österreich AG	Seitenstettner Straße 15, A-4401 Steyr

#### 4.3.1 Fragen beim Telefoninterview

Bei den Telefoninterviews wurden in erster Linie die folgenden vier Fragen gestellt:

- Welche Verbesserungswünsche haben Sie in Bezug auf den Schmierstoff?
- Welche Materialien treffen bei den von Ihnen geschmierten Maschinen aufeinander?
- In welcher Form können sie sich eine Forschungskoooperation vorstellen?
- Welche Vertragsfragen, Haftungsfragen, Patentfragen usw. sind dabei zu klären?

Die ersten beiden Fragen wurden gewählt um mit den interviewten Personen einen „bekannteren“ Einstieg in das Thema Schmierung zu finden und erste Erkenntnisse über den ersten Punkt der Dienstleistung Schmierung „Definition des Schmierproblems“ zu erlangen. Dies erfolgte mit dem Gedanken, die Ansprechpartner mit dem neuen Konzept einer Dienstleistung Schmierung weder zu verwirren noch zu beeinflussen. Die dritte und vierte Frage beziehen sich auf den zweiten Punkt der Dienstleistung Schmierung „Entwicklung des Lösungs-Konzepts“ und dienten dazu, den momentan üblichen Ablauf aus der Praxis herausfinden.

### 4.3.2 Zusammenfassung der Antworten

Es wurden folgende Anforderungen und Verbesserungswünsche an den Schmierstoff genannt (aller Branchen gemischt):

- kein Dampfdruck,
- temperaturbeständig über einen großen Bereich (-40 bis +180°C),
- hohe Wärmekapazität,
- optimale Schmiereigenschaften,
- dürfen die Materialien nicht angreifen
- resistent gegen Wasser
- optimaler Reibwert

Folgende Materialien wurden genannt:

- Keramik (in bestimmten Kugellagern)
- Verschiedene Kunststoffe und Elastomere (v.a. bei Dichtungen)
- Verschiedene Werkstähle und Buntmetalle

Um detailliertere Angaben zu Verbesserungen und Materialien zu bekommen, müsste ein konkretes Ziel, wie eine Entwicklungszusammenarbeit geplant sein. Weiter detaillierte technische Informationen sind zumeist auch nur nach Unterzeichnung einer Geheimhaltungsvereinbarung zu erhalten.

#### Forschungskooperation:

Jene Firmen, die Forschung betreiben und damit für die Dienstleistung Schmiermittel interessant sind, können sich vorstellen zuerst Materialtests (wie Beständigkeitstests) zu machen und anschließend eine Maschine im Probetrieb mit einem neuen Schmiermittel testweise zu betreiben, wobei das Risiko die „Maschinenbaufirma“ trägt.

Bei einigen Maschinenbauern ist das auch die Art und Weise, wie diese mit herkömmlichen Schmiermittellieferanten entwickeln beziehungsweise zusammenarbeiten.

#### Vertragsfragen, Haftungsfragen, Patentfragen usw.:

Diese Punkte werden jeweils individuell verhandelt, hierzu waren keine pauschalen Aussagen möglich. Geheimhaltungsverträge sind bekannt oder üblich, Haftungs- und Patentfragen werden für jeden konkreten Fall eigens geregelt.

## 4.4 Recherche: Fragebogen

In der zweiten Runde erfolgte der Kontakt über die Aussendung von einem Fragebogen per E-Mail. Im Gegensatz zu den Telefoninterviews wurden hier mit Ausnahme des Ansprechpartners bei der Firma Leybold, nur Personen angeschrieben, die dem „Verbraucherkreis Industrie und Schmierung“, kurz VKIS angehören. Folgende acht Firmen haben den Fragebogen ausgefüllt:

Tabelle 3: Firmenliste Fragebogen

Firma	Anschrift
Knorr-Bremse AG	Moosacher Str. 80, D-80809 München
Federal Mogul Corporation	Stielstrasse 11, D-65201 Wiesbaden
Stihl AG	Badstraße 115, D-71336 Waiblingen
AB Volvo	SE-405 08 Göteborg
Boshrexroth AG	Maria-Theresien-Str. 23, D-97816 Lohr am Main
Adam Opel GmbH	Friedrich-Lutzmann-Ring, D-65423 Rüsselsheim
BMW AG	Heidemannstrasse 164, D-80788 München
Leybold Vakuum GmbH	Bonner Strasse 498, D-50968 Cologne

#### 4.4.1 Inhalt des Fragebogens

Der Fragebogen wurde mittels E-Mail versendet und ist so gestaltet, dass hauptsächlich JA/NEIN Fragen gestellt werden, die mit 1 für JA und 0 für NEIN beantwortet werden sollten. Einige der angeschriebenen Personen antworteten auch mit 0,5 was in die Auswertung aufgenommen wurde.

Die 1. Frage dient dazu, herauszufinden, wie der Schritt der ersten Kontaktaufnahme stattfinden soll. Dieser Schritt findet unmittelbar vor der „Definition des Schmierproblems“ statt und ist der Einstieg in eine Neuakquisition.

Die Fragen 2, 2a und 2b sollen herausfinden, wie das Schmierproblem definiert wird.

Der zweite Schritt der Dienstleistung Schmierung, die „Entwicklung des Lösungskonzepts“ wird durch die Fragen 3 und 3a erforscht.

Die 4. Frage ermittelt, wie der dritte und vierte Schritt der Dienstleistung Schmierung – die Dienstleistungsangebote „Durchführung der Schmierung“ und „Recycling und Entsorgung des Schmierstoffs“ angenommen werden.

Die „Bereitstellung des Schmierstoffs“, die auch Teil des dritten Schritts der Dienstleistung Schmierung ist wurde als selbstverständlich angenommen und nicht weiter hinterfragt.

Die Abschlussfrage validiert die vorhergehenden Antworten, im Bezug auf die Realisierung.

Abbildung 3: Fragebogen

1. Wollen Sie in dieser Form über neue Forschungsmöglichkeiten informiert werden:

- Homepage
- Prospekt
- Telefonanruf
- Vortrag/Präsentation auf einer Messe
- Vortrag/Präsentation in der eigenen Firma
- E-Mail
- anders, und zwar:

2. Formulieren Sie Ihre Ansprüche an den Schmierstoff in Form von?

- EIGENSCHAFTEN
- NORMEN
- eines bestehenden Schmierstoffs & zusätzlich gewünschte Eigenschaften
- anders, und zwar:

**2.a. Ist diese Eigenschaften für Sie BESONDERS wichtig?**

- Wärmeabfuhr möglich
- Lasttragevermögen d.h. tribo-aktive Schicht unter allen Betriebsbedingungen
- Langzeitgebrauchsfähigkeit
- Korrosions- und Oxidationsschutz
- Hochtemperaturbeständigkeit (bis 200°C)
- Kältefließvermögen (bis -30°C)
- Schaumverhütung
- Materialverträglichkeit mit Dichtungswerkstoffe
- Materialverträglichkeit mit folgendem:
- Folgende:

**2.b. !!! Nur ausfüllen, wenn Sie Ihre Ansprüche in Form von NORMEN formulieren !!!:  
Ist diese NORM für Sie BESONDERS wichtig?**

- DIN 51501 (reine Mineralöle bis 50°C einsetzbar)
- DIN 51517 C (altersbeständige Mineralöle ohne Wirkstoffzusätze)
- DIN 51517 CL (C + Korrosions- und Oxidationsinhibitoren)
- DIN 51517 CLP (wie CL + EP-Additive zum Herabsetzen d. Verschleißes)
- DIN 51524 (Hydrauliköle mit Korrosions- und Oxidationsinhibitoren)
- DIN 51825 (Schmierfette allg.)

**3. Läuft die Forschung, so wie in Punkten 1) bis 7) beschrieben bei Ihnen ab?**

- 1) Geheimhaltungserklärung nach dem persönlichen Informationsaustausch über den Schmierstoff und die Maschine/den Maschinenteil
- 2) Messung der gewünschten Eigenschaften des Schmierstoffs
- 3) Materialtests um Verträglichkeit Schmierstoff-Maschinenteile sicherzustellen
- 4) Pilotversuch an einer Testmaschine
- 5) Vorvertrag/Absichtserklärung aushandeln und unterschreiben
- 6) Praxistest mit bereitem Kunden
- 7) Vertrag aushandeln und unterschreiben

- JA, so läuft die Forschung ab
- NEIN, folgendes ist anders:

**3.a. Erwarten Sie folgenden Punkt von der Forschungseinrichtung?**

- Im Fall eines Patents, die Teilhabe an diesem
- Exklusivrechte gegenüber der Konkurrenz
- anderes, und zwar:

4. Würden Sie folgendes Angebot des Schmierstoffherstellers in Anspruch nehmen?

- Einschulung der Mitarbeiter auf den neuen Schmierstoff und dessen Besonderheiten
- Durchführung der Schmierung
- Recycling des Schmierstoffs
- Entsorgung des Schmierstoffs
- Folgendes:

Abschluss: Würden Sie in dieser Form, wie Sie jetzt Information, Anspruch, Forschung und weitere Angebote definiert haben, mit uns/einer Forschungseinrichtung zusammenarbeiten?

- JA
- NEIN

#### 4.4.2 Zusammenfassung der Antworten

Die Zahlen in den Tabellen geben auf ganze Prozent gerundet an, wie viele der 8 Personen diese Frage mit JA beantwortet haben. Zum Beispiel 3 von den 8 Personen wollen mittels Prospekt über neue Forschungsmöglichkeiten informiert werden, was gerundet 38 % entspricht.

1. Wollen Sie in dieser Form über neue Forschungsmöglichkeiten informiert werden:

Homepage	69 %
Prospekt	38 %
Telefonanruf	25 %
Vortrag/Präsentation auf einer Messe	25 %
Vortrag/Präsentation in der eigenen Firma	69 %
E-Mail	88 %
anders, und zwar	0 %

2. Formulieren Sie Ihre Ansprüche an den Schmierstoff in Form von?

Eigenschaften	88 %
Normen	44 %
eines bestehenden Schmierstoffs & zusätzlich gewünschte Eigenschaften	75 %
anders, und zwar	38 % bestimmte Substanzen sind verboten, verbrauchsreduziert, schwerentflammbar, biologisch abbaubar, Lebensmittelzulassung

2.a. Ist diese Eigenschaften für Sie BESONDERS wichtig?

Wärmeabfuhr möglich	50 %
Lasttragevermögen d.h. tribo-aktive Schicht unter allen Betriebsbedingungen	69 %
Langzeitgebrauchsfähigkeit	100 %
Korrosions- und Oxidationsschutz	75 %
Hochtemperaturbeständigkeit (bis 200°C)	38 %
Kältefließvermögen (bis -30°C)	63 %
Schaumverhütung	63 %
Materialverträglichkeit mit Dichtungswerkstoffe	88 %
Verträglichkeit mit folgenden Materialien (PU, NBR, FKM, Alu, Blei, Buntmetallen)	13 %
Folgende	25 % Schmutztragevermögen, Bioresistenz

2.b. !!! Nur ausfüllen, wenn Sie Ihre Ansprüche in Form von NORMEN formulieren !!!:  
Ist diese NORM für Sie BESONDERS wichtig?

Federal Mogul Corporation: alle angeführten Normen sind wichtig bei der Auswahl des Schmierstoffs:

- DIN 51501 (reine Mineralöle bis 50°C einsetzbar)
- DIN 51517 C (altersbeständige Mineralöle ohne Wirkstoffzusätze)
- DIN 51517 CL (C + Korrosions- und Oxidationsinhibitoren)
- DIN 51517 CLP (wie CL + EP-Additive zum Herabsetzen d. Verschleißes)
- DIN 51524 (Hydrauliköle mit Korrosions- und Oxidationsinhibitoren)
- DIN 51825 (Schmierfette allg.)

Adam Opel GmbH: zwei Normen sind besonders wichtig:

- DIN 51517 CLP (wie CL + EP-Additive zum Herabsetzen d. Verschleißes)
- DIN 51524 (Hydrauliköle mit Korrosions- und Oxidationsinhibitoren)

Boshrexroth AG: folgenden Normen sind besonders wichtig:

DIN 24320, ISO 12922, ISO 15380 und die VDMA Einheitsblätter aus dem 7. Luxenburger Bericht.

Alle anderen befragten Personen/Firmen definieren ihre Anforderungen an den Schmierstoff nicht mittels Normen.

3. Läuft die Forschung, so wie von Punkt 1) bis 7) beschrieben bei Ihnen ab?

- 1) Geheimhaltungserklärung nach dem persönlichen Informationsaustausch über den Schmierstoff und die Maschine/den Maschinenteil
- 2) Messung der gewünschten Eigenschaften des Schmierstoffs
- 3) Materialtests um Verträglichkeit Schmierstoff-Maschinenteile sicherzustellen
- 4) Pilotversuch an einer Testmaschine
- 5) Vorvertrag/Absichtserklärung aushandeln und unterschreiben

6) Praxistest mit bereitem Kunden

7) Vertrag aushandeln und unterschreiben

JA, so läuft die Forschung ab	62 %
NEIN, folgendes ist anders:	38 %
	- AB Volvo: Bei allen Punkten: "Manchmal ist das so und die Messungen werde alle bei und von Volvo durchgeführt." - Boschrexroth AG: Übereinstimmung nur mit den Punkten 2,3,4 und 6. - Adam Opel GmbH: Übereinstimmung nur mit den Punkten 1,2,3,4 und 6.

3.a. Erwarten Sie folgenden Punkt von der Forschungseinrichtung?

Im Fall eines Patents, die Teilhabe an diesem	19 %
Exklusivrechte gegenüber der Konkurrenz	38 %
anderes, und zwar:	0 %

4. Würden Sie folgendes Angebot des Schmierstoffherstellers in Anspruch nehmen?

Einschulung der Mitarbeiter auf den neuen Schmierstoff und dessen Besonderheiten	75 %
Durchführung der Schmierung	44 %
Recycling des Schmierstoffs	38 %
Entsorgung des Schmierstoffs	44 %
folgendes:	0 %

Abschluss:

Würden Sie in dieser Form, wie Sie jetzt Information, Anspruch, Forschung und weitere Angebote definiert haben, mit uns/einer Forschungseinrichtung zusammenarbeiten?

JA	88 %
NEIN	12 %

## 4.5 Recherche: Kontrollbefragung

Mit den vier interessantesten Personen/Firmen der Telefoninterviews, wurden die bisherigen Ergebnisse mit abschließenden Telefoninterviews beziehungsweise durch Zusenden und Auswerten des Fragebogens überprüft.

Tabelle 4: Firmenliste Kontrollbefragung

Firma	Anschrift
Pfeiffer Vacuum GmbH	Berliner Str. 43, D-35614 Asslar
General Motors Powertrain –Austria GmbH	Groß-Enzersdorfer Straße 59, A-1220 Wien
SKF Österreich AG	Seitenstettner Straße 15, A-4401 Steyr
Aerzener Maschinenfabrik GmbH	Reherweg 28, D-31855 Aerzen

#### 4.5.1 Zusammenfassung der Kontrollbefragung

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Kontrollbefragung zusammengefasst, die Angaben werden prozentuell dargestellt. Neben dem Ergebnis befindet sich in runder Klammer zum Vergleich jeweils der Wert der durch Auswertung der acht Fragebögen in der zweiten Rechercherunde erhalten wurde.

1. Wollen Sie in dieser Form über neue Forschungsmöglichkeiten informiert werden:

Homepage	50 % (69 %)
Prospekt	25 % (38 %)
Telefonanruf	50 % (25 %)
Vortrag/Präsentation auf einer Messe	0 % (25 %)
Vortrag/Präsentation in der eigenen Firma	25 % (69 %)
E-mail	100 % (88 %)
anders, und zwar	0 % (0 %)

2. Formulieren Sie Ihre Ansprüche an den Schmierstoff in Form von

Eigenschaften	100 % (88 %)
Normen	0 % (44 %)
eines bestehenden Schmierstoffs & zusätzlich gewünschte Eigenschaften	33 % (75 %)
anders, und zwar	0 % (38 %) bestimmte Substanzen sind verboten, verbrauchsreduziert, schwerentflammbar, biologisch abbaubar, Lebensmittelzulassung

2.a. Ist diese Eigenschaften für Sie BESONDERS wichtig?

Wärmeabfuhr möglich	100 % (50 %)
Lasttragevermögen d.h. tribo-aktive Schicht unter allen Betriebsbedingungen	100 % (69 %)
Langzeitgebrauchsfähigkeit	100 % (100 %)

Korrosions- und Oxidationsschutz	100 % (75 %)
Hochtemperaturbeständigkeit (bis 200°C)	33 % (38 %)
Kältefließvermögen (bis -30°C)	66 % (63 %)
Schaumverhütung	25 % (63 %)
Materialverträglichkeit mit Dichtungswerkstoffe	100 % (88 %)

2.b. Die Befragten definieren ihre Ansprüche an den Schmierstoff nicht mittels Normen.

3. Läuft die Forschung, so wie von Punkt 1) bis 7) beschrieben bei Ihnen ab?

- 1) Geheimhaltungserklärung nach dem persönlichen Informationsaustausch über den Schmierstoff und die Maschine/den Maschinenteil
- 2) Messung der gewünschten Eigenschaften des Schmierstoffs
- 3) Materialtests um Verträglichkeit Schmierstoff-Maschinenteile sicherzustellen
- 4) Pilotversuch an einer Testmaschine
- 5) Vorvertrag/Absichtserklärung aushandeln und unterschreiben
- 6) Praxistest mit bereitem Kunden
- 7) Vertrag aushandeln und unterschreiben

JA, so läuft die Forschung ab	100 % (62 %)
NEIN, folgendes ist anders:	0 % (38 %)

3.a. Erwarten Sie folgenden Punkt von der Forschungseinrichtung?

Im Fall eines Patents, die Teilhabe an diesem	* (19 %)
Exklusivrechte gegenüber der Konkurrenz	* (38 %)
anderes, und zwar:	* (0 %)

\* Aerzener Maschinenfabrik GmbH: diese Frage wird je nach Anteil des Einbringens geregelt wird. SKF Österreich AG: "Wie auch immer es im konkreten Fall aussieht, dieser Punkt wird schon bei der Geheimhaltung geklärt."

4. Würden Sie folgendes Angebot des Schmierstoffherstellers in Anspruch nehmen?

Einschulung der Mitarbeiter auf den neuen Schmierstoff und dessen Besonderheiten	75 % (75 %)
Durchführung der Schmierung	25 % (44 %)
Recycling des Schmierstoffs	25 % (38 %)
Entsorgung des Schmierstoffs	25 % (44 %)
folgendes:	0 % (0 %)

Abschluss:

Würden Sie in dieser Form, wie Sie jetzt Information, Anspruch, Forschung und weitere Angebote definiert haben, mit uns/einer Forschungseinrichtung zusammenarbeiten?

JA	100 % (88 %)
NEIN	0 % (12 %)

## 4.6 Auswirkung Ionischer Flüssigkeiten auf Umwelt und Mensch

Nachfolgend wird eine detaillierte Analyse der Auswirkungen von Ionischen Flüssigkeiten auf Umwelt und die menschliche Gesundheit dargelegt.

Ionische Flüssigkeiten sind Salze, bilden also Ionenpaare und Ionenagglomerate, die aus einem mehr oder minder lipophilen organischen Kation und einem anorganischen oder organischem Anion bestehen. Sie werden derzeit in vielen Bereichen der Forschung und industriellen Anwendung untersucht [5]. Einzelne Ionische Flüssigkeiten befinden sich bereits im Stadium der Zulassung nach der europäischen Chemikaliengesetzgebung, wenige sind bereits zugelassen wie z.B. 1-Ethyl-3-methylimidazolium Ethylsulfat.

Es ist wichtig, hier festzuhalten, dass eine Verallgemeinerung dieser Substanzklasse „Ionische Flüssigkeiten“ zu einer homogenen Gruppe an ähnlichen Substanzen, in welcher ähnliche Eigenschaften allen Vertretern dieser Substanzklasse zugeschrieben werden, nicht zulässig ist. Unter dem Begriff „Ionische Flüssigkeiten“ ist eine Vielzahl an unterschiedlichen Gruppen mit ebenso unterschiedlichen Eigenschaftsprofilen zu verstehen. Diese Eigenschaften unterscheiden sich in z.B. chemischer, physikalischer, toxikologischer Sicht.

Es liegen derzeit noch wenige Erkenntnisse über die Auswirkungen auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit vor. Dies ist derzeit ein intensiv beforschtes Thema.

Ionische Flüssigkeiten können beispielsweise gezielt aus toxikologisch unproblematischen Ionen hergestellt werden. Beispiele sind hier Acetat-, Lactat, Ascorbat und Gluconat-Ionen, also Anionen der konjugierten Säuren Essigsäure, Milchsäure, Vitamin-C und Gluconsäure, ebenso wie die gesamte Gruppe der konjugierte Anionen natürlicher Aminosäuren und Zuckersäuren.

Ebenso ist es möglich, toxikologisch problematische Ionen zu verwenden. Diese Ionischen Flüssigkeiten werden jedoch industriell maximal in Nischen eine Anwendung finden. Das Handling von neuen „giftigen“ Stoffen wird von der Industrie kaum angenommen werden. Der derzeitige Trend ist der Ersatz von giftigen Substanzen durch weniger giftige oder gänzlich ungiftige Stoffe.

Bezüglich der Prognosemöglichkeit der Wirkung von Ionischen Flüssigkeiten auf Umwelt und Mensch ist primär zwischen zwei Arten an Flüssigkeiten zu unterscheiden – die wasserlöslichen und die wasserunlöslichen.

Wasserlösliche Ionische Flüssigkeiten liegen in wässrigen Medien dissoziiert vor, d.h. sowohl das Anion als auch das Kation sind frei verfügbar. Sind nun bereits das Anion und das Kation als Teil anderer wasserlöslicher Verbindung untersucht worden, so kann aus den bekannten Toxikologien auf die Wirkung der neuen Ionischen Flüssigkeit rückgeschlossen werden. Dies erklärt sich folgendermaßen: würde man zwei wasserlösliche, toxikologisch untersuchte ionische Substanzen in Wasser lösen, welche einerseits das Kation und andererseits das Anion einer toxikologisch unbekanntem ionischen Flüssigkeit enthalten, so liegen die einzelnen Ionen dissoziiert vor – dies entspricht dann exakt den Ionen, welche auch in der wässrigen Lösung der Ionischen Flüssigkeit vorliegen. Somit ist eine Prognose der Toxizität auf dem Papier möglich. Für die Zulassung der Ionischen Flüssigkeit nach der Chemikaliengesetzgebung ist das entsprechende Verfahren mit einem vereinfachten Untersuchungsumfang zu durchlaufen.

Ist die Ionische Flüssigkeit nicht wasserlöslich, so ist eine Prognose der toxikologischen Eigenschaften nicht oder schwer möglich. Hier ist der volle Untersuchungsumfang zur Zulassung nach Chemikaliengesetzgebung durchzuführen.

Die Herausforderung liegt darin, trotz des geringen Wissenstandes über den Zusammenhang Struktur und Toxikologie, gezielt toxikologisch unbedenkliche Ionische Flüssigkeiten zu entwickeln. Dies erfolgt derzeit großteils über den Analogie-Vergleich mit toxikologisch bekannten Substanzen: Eine wässrige Lösung von z.B. 1-Butyl-3-methylimidazolium-lactat (Toxizität unbekannt) und Natriumchlorid (Toxizität bekannt) ist letztlich exakt dasselbe wie eine Lösung von 1-Butyl-3-methylimidazolium-chlorid (Toxizität bekannt) und Natriumlactat (Toxizität bekannt), so dass die in einer Zelle physiologisch wirksame wässrige Lösung von 1-Butyl-3-methylimidazolium-lactat in ihren toxikologischen Eigenschaften mit hoher Sicherheit vorausgesagt werden kann.

Die Wirkung Ionischer Flüssigkeiten wurden bislang hauptsächlich an aquatischen Organismen [6, 7, 8], aber kaum an Bodenorganismen [9], Säugerzellen oder subzellulären Systemen [6, 10] untersucht.

Die Erforschung beschränkte sich auch auf die Auswirkungen ausgewählter Ionischer Flüssigkeiten auf ausgewählte Lebewesen oder Zellen. Die Wirkmechanismen, welche die Ursache einer Toxizität erklären, sind bisher kaum untersucht und aufgeklärt worden.

An der Universität Bremen untersuchte Schmidt [11] auf Imidazolen basierende Ionische Flüssigkeiten, welche sich nur in der Länge der Alkyl-Seitenketten in der C3'-Position unterschieden, diese Seitenketten waren 4, 6, 8 oder 10 Kohlenstoff-Atome lang. Um Nebeneffekte durch das Anion auszuschließen, wurden nur Flüssigkeiten mit Tetrafluorborat-Anion untersucht. Die Ungiftigkeit dieses Anions für C6-Zellen wurde vorab mit Natriumtetrafluorborat bis zu Konzentrationen von 5000µM geprüft. Zwei untersuchte

Ionische Flüssigkeiten, 1-Butyl-3-methyl-imidazolium Tetrafluoroborat und 1-Hexyl-3-methyl-imidazolium Tetrafluoroborat, besitzen eine derart geringe toxikologische Wirkung, dass selbst 24-stündiger Behandlung bis zu Konzentrationen von 3000µM kein EC50-Wert erreicht wurde. Für die beiden anderen Flüssigkeiten wurde folgender EC50-Wert bestimmt: 1-Octyl-3-methyl-imidazolium Tetrafluoroborat: 350µM und 1-Decyl-3-methyl-imidazolium Tetrafluoroborat: 30µM. Bei der Untersuchung der Wirkmechanismen der beiden letztgenannten Flüssigkeiten wurde eine Depolarisierung der Mitochondrienmembran schon bei geringen Konzentrationen festgestellt.

Bernot [7] untersuchte den Einfluss von auf 1-Butyl-3-methyl-imidazolium Kationen basierenden Ionischen Flüssigkeiten mit unterschiedlichen Anionen (Br<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, PF<sub>6</sub><sup>-</sup>, BF<sub>4</sub><sup>-</sup>) auf Wasserflöhe. Vergleichend wurden hierzu die entsprechenden Natrium-Salze untersucht. Hierbei zeigten die Imidazolium-Kationen höhere Toxizität als Natrium, die Wirkung der getesteten Anionen schien gering zu sein. Die Ionischen Flüssigkeiten waren alle in etwa gleich toxisch, woraus der Schluss gezogen wurde, dass die Anionen die Toxizität des Imidazolium-Kations kaum beeinflussen.

An der Universität Bremen untersuchte Juffernholz [12] die Kombinationswirkung von Ionischen Flüssigkeiten und Kupfer auf Bodentiere. In der Einzelsubstanzuntersuchung zeigte 1-Octyl-3-methylimidazolium Tetrafluoroborat stärkere Effekte auf beide Bodenorganismen als 1-Butyl-3-methylimidazolium Tetrafluoroborat. Dies kann mit der Länge der Seitenkette in Zusammenhang stehen.

Ranke [6, 10, 13] fand ebenfalls einen Zusammenhang zwischen höherer Toxizität und längerer Alkylkettenlänge. Dies kann auf einer besseren Fettlöslichkeit der längeren Alkylketten beruhen.

Stepnowski [14] zeigte, dass Kationen mit langen Alkyl-Resten (ab 10 Kohlenstoffatomen) eine wesentlich höhere Toxizität aufweisen als diejenigen mit kurzen Alkyl-Resten. Allerdings hat auch das Anion einen merklichen Einfluss auf die Toxizität. Verglichen mit herkömmlichen organischen Lösemitteln wie Dichlormethan sind die untersuchten Schmelzen aber deutlich weniger toxisch.

An der Universität Rostock untersuchte Shefali [15] das Umweltverhalten Ionischer Flüssigkeiten. Der Effekt von einer ganzen Reihe von auf dem 1-Ethyl-3-methylimidazolium-Kation basierenden Flüssigkeiten auf Bodenmikroben, Abwassermikroben wurde untersucht und die Wachstumskurven betrachtet. Ebenso wurde die biologische Abbaubarkeit untersucht. Die getesteten Ionischen Flüssigkeiten zeigten nur in höheren Konzentrationen einen antimikrobiellen Effekt (über 5000ppm).

Ein Forscherteam an der Universität Pisa [16] fand heraus, dass Ammoniumsalze mit langen Seitenketten tödlich für Zebrafische sind. ([www.nature.com](http://www.nature.com), November 2005). Ähnliche Ergebnisse erzielte auch Ranke [6], welcher die generelle Aussage vorschlägt, dass kurze Alkylseitenketten höhere EC50-Werte erreichen, also weniger toxisch sind. EC50 bedeutet Effective Concentration 50%, damit ist die Dosis gemeint, die bei 50% einer

Versuchspopulation eine definierte Wirkung auslöst. (ist mit "definierter Wirkung" der Tod gemeint, dann spricht man auch von LD50 - der für 50% der Individuen letalen Dosis).

Bernot [17] untersuchte den Einfluss Ionischer Flüssigkeiten auf Süßwasser-Schnecken. Generell wird ein starker Zusammenhang zwischen der Alkyl-Seitenkettenlänge und der Toxizität von auf Imidazolium und Pyridinium-Kationen basierenden Ionischen Flüssigkeiten festgestellt – hierbei spielt die Grundstruktur des Kations eine eher untergeordnete Rolle.

Matsumoto fand [18, 19] ebenfalls, dass eine längere Alkyl-Seitenkette von auf Imidazolium basierenden Ionischen Flüssigkeiten zu einer niedrigeren mikrobiellen Aktivität bei Milchsäure produzierenden Bakterien führt.

Garcia [20] untersuchte die biologische Abbaubarkeit von zwei Kationen, 1-Butyl-3-methylimidazolium und 3-methyl-1-(pentoxy-carbonylmethyl)imidazolium, mit jeweils sechs unterschiedlichen Anionen. Keine der Ionischen Flüssigkeiten war vollständig biologisch abbaubar. Ein starker Einfluss der Anionen auf die Abbaubarkeit wurde nicht gefunden. Die Flüssigkeit mit einem Ester in der Seitenkette des Imidazolium-Kations und dem Octylsulfat-Anion erreichte die höchste Abbaurrate. Der Einbau von für die enzymatische Hydrolyse zugänglichen chemischen Bindungen erhöht die Abbaubarkeit im Vergleich zu 1-Butyl-3-methylimidazolium Tetrafluoroborat und Hexafluorophosphat signifikant.

Wells [21] berichtet von einer starken Korrelation der Toxizität abhängig von der Alkyl-Seitenkettenlänge bei Imidazolium basierenden Ionischen Flüssigkeiten. Während Alkylketten mit vier Kohlenstoffatomen nur moderat toxisch sind, wirken Alkylketten mit 12, 16 oder 18 Kohlenstoffatomen sehr toxisch auf Wasserflöhe und Grünalgen. Diese Korrelation scheint auch für Pyridinium, Phosphonium und Ammonium basierende Ionische Flüssigkeiten zu gelten. Die biologische Abbaubarkeit (biochemischer Sauerstoffbedarf über 5 Tage) der untersuchten Ionischen Flüssigkeiten war gering. Dies liegt daran, dass die untersuchten Flüssigkeiten nicht aus der neuesten Generation an biologisch abbaubaren Ionischen Flüssigkeiten gewählt wurden (wie z.B. auf Cholin basierende Ionische Flüssigkeiten).

Swatowski [22] schlägt vor, nicht toxische, von der pharmazeutischen Industrie akzeptierte anorganische Anionen wie z.B. Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> und organische Anionen wie z.B. Acetat, Succinat, Glycolat, Lactat, Malat, Tartrat, Citrat, Ascorbat, Glutamat, Benzoat, Salicylat und Methansulfonat zu verwenden.

Jastorff [23, 24, 25] entwickelte ein System für das Öko-Design von Ionischen Flüssigkeiten. Diese sollten zukünftig gezielt in erster Linie bezüglich ihrer toxikologischen Eigenschaften, Abbaubarkeit, etc. untersucht werden und erst in zweiter Linie bezüglich ihrer technischen Anwendung.

Im Zuge dieser Entwicklung wurde eine umfangreiche Recherche der Auswirkungen Ionischer Flüssigkeiten auf Mensch und Umwelt durchgeführt. An dieser Stelle wird nicht gesamte Literatur zitiert, die weiterführende Literatur ist im Anhang gelistet.

Nach einer ausführlichen Bewertung der zur Verfügung stehenden Daten können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Ionische Flüssigkeiten sind weder per se giftig noch ungiftig, dies ist von der jeweiligen Struktur abhängig.
- Es sind noch sehr wenige Ionische Flüssigkeiten toxikologisch vollständig untersucht und nach der Chemikaliengesetzgebung zugelassen.
- Die meisten Untersuchungen betreffen wenige „altbekannte“ Ionische Flüssigkeiten. Es wurden kaum neue chemische Strukturen untersucht.
- Die bislang hergestellten und untersuchten Ionischen Flüssigkeiten wurden nicht gezielt bezüglich geringer Toxizität und guter biologische Abbaubarkeit ausgewählt.
- Die physiologische Verfügbarkeit steigt - wie zu erwarten - mit zunehmender Lipophilie, also z.B. mit wachsender Kettenlänge von Alkylseitenketten.
- Die respiratorische Toxikologie ist im Vergleich zu konventionellen (also molekularen) Flüssigkeiten denkbar gering: Ionische Flüssigkeiten zeigen keinen (messbaren) Dampfdruck und können daher als Dampf über die Atmung nicht aufgenommen werden; Gefahren liegen lediglich in der Bildung und Respiration von Aerosolen. Diese überlegene Eigenschaft ist der ganzen Klasse der Ionischen Flüssigkeiten bis auf wenige Einzelfälle gemeinsam und Strukturunabhängig.
- Ionische Flüssigkeiten können daher nur durch Austritt aber nicht durch Verdampfen in die Umwelt gelangen.
- Ionische Flüssigkeiten sind Aufgrund des fehlenden Dampfdruckes unterhalb ihres i.A. hohen thermischen Zersetzungspunktes auch nicht entflammbar: Die Bildung toxischer Gase durch Brände ist daher deutlich geringer.

## 4.7 Innovationsgehalt der Dienstleistung Schmierung

Die Dienstleistung Schmierung ist ein zweierlei Hinsicht sehr innovativ. Einerseits durch die Etablierung einer völlig neuartigen anwendungsorientierten Dienstleistung im Bereich Schmierung und andererseits durch den Einsatz einer bisher in diesem Zusammenhang nicht erforschten Substanzklasse, den Ionischen Flüssigkeiten. Ein Grundkonzept dieser anwendungsorientierten Dienstleistung ist die Konzentration auf die zu lösende technisch/wirtschaftliche Aufgabe der Schmierung und nicht wie bisher die Konzentration auf Standard-Schmiermittel, an welche sich die technische Anlage anzupassen hat. Auch der ganzheitliche Ansatz, von der Problemanalyse bis zur Schmierung stellt, eine Neuheit dar.

Es wird auch eine Entwicklungs- und Dienstleistungslücke zwischen Maschinen- und Anlagenbauern und dem neuen Gebiet der Ionischen Flüssigkeiten geschlossen.

Vorteile gegenüber dem derzeitigen Stand der Technik ergeben sich unter anderem aus der Möglichkeit, auf Mineralöl basierende Schmierstoffe durch auf Naturstoffen basierende Schmierstoffe zu ersetzen. Durch die Entwicklung und Verwendung von maßgeschneiderten Schmierstoffen ist mit einer massiven Verlängerung der Lebensdauer von technischen Maschinen und Anlagen zu rechnen. Diese Vorteile spiegeln sich in einer massiven Reduzierung des Ressourceneinsatzes und somit in einer Steigerung der Nachhaltigkeit wieder.

## 4.8 Projektergebnisse

Im Zuge der Erstellung und Überprüfung des Konzeptes der Dienstleistung Schmierung wurden Experten auf dem Gebiet der Schmierstoffforschung und Anwendung sehr detailliert interviewt. Diese Experten arbeiten bei namhaften Firmen, wodurch Ihre Meinungen hohes Gewicht bekommen. Zusätzlich wurden im Zuge dieses Projektes eine größere Anzahl an Gesprächen mit potentiellen Partnern und Anwendern geführt, womit die Aussagen der Experten bestätigt werden konnten.

Abb. 4: Prozess der Dienstleistung Schmierung



### Definition des Schmierproblems

Um das Schmierproblem zu definieren, muss der Anwender zuerst mit dem Entwickler des Schmierstoffes in Kontakt treten. Mittels E-Mail, Homepage und Vortrag/Präsentation werden die Anwender bevorzugt über neue Entwicklungsmöglichkeiten und Dienstleistungen informiert. Unter Berücksichtigung der Kontrollbefragung lässt sich mit Sicherheit das E-Mail als bevorzugte Informationsquelle nennen.

Um einem größeren Publikum die Innovationen eines Schmierstoffherstellers vorzustellen bieten sich aber auch Vorträge auf den jährlichen Tagungen von Vereinigungen wie der ÖTG

(Österreichische tribologische Gesellschaft, [www.oetg.at](http://www.oetg.at)) oder dem VKIS (Verbraucherkreis Industrie und Schmierung, [www.vkis.org](http://www.vkis.org)) an.

Die Erwartungen der Anwender an den Schmierstofflieferanten können sehr hoch sein. Das bedeutet, dass einige Unternehmen bereits beim ersten intensiveren Treffen Sicherheitsdatenblätter, sowie Publikationen über Anwendungen des Schmierstoffs bekommen möchten. Kurzum eine positive Kosten-Nutzen-Rechnung und eine hohe Erfolgsaussicht müssen schon zu Beginn ersichtlich sein um eine Zusammenarbeit zu starten.

Die Ansprüche an den Schmierstoff werden meist in Form von Eigenschaften beziehungsweise eines bestehenden Schmierstoffs und zusätzlichen Eigenschaften formuliert. Langzeitgebrauchsfähigkeit gefolgt von der Materialverträglichkeit mit Dichtungswerkstoffen und Oxidations- sowie Korrosionsschutz sind die meist gewünschten Eigenschaften. Das wurde auch durch die Kontrollbefragung bestätigt.

### **Entwicklung des Lösungskonzepts**

In den folgenden Punkten stimmen alle Befragten mit dem vorgeschlagenen technischen Lösungskonzept überein:

- Messung der gewünschten Eigenschaften des Schmierstoffs,
- Materialtests um Verträglichkeit Schmierstoff-Maschinenteile sicherzustellen,
- Pilotversuch an einer Testmaschine,
- Vorvertrag/Absichtserklärung aushandeln und unterschreiben,
- Praxistest mit Kunden.

Bei der Entwicklung des Lösungskonzeptes ist es auch wichtig zu bedenken, ob für die spätere Anwendung besondere Gesetze bezüglich Toxizität existieren. Zum Beispiel unterliegen Schmiermittel für Lebensmittel verarbeitende Maschinen strengeren Auflagen, als Schmiermittel für Autogetriebe.

### **Bereitstellung Schmiermittel und Durchführung der Schmierung**

Die Bereitstellung des Schmierstoffs ist nach erfolgreichem Abschluss der Forschungsarbeit die normale Aufgabe des Schmierstoffherstellers.

Nur 25 bis 44 % der Befragten können sich vorstellen die Schmierung vom Schmierstoffhersteller durchführen zu lassen. Es ist klar der Wunsch der Anwender erkennbar, diesen Teilprozess im eigenen Haus zu belassen.

Die Firma SKF gliedert sich beispielsweise in fünf Tochtergesellschaften, wovon eine ausschließlich für die Schmierung zuständig ist.

Nach Durchführung der Kontrollinterviews kann für den Punkt „Einschulung der Mitarbeiter auf den neuen Schmierstoff“ mit hoher Wahrscheinlichkeit (75%) behauptet werden, dass er für den Großteil der Firmen interessant ist.

### **Recycling und Entsorgung des Schmierstoffs**

Von den befragten Experten würden 25 bis 38% das Recycling des Schmierstoffs und 25 bis 44% die Entsorgung des Schmierstoffs als Dienstleistungen in Anspruch nehmen.

Die Entsorgung erfolgt derzeit durch externe Entsorgungsunternehmen wie beispielsweise die Firma Saubermacher. Eine Zusammenarbeit mit einem Entsorgungsunternehmen im Rahmen der Dienstleistung Schmierung erscheint sinnvoll.

Da es sich bei Schmierstoffen auf Basis Ionischer Flüssigkeiten um eine komplett neue Schmierstoffart handelt, ist die Zusammenarbeit mit dem Schmierstoffhersteller in den Bereichen des Recyclings und der Entsorgung aber durchaus sinnvoll.

In der Form, wie die Experten den kompletten Prozess der Dienstleistung Schmierung durch ihre Antworten definiert haben, würden mehr als 90% mit einer Forschungseinrichtung beziehungsweise einem forschenden Schmierstoffhersteller zusammenarbeiten.

Die folgende Abbildung 2 zeigt die wichtigsten Teilprozesse, die in den vier Hauptprozessschritten der Dienstleistung Schmierung stattfinden und gibt in 25% Prozent-Schritten überblicksmässig die Zustimmung der befragten Personen dazu an.

Abbildung 5: Zustimmung der Experten zu den wichtigsten Punkten der Hauptprozessschritte der Dienstleistung Schmierung

100 %			Die Bereitstellung des Schmierstoffs ist selbstverständlich	
75 %		Ablauf: -Messung der gewünschten Eigenschaften des Schmierstoffs		
50 %	Information per E-mail	- Materialtests		
25 %	Formulierung in Form von Eigenschaften:	- Pilotversuch - Vorvertrag - Praxistest	Einschulung der Mitarbeiter auf den neuen Schmierstoff	Recycling und Entsorgung
0 %	Definition des Schmierproblems	Entwicklung des Lösungs-Konzepts	Bereitstellung Schmiermittel und Durchführung der Schmierung	Ersatz, Rücknahme und Entsorgung der Schmiermittel

### Auswirkung Ionischer Flüssigkeiten auf Mensch und Umwelt

Ionische Flüssigkeiten sind weder per se giftig noch ungiftig, dies ist von der jeweiligen Struktur abhängig. Die bislang hergestellten und untersuchten Flüssigkeiten wurden in der Regel nicht im Hinblick auf Toxikologie und Abbaubarkeit entwickelt oder optimiert. Zukünftig sollte großes Gewicht auf die Verwendung von Naturstoffen gelegt werden.

Bislang sind erst sehr wenige Ionische Flüssigkeiten toxikologisch vollständig untersucht und zugelassen.

Da Ionische Flüssigkeiten mit ganz wenigen Ausnahmen keinen messbaren Dampfdruck besitzen, können sie nicht als Dampf eingeatmet werden und sind unterhalb ihres i.A. hohen Zersetzungspunktes nicht entflammbar. Eine Zerstäubung zu einem Aerosol ist jedoch möglich.

Ionische Flüssigkeiten können daher nur durch Austritt aber nicht durch Verdampfen in die Umwelt gelangen.

## 5 Detailangaben in Bezug auf die Ziele der Programmlinie

Dem Gesamtziel der Programmlinie, mittels innovativer Technologiesprünge mit hohem Marktpotential nachhaltige Impulse zu setzen und „Produkte und Dienstleistungen von morgen für den Bedarf von Morgen“ zu entwickeln, wird mit der Dienstleistung Schmierung Rechnung getragen. Ergebnis der gegenständlichen Entwicklung ist ein Konzept für eine ökoeffiziente Bereitstellung der Dienstleistung Schmierung mit dem Ziel die Anforderungen und Bedürfnisse der Maschinen und Anlagenbauer mit möglichst anwenderspezifischen und geringem Aufwand an Schmiermittel zu erfüllen.

Das vorliegende Konzept der schmiermittelbezogenen Dienstleistungen stellt eine unmittelbare Alternative zum Kauf von Schmiermitteln dar. Je vollständiger dieses Dienstleistungs-Paket angeboten wird, desto planbarer wird der erzielbare Nutzen für den Anwender. Im Rahmen dieses umfassenden Dienstleistungsangebots kann die Nutzungsintensität gesteigert, die Lebensdauer der Maschinen und Anlagen verlängert und damit eine deutliche Reduktion des Ressourceneinsatzes erreicht werden.

Damit fügen sich die Inhalte der vorliegenden Entwicklung unmittelbar in folgende Leitprinzipien der nachhaltigen Technologieentwicklung ein:

- Das Prinzip der Dienstleistungs-, Service- und Nutzenorientierung in der Form, dass nicht primär der Verkauf von Schmiermitteln sondern deren Funktion im Mittelpunkt der Überlegungen steht.
- Das Effizienzprinzip dessen Zielsetzung Material- und Kosteneffizienz ist und durch die Verlängerung der Standzeiten und Lebensdauer von Maschinen und Anlagen untermauert wird.
- Das Prinzip der Reczyklierungsfähigkeit und der Nutzung erneuerbarer Ressourcen durch den Einsatz von völlig neuen umweltfreundlichen Substanzen als Schmierstoffe mit dem Vorteil, dass Mineralölprodukte in einzelnen Bereichen substituiert werden können.
- Das Prinzip der Einpassung, Flexibilität, Adaptionfähigkeit und Lernfähigkeit da die Entwicklung dieser Form von Schmierstoffen hoch innovativ und das Einsatzpotential noch nicht abschätzbar ist und jederzeit an neue Gegebenheiten angepasst werden kann.
- Das Prinzip der Sicherung von Arbeit, Einkommen und Lebensqualität durch den innovativen Konzeptansatz mit dem damit verbundenen Marktpotential sowie den Einsatz umwelt- und ressourcenschonender Schmierstoffe

Die Einbeziehung der Zielgruppen „Maschinen- und Anlagenbau“ als Anwender sowie deren Bedürfnisse war ein zentraler Punkt im Zuge der Entwicklung dieser Dienstleistung. Dies wurde durch direkte telefonische und schriftliche Kontakte umgesetzt. Die Zielgruppe wurde sehr weit gefasst, um ein möglichst umfassendes Bild der einzelnen Bedürfnisse zu erhalten.

Die Umsetzungspotenziale der entwickelten Dienstleistung Schmierung sind hoch. Die im Projektplan dargestellte Marktsituation wurde bestätigt, es gibt einen sehr konkreten Bedarf an einer weiterführenden Zusammenarbeit zwischen Maschinenbauern und Schmiermittel-Dienstleistern vorhanden. Das Marktpotential umfasst große/konkrete Teile der kontaktierten Unternehmen. Zur weiteren Realisierung dieser Dienstleistung sind entsprechende Folgeentwicklungen in Angriff zu nehmen. Von Seiten der befragten Unternehmen ist die Bereitschaft hierzu vorhanden.

## 6 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse betreffen sowohl technische, marktwirtschaftliche und ökologische Aspekte der Dienstleistung Schmierung und sind folgend kurz aufgezählt:

- Bedarf und Akzeptanz der Anwender an einer Dienstleistung Schmierung ist vorhanden
- Technische Aspekte wie z.B. Anforderungen an den Schmierstoff stehen bei Kontakten meist im Vordergrund
- Bereitschaft der Anwender, neue Schmierstoffe zu testen und zu verwenden ist vorhanden
- Ökologische und toxikologische Anforderungen an den Schmierstoff sind vorhanden und realisierbar

Die erarbeiteten Ergebnisse dienen einerseits als Grundlage für eine Einreichung eines weiterführenden Entwicklungsprojektes und andererseits als Motivation zur weiteren Entwicklung von Lösungen für spezifische Schmierprobleme gemeinsam mit Anwendern.

Die Projektergebnisse sind primär für den gesamten Bereich der Maschinenbau und Anlagenbau Industrie relevant und können wahrscheinlich ansatzweise auch im Bereich hydraulischer Anwendungen interessant sein. Die Ergebnisse zeigen klar den Bedarf an einer Dienstleistung Schmierung von Seiten der Anwender. Sowohl die Anwender als die Entwickler und Dienstleistungsunternehmen im Bereich Schmierung können das im gegenständlichen Projekt entwickelte Konzept der Dienstleistung Schmierung als Basis für eine Kooperation heranziehen.

## 7 Ausblick und Empfehlungen

Die Chancen der Dienstleistung Schmierung liegen sicherlich in der großen Anzahl an zu lösenden Schmierproblemen. Dies führt gleichzeitig zu der Schwierigkeit, aus dieser großen Anzahl an Detailproblemen diejenigen mit der größten Lösungswahrscheinlichkeit und dem größten Marktpotential herauszufiltern. Die Risiken liegen bei der Realisierung von einzelnen Dienstleistungen auch in der Neuheit der Ionischen Flüssigkeiten und der möglichen Vielfalt an unterschiedlichen Substanzen. Während Mineralöle seit vielen Jahrzehnten bekannt und optimiert sind, ist dieser Prozess für die Ionischen Flüssigkeiten erst zu durchlaufen. Parallel zur weiteren Entwicklung der Dienstleistung Schmierung sind nun auch weitere, für unterschiedliche Problemstellungen optimierte ionische Schmierstoffe zu entwickeln.

Aufbauend auf diesem Machbarkeitskonzept soll entsprechend einer Gesamtstrategie ein wirtschaftsbezogenes Grundlagenforschungsprojekt erstellt werden. Damit wird auch die Einbindung der Anwender der Schmiermittel mit einer Schwerpunktverlagerung von Grundlagenarbeiten hin zu Entwicklungsprojekten sichergestellt und die Übereinstimmung der Projektziele mit der Programmlinie „Fabrik der Zukunft“ erreicht.

## 8 Verzeichnisse

### 8.1 Literatur

- [1] Uwe J. Möller: Jamil Nassar, Schmierstoffe im Betrieb, 2.Auflage, Springer Verlag, 2002.
- [2] Bartz, Wilfried J.: Additive für Schmierstoffe, Expert Verlag 1994.
- [3] Mang, Theo: Lubricants and lubrications, Wiley-VCH Verlag 2001.
- [4] Möller, Uwe J.; Nassar, Jamil: Schmierstoffe im Betrieb, Springer Verlag 2002.
- [5] Wasserscheid, Peter: Ionic liquids in synthesis, Wiley-VCH Verlag 2003.
- [6] Ranke, J.; Mölter, K.; Stock, F.; Bottin-Weber, U.; Poczobutt, J.; Hoffmann, J.; Ondruschka, B.; Filser, J.; Jastorff, B.: Biological effects of imidazolium ionic liquids with varying chain lengths in acute *Vibrio fischeri* and WST-1 cell viability assays: *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Volume 58, Issue 3, July 2004, 396-404.
- [7] Bernot, Randall J.; Brueseke, Michael A.; Evans-White, Michelle A.; Lamberti, Gary A.: Acute and chronic toxicity of imidazolium-based ionic liquids on *Daphnia magna*. *Environmental Toxicology and Chemistry* (2005), 24(1), 87-92.
- [8] Pfruender, H; Jones, R; Weuster-Botz, D: Water immiscible ionic liquids as solvents for whole cell biocatalysis. *J Biotechnol* 124 (2006): 182-190.
- [9] Swatloski, R P; Holbrey JD; Memon, SB; Cadwell, KA; Rodgers, RD: Using *Caenorhabditis elegans* to probe toxicity of 1-alkyl-3-methyl imidazolium chloride based ionic liquids: *Chem commun (Camb)* 6: 668-669, 2004.
- [10] Ranke, Johannes: Sorption, cellular distribution and toxicity of imidazolium ionic liquids in mammalian cells – influence of lipophilicity: *Toxicol Environ Chem* (in Druck).
- [11] Schmidt, Christiane: Untersuchungen zur Zytotoxizität und zum Wirkmechanismus einiger neuer Lösungsmittel (Ionischer Flüssigkeiten) und ihrer möglichen Kombinationswirkung mit dem Schwermetall Cadmium: Dissertation, Universität Bremen 2005.
- [12] Juffernholz Tanja, Filser Juliane: Kombinationswirkung in terrestrischen Ökosystemen: Effekte von Ionischen Flüssigkeiten und Kupfer auf Collembolen und Enchytraeiden. Universität Bremen, Zentrum für Umweltforschung und Umwelttechnologie. Toxkom-Symposium 2004.

- [13] Ranke, Johannes; Müller, Anja; Bottin-Weber, Ulrike; Stock, Frauke; Stolte, Stefan; Arning, Jürgen; Störmann, Reinhold; Jastorff, Bernd: Lipophilicity parameters for ionic liquid cations and their correlation to in vitro cytotoxicity: *Ecotoxicology and Environmental Safety*, In Press. Available online 10 October 2006.
- [14] Stepnowski, P.; Skladanowski, A C; Ludwiczak, A.; Laczynska E.: Evaluating the cytotoxicity of ionic liquids using human cell line HeLa, *Human and Experimental Toxicology*, 11 2004; vol. 23: pp. 513 - 517.
- [15] Kumar, Shefali: Neue Anwendungen von ionischen Flüssigkeiten und ihr Verhalten in der Umwelt. Universität Rostock Fachbereich Chemie Abt. für Analytische Chemie 2006.
- [16] Pretti, Carlo; Chiappe, Cinzia; Pieraccini, Daniela; Gregori, Michaela; Abramo, Francesca: Acute toxicity of ionic liquids to zebrafish (*Danio rerio*). *Green Chemistry*, 2006, 8, 238-240.
- [17] Bernot, Randall J.; Kennedy, Erin E.; Lamberti, Gary A.: Effects of ionic liquids on the survival, movement, and feeding behavior of the freshwater snail, *Physa acuta*. *Environmental Toxicology and Chemistry* (2005), 24(7), 1759-1765.
- [18] Matsumoto, Michiaki, Mochiduki, Kenji, Fukunishi, Kei; Kondo, Kazuo: Extraction of organic acids using imidazolium-based ionic liquids and their toxicity to *Lactobacillus rhamnosus*: *Separation and Purification Technology*, Volume 40, Issue 1, 2004, Pages 97-101.
- [19] Matsumoto, Michiaki, Mochiduki, Kenji; Kondo, Kazuo: Toxicity of ionic liquids and organic solvents to lactic acid-producing bacteria: *Journal of Bioscience and Bioengineering*, Volume 98, Issue 5, 2004, Pages 344-347.
- [20] Garcia, M. Teresa; Gathergood, Nicholas; Scammells, Peter J.: Biodegradable ionic liquids. Part II. Effect of the anion and toxicology. *Green Chemistry* (2005), 7(1), 9-14.
- [21] Wells, Andrew S.: On the Freshwater Ecotoxicity and Biodegradation Properties of Some Common Ionic Liquids, *Organic Process and Research & Development* 2006.
- [22] Swatloski R. P., Holbrey J. D., Rogers R. D.: Ionic liquids are not always green: hydrolysis of 1-butyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate: *Green chemistry*, 2003, 5, 361-363, 2003.
- [23] Jastorff B, Mölter K, Behrend P, Bottin-Weber U, Filser J, Heimers A, Ondruschka B, Ranke J, Schaefer M, Schröder H, Slenzka K, Stark A, Stepnowski P, Stock F, Störmann R, Stolte S, Welz-Biermann U, Ziegert S, Thöming J (2005): Strategy in evaluation of risk potential of ionic liquids - basis for an eco-design of sustainable products. *Green Chemistry*, 7, 362-372.

- [24] Jastorff Bernd, et al: How hazardous are ionic liquids? Structure-activity relationships and biological testing as important elements for sustainability evaluation. Green Chemistry, 2003, 5, 136-142.
- [25] Jastorff, Bernd, et al: Progress in evaluation of risk potential of ionic liquids – basis for an eco-design of sustainable products. Green Chemistry, 2005, 7, 362-372.

## 8.2 Tabellen

Tabelle 1: Anforderungen an den Schmierstoff.....	11
Tabelle 2: Firmenliste Telefoninterviews .....	13
Tabelle 3: Firmenliste Fragebogen.....	15
Tabelle 4: Firmenliste Kontrollbefragung.....	21

## 8.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Prozess der Dienstleistung Schmierung.....	4
Abbildung 2: Lubrication Service .....	6
Abbildung 3: Fragebogen .....	15
Abbildung 4: Prozess der Dienstleistung Schmierung.....	27
Abbildung 5: Zustimmung der Experten zu den wichtigsten Punkten.....	30

## 9 Anhang

### 9.1 Weiterführende Literatur

Die Nummerierung erfolgt an dieser Stelle weiterführend an die Nummerierung des Literaturverzeichnisses in Kapitel 8.1.

- [26] Luis, P.; Ortiz, I.; Aldaco, R.; Irabien, A.: A novel group contribution method in the development of a QSAR for predicting the toxicity (*Vibrio fischeri* EC50) of ionic liquids. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, In Press.
- [27] Pfruender, Holger; Jones, Ross; Weuster-Botz, Dirk: Water immiscible ionic liquids as solvents for whole cell biocatalysis: *Journal of Biotechnology*, Volume 124, Issue 1, 25 June 2006, Pages 182-190.
- [28] Latała, Adam; Stepnowski, Piotr; Nędzi, Marcin; Mrozik, Wojciech: Marine toxicity assessment of imidazolium ionic liquids: Acute effects on the Baltic algae *Oocystis submarina* and *Cyclotella meneghiniana*: *Aquatic Toxicology*, Volume 73, Issue 1, 1 June 2005, Pages 91-98.
- [29] Couling, David J.; Bernot, Randall J.; Docherty, Kathryn M.; Dixon, JaNeille K.; Maginn, Edward J.: Assessing the factors responsible for ionic liquid toxicity to aquatic organisms via quantitative structure-property relationship modelling. *Green Chemistry*, 2006, 8, 82-90.
- [30] Weitlaner, Wolfgang: Grüne Chemie ist ganz schön giftig, Presstext 04.11.2005, [www.presstext.at](http://www.presstext.at).
- [31] Rebke, Maren, Projektplenum „Umweltrisiken“, Protokoll vom 03.06.2002, [www.uni-bremen.de](http://www.uni-bremen.de).
- [32] Uhl, Maria; et al: Grundlagen zur Risikoabschätzung für quaternäre Ammoniumverbindungen, Umweltbundesamt Wien 2005, Berichte BE-271.
- [32] Landry, T.D.; Brooks, K.; Poche, D.; Woolhiser, M.: Acute Toxicity Profile of 1-Butyl-3-Methylimidazolium Chloride, *Bull. Environm. Contam. Toxicol.* (2005) 74: 559-565.
- [33] Reinhardt, T.; Kralisch, D.; Kreisel, G.: Ionic liquids as green designer solvents, *Green Solvents for Processes*, 8-11.10.2006, Friedrichshafen, Germany.
- [34] Stolte, S.; Bottin-Weber, U.; Ranke, J.; Jastorff, B.: Anion Effects on the cytotoxicity of ionic liquids, *Green Solvents for Processes*, 8-11.10.2006, Friedrichshafen, Germany.