



# INNOTECH

 **FABRIK**  
der Zukunft

**Hintergrundband**

**Teil 2**  
**2. Auflage**

**Technologien und Innovationen  
bei Produktionsprozessen**

*Berichte aus Energie- und Umweltforschung*

**10b/2009**

**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

Redaktionelle Bearbeitung:  
Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik (ÖGUT)  
Petra Blauensteiner, Dr.<sup>in</sup> Erika Ganglberger, Mag. Martin Schweighofer, Mag. Joachim Stracke,  
Mag.<sup>a</sup> Karin Sudra, Mag.<sup>a</sup> Sylvia Tanzer

Quellen der Fotos am Deckblatt: ELIN EBG Motoren GmbH, Piesslinger GmbH

Weitere Hintergrundbände: 10a//2009 Nutzung nachwachsender Rohstoffe; 10c/2009 Produkte und Produktdienstleistungs-Systeme, 10d/2009 Inner- und überbetriebliches Nachhaltigkeitsmanagement

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter [www.nachhaltigwirtschaften.at](http://www.nachhaltigwirtschaften.at)

---

# FABRIK der Zukunft

Themenfeld: Technologien und Innovationen bei  
Produktionsprozessen

## Hintergrundband

Teil 2  
2. Auflage

Wien, April 2009

Sammlung von Projektergebnissen aus der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

---



## Vorwort

Der vorliegende Hintergrundband soll einen umfassenden Überblick über die hervorragenden Ergebnisse aus der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT geben, wobei insbesondere die Projekte der ersten vier Ausschreibungen der Programmlinie dargestellt werden.

Die Programmlinie 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. Erste europäische Kooperationen im Rahmen des ERA-Net SUSPRISE bestätigen die in FABRIK DER ZUKUNFT verfolgte Strategie.

Ein wichtiges Anliegen der Programmlinie ist es, die Projektergebnisse – seien es Grundlagenarbeiten, Konzepte oder Technologieentwicklungen – erfolgreich umzusetzen und zu verbreiten. Dies soll nach Möglichkeit durch konkrete Demonstrationsvorhaben 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), die Schriftenreihe sowie diverse Ergebnisbroschüren gewährleistet wird.

Mag. Sabine List

Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

---



# INHALTSVERZEICHNIS

Einleitung .....	6
1 ZERO EMISSION ANSATZ ALS INSTRUMENT DER NACHHALTIGEN UNTERNEHMENSFÜHRUNG .....	12
EINLEITUNG.....	12
Ausgangssituation.....	12
Ziele und Inhalte .....	12
Die Projekte im Rahmen der Programmlinie .....	13
INHALT .....	14
1. Wasserverbrauch und Chemikalieneinsatz .....	15
2. Entfetten und Beizen .....	17
Ergebnisse .....	19
3. Übertragung auf die Textilindustrie.....	20
4. Planspiel .....	20
5. Zwei Tage Nachhaltigkeit .....	22
2 PRODUZIEREN MIT SONNENENERGIE .....	23
EINLEITUNG.....	23
Ausgangssituation.....	23
Ziel der Forschungsaktivitäten und Herausforderungen.....	23
Die Projekte im Rahmen der Programmlinie .....	24
INHALT .....	25
1. Potenzialstudie zur thermischen Solarenergienutzung .....	25
2. Parabolrinnenkollektorsystem zur Erzeugung von Prozesswärme .....	27
3. Solarthermische Kälteerzeugung.....	30
3 BRENNSTOFFZELLEN .....	32
EINLEITUNG.....	32
Ausgangssituation.....	32
Ziele und Herausforderungen .....	32
Die Projekte im Rahmen der Programmlinie .....	32
INHALT .....	34
Polymer-Elektrolyt-Membran Brennstoffzellen (PEM) .....	34
1. Massenfertigung für PEM-Brennstoffzellen .....	34
2. EASYCELL - Designoptimierung für PEM-Brennstoffzellen.....	36
Hochtemperatur Brennstoffzellen (SOFC).....	38
3. Miniaturisierte keramische Hochtemperatur Brennstoffzellenkomponenten .....	38
4 ECODESIGN.....	42
EINLEITUNG.....	42
Ausgangssituation.....	42
Ziele und Herausforderungen .....	42
Die Projekte im Rahmen der Programmlinie .....	43
INHALT .....	43
1. ECODESIGN Toolbox for Green Product Concepts – Entwicklung von Werkzeugen zur nachhaltigen Produktentwicklung.....	43
2. Konzeption eines ECODESIGN Lernspiels für Schulen und Jugendorganisationen .....	47
5 NACHHALTIGE GESTALTUNG VON HOCHGESCHWINDIGKEITSBEARBEITUNGS- PROZESSEN .....	51
EINLEITUNG.....	51
Ausgangssituation.....	51
Herausforderungen .....	51
Die Projekte im Rahmen der Programmlinie .....	52
Inhalt .....	52
1. Ganzheitliches Vorgehensmodell bei der Gestaltung von Hochgeschwindigkeits- Bearbeitungs-Prozessen .....	52
2. Bio-Minimalmengen-Kühlschmierung .....	54

6	UMWELTVERTRÄGLICHE KÄLTEERZEUGUNG .....	57
	EINLEITUNG.....	57
	Ausgangssituation.....	57
	Ziele und Herausforderungen .....	57
	Projektdaten .....	57
	INHALT .....	58
	Stirlingprozess als umweltverträgliche Alternative .....	58
	Ergebnisse .....	59
	Schlussfolgerungen .....	61
7	ENTWICKLUNG VON GESCHWEIßTEN VOLLHOLZ-PARKETTELEMENTEN.....	62
	EINLEITUNG.....	62
	Ausgangssituation.....	62
	Ziele und Herausforderungen .....	62
	Projektdaten .....	63
	INHALT .....	63
	Zur Technik des Schweißens .....	63
	Beschreibung des Verfahrens des stoffreinen Holzschweißens .....	64
	Halbtechnische Anlage .....	65
	Ausblick.....	66
8	ANTISTATISCHE LACKE FÜR PARKETTFUßBÖDEN DURCH IONISCHE FLÜSSIGKEITEN .....	67
	EINLEITUNG.....	67
	Ausgangssituation.....	67
	Ziele und Herausforderungen .....	67
	Projektdaten .....	67
	INHALT .....	68
	Elektrostatische Aufladung von Böden .....	68
	Ionische Flüssigkeiten.....	69
	Prüfmethoden .....	69
	Ergebnisse .....	70
	Resümee.....	71
9	STOFFSTROMBASIERTES PRODUKTIONSMANAGEMENT FÜR SÄGEBETRIEBE .....	72
	EINLEITUNG.....	72
	Ausgangssituation.....	72
	Ziele und Herausforderungen .....	72
	Projektdaten .....	73
	INHALT .....	73
	Vorgangsweise .....	73
	Ergebnisse .....	76
	Ausblick.....	76
10	MIXOLITH – EIN ÖKOEFFIZIENTER BAUSTOFF AUS RESTSTOFFEN.....	77
	EINLEITUNG.....	77
	Ausgangssituation.....	77
	Ziele und Herausforderungen .....	77
	Projektdaten .....	78
	INHALT .....	78
	Projektverlauf .....	78
	Ergebnis .....	81
	Ausblick.....	82



# Einleitung

## Zum Inhalt

Die gegenständliche Publikation gibt einen systematischen und strukturierten Überblick über die Forschungsaktivitäten der Programmlinie Fabrik der Zukunft. Die überarbeitete und erweiterte zweite Auflage des Hintergrundbandes ist mit 23 Projektketten (diese umfassen 73 Projekte) und 26 Einzelprojekten sowie ca. 150 Abbildungen inhaltlich noch umfassender als die 2008 erschienene Erstauflage. Während in der ersten Auflage der Fokus auf den Projekten der ersten und zweiten Ausschreibung lag, wurden in der vorliegenden Auflage diese Projekte aktualisiert und die abgeschlossenen Projekte der dritten und vierten, sowie aktuelle Projekte der fünften Ausschreibung ergänzt. Um die Vielzahl herausragender Projektergebnisse aus der Programmlinie entsprechend zu dokumentieren wird die zweite Auflage des Hintergrundbandes in vier Bänden publiziert.

Der erste Band (10a/2009) umfasst jene Forschungsaktivitäten der Programmlinie, die sich mit der Thematik „**Nutzung Nachwachsender Rohstoffe**“ auseinandersetzen. Ziel der Forschungsaktivitäten in diesem Bereich ist es, die Entwicklung neuer Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen mit hohem Marktpotenzial zu forcieren sowie innovative Nutzungsmöglichkeiten von biogenen Reststoffen zu entwickeln. Weiters soll die Entwicklung von neuen Verfahren zur Herstellung von Rohstoffen auf der Basis erneuerbarer Ressourcen gezielt Alternativen zu derzeit verwendeten Technologien schaffen. Beispielhaft seien hier die Projektketten „Die Grüne Bioraffinerie“ oder auch „Kernkraft“ angeführt. Diese Projektketten folgen dem idealtypischen Verlauf erfolgreicher Forschungsaktivitäten im Sinne der Programmstrategie – die systematische Entwicklung von Themenfeldern, beginnend mit Grundlagenforschungsaktivitäten, die in Folge zur Umsetzung in Demonstrations- oder Leuchtturmprojekten führen.

Der zweite Band (10b/2009) bietet einen Überblick über die Projekte zum Fabrik der Zukunft Themenschwerpunkt „**Technologien und Innovationen bei Produktionsprozessen**“. Hier werden Forschungsprojekte dargestellt, die sich insbesondere mit Schlüsseltechnologien und -methoden zur Ressourceneffizienzsteigerung befassen. Im Rahmen dieser Projekte standen unter anderem der Zero-Emission Ansatz, Ecodesign und die Solarenergienutzung im Mittelpunkt des Forschungsinteresses.

Im dritten Band „**Produkte und Produktdienstleistungs-Systeme**“ (10c/2009) spannt sich der thematische Bogen von allgemeinen Strategien zur Entwicklung und Umsetzung von Produktdienstleistungen bis hin zu konkreten Konzepten für Produktdienstleistungen wie beispielsweise die Projekte „Dienstleistung Schmierung“ oder „Ozon aus der Flasche“. Den Ergebnissen der Forschungsaktivitäten zu den Themenfeldern Reparatur und Kreislaufwirtschaft wird in diesem Band ebenfalls ein breiter Raum gewidmet.

Unter dem Titel „**Inner- und überbetriebliches Nachhaltigkeitsmanagement**“ werden im vierten Band (10d/2009) Projekte zusammengefasst, die sich mit den vielfältigen Themen entlang der nachhaltigen Wertschöpfungskette befassen. In diesen Projekten wurden richtungweisende Ergebnisse erzielt, die eine betriebswirtschaftliche Umsetzung von Nachhaltigkeit fördern. Die im Rahmen der Programmlinie entwickelten Leitfäden, Modelle und Tools zu den Themen Umweltkostenrechnung, Nachhaltige Unternehmensgründung bzw. -führung,

Ganzheitliche Bewertung, Nachhaltigkeitsberichterstattung, Einbindung von KonsumentInnen etc. erleichtern die Einführung eines nachhaltigen Wirtschaftens in die betriebliche Praxis.

Für die Darstellung der Projektketten und Einzelprojekte wurde, wie auch in der ersten Auflage, ein einheitlicher Aufbau gewählt. Der Einleitungsteil umfasst die Ausgangssituation mit den Zielen und Herausforderungen der Forschungsaktivitäten. Die Projekte, die im Rahmen der Projektketten abgewickelt wurden, werden anschließend im Überblick dargestellt. Im inhaltlichen Teil erfolgt die ausführliche Darstellung der Methodik, der konkreten Forschungsaktivitäten sowie der Ergebnisse der Projekte.

## **Das Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften**

Ressourcenverknappung, sichere und saubere Energieversorgung und globale Umweltverschmutzung stellen zentrale Herausforderungen für die heutige Forschungs- und Technologieentwicklung dar.

Innovative AkteurInnen der Wirtschaft haben die Nachhaltigkeit als wichtiges unternehmerisches Leitprinzip erkannt, welche die langfristige Wettbewerbsfähigkeit erhöht und beträchtliche Innovationschancen eröffnet. Das Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften setzt durch Forschung und Entwicklung Innovationsimpulse für die österreichische Wirtschaft. Gestartet wurde es 1999 mit der Programmlinie Haus der Zukunft. Im Jahr 2000 erfolgte der Start der Programmlinie Fabrik der Zukunft und 2003 wurde die 1. Ausschreibung zur Programmlinie Energiesysteme der Zukunft durchgeführt.

### **Ziele der Programmlinie Fabrik der Zukunft**

Ziel der Programmlinie Fabrik der Zukunft ist die Initiierung und Realisierung von beispielhaften Technologieentwicklungen in Unternehmen, welche Impulse für eine nachhaltige Entwicklung setzen. Die Fabrik der Zukunft soll mit den Werkstoffen von morgen Produkte und Dienstleistungen für den Bedarf von morgen bereit stellen.

Eine wichtige Rolle spielen dabei Technologien, die eine deutliche Steigerung der Ressourceneffizienz in der Produktion und die Nutzung nachwachsender Rohstoffe als Industriegrundstoffe ermöglichen. Im Bereich der Produktdienstleistungs-Systeme führen konsequente Lebenszyklusbewertungen zu neuen Geschäftsmodellen. Neue integrierte Managementkonzepte und -instrumente unterstützen themenübergreifend die Planung und Umsetzung von Nachhaltigkeitsstrategien in Organisationen.

Anliegen der Programmlinie Fabrik der Zukunft ist es, innovative Technologiesprünge mit hohem Marktpotenzial zu initiieren und zu realisieren. Daher werden in den einzelnen Ausschreibungen Projekte gesucht, die auf der Basis einer entsprechenden Gesamtstrategie zu Demonstrations- und Vorzeigeprojekten weiterentwickelt werden können bzw. wesentliche Beiträge dazu leisten.

### **Programmstrategie**

Die Ausschreibungsinhalte wurden ausgehend von einer anfänglich größeren thematischen Breite zunehmend fokussiert, wobei sich gleichzeitig die Ansprüche an die Umsetzungsorientiertheit erhöhten. Dies wird auch durch eine Schwerpunktverlagerung von Grundlagenarbei-

ten hin zu Forschungs- und Entwicklungsprojekten mit Beteiligung von Unternehmen gewährleistet.

Ergebnisse können beispielhafte Produktionsprozesse und Produkte sowie Demonstrationsanlagen oder Demonstrationsanwendungen sein. Diese sogenannten „Leuchttürme der Innovation“ spielen eine zentrale Rolle bei der breiten Umsetzung innovativer Forschungsergebnisse.

Zur Umsetzung der Programmlinie werden in etwa jährlichem Rhythmus entsprechend konzipierte Ausschreibungen durchgeführt. Entsprechend der Programmstrategie und mit Berücksichtigung der unterschiedlichen Entwicklungsstufen werden die Themen gekoppelt an die Projektarten ausgeschrieben und inhaltlich aufeinander aufbauende Projekte initiiert. Diese strategischen Projektketten sollen letztlich zu den angestrebten Pilot- und Demonstrationsanlagen führen. Dafür sind begleitende Maßnahmen und Transferaktivitäten wie z.B. eine gezielte Miteinbeziehung der Wirtschaft erforderlich.

Die in der Programmlinie Fabrik der Zukunft angestrebten Innovations sprünge sollen in folgenden Bereichen initiiert werden:

- Nutzung nachwachsender Rohstoffe
- Technologien und Innovationen bei Produktionsprozessen und Produkten
- Produkte und Produktdienstleistungs-Systeme
- Inner- und überbetriebliches Nachhaltigkeitsmanagement

### **Aktueller Stand der Programmlinie**

Seit dem Start der Programmlinie Fabrik der Zukunft im Oktober 2000 wurden in bisher fünf Ausschreibungen 203 Projekte mit einem Volumen von gut 23 Mio. Euro finanziert. Der aktuelle Stand der Ausschreibungen kann unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at) (Menüpunkt „Statistik“) abgerufen werden. Die Ergebnisse aus diesen Projekten zeigen, dass die zum Programmstart formulierten Ansprüche erfolgreich umgesetzt werden konnten.

## Kapitelübersicht Hintergrundbände

### **Nutzung Nachwachsender Rohstoffe (Band 10a/2009)**

Grüne Bioraffinerie  
KERNKRAFT: Kaskadische Nutzung von Steinobst-Restmassen  
Pflanzenfarben für die Textilindustrie  
Wood Plastic Composites  
Kunst- und Schaumstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen  
Maisgranulat – Bindemittel und Trägermaterial  
Stroh – Dämmstoff und Fasercompound  
Zellulosefaser RAINBOW  
Duftstoff statt Nervengift  
Ölsaaten in der Lack- und Bindemittelindustrie  
Die Biokerze

### **Technologien und Innovationen bei Produktionsprozessen (Band 10b/2009)**

Zero Emission Ansatz als Instrument der nachhaltigen Unternehmensführung  
Produzieren mit Sonnenenergie  
Brennstoffzellen  
ECODESIGN  
Nachhaltige Gestaltung von Hochgeschwindigkeitsbearbeitungs-Prozessen  
Umweltverträgliche Kälteerzeugung  
Entwicklung von geschweißten Vollholz-Parkettelementen  
Antistatische Lacke für Parkettfußböden durch ionische Flüssigkeiten  
Stoffstrombasiertes Produktionsmanagement für Sägebetriebe  
MIXOLITH – ein ökoeffizienter Baustoff aus Reststoffen

### **Produkte und Produktdienstleistungs-Systeme (Band 10c/2009)**

Kreislaufwirtschaft für Elektro(nik)geräte  
Wiederaufbereitung gebrauchter Güter  
Erfolgsstrategien für Produkt-Dienstleistungssysteme  
Toolset zur Entwicklung von Produkt-Dienstleistungssystemen  
Ökoeffiziente Produkt-Service-Systeme in der öffentlichen Beschaffung  
Risikofrei zur Produktdienstleistung (RISP)  
Dienstleistung Pflanzenschutz  
Nachhaltige Waldbewirtschaftung  
Ozon aus der Flasche  
Dienstleistung Schmierung  
Marktorientiertes, nachhaltiges ROI-Contracting als neues Geschäftsfeld  
Nachhaltige Reparaturdienstleistungen

## **Inner- und überbetriebliches Nachhaltigkeitsmanagement (Band 10d/2009)**

Nachhaltige Wertschöpfungsketten und Nachhaltigkeitsnetzwerke  
Umweltkostenrechnung  
EASEY - Ecological And Social Efficiency  
Nachhaltige Unternehmensgründung  
Das Nachhaltige Krankenhaus  
i<sup>3</sup>- Sustainable Food Management  
Ganzheitliche Bewertung von Unternehmen  
Sozial nachhaltige Unternehmensführung  
FABRIKregio  
Sustainability Reporting  
Entwicklung nachhaltiger Finanzierungsinstrumente  
Einbindung von KonsumentInnenwissen  
Integration von KundInnen- und LieferantInnenwissen  
Aktives Einbeziehen von NutzerInnen in technische Innovationsprozesse  
Produktentwicklung gemeinsam mit NutzerInnen  
ÖKOTEXTILIEN – Aus der Nische zum Trendprodukt



# 1 Zero Emission Ansatz als Instrument der nachhaltigen Unternehmensführung

---

## ***EINLEITUNG***

### **Ausgangssituation**

Die galvanische Beschichtung von Metalloberflächen ist aus der modernen Technik nicht mehr wegzudenken. Durch galvanische Verfahren können kostengünstig langlebige Oberflächen hergestellt werden, die die Lebensdauer von Bauteilen durch Korrosionsschutz und Verminderung von Verschleiß verlängern. Im Grunde können dadurch Ressourcen geschont und die Umwelt entlastet werden. Dennoch führen galvanische Verfahren zu erheblichen Umweltbelastungen, da große Wassermengen notwendig sind. Die eingesetzten Metallsalze, Säuren und Laugen gelangen teilweise ins Abwasser und müssen oft aufwändig entfernt werden. Europaweit entsteht ca. 1 % des gesamten gefährlichen Abfalls in Galvanikbetrieben. Es besteht in diesem Bereich also ein großes Potential zur Vermeidung von Abfall. Durch gezielte organisatorische und technische Maßnahmen könnten Chemikalienverbräuche und Schlammanfall deutlich reduziert werden.

### **Ziele und Inhalte**

„ZERMEG I“ zielte darauf ab, eine Methodik zu entwickeln, mit der bestehende Galvanikanlagen so umgestellt, betrieben und umgebaut werden können, dass sie unter weitgehender Reduktion des Chemikalieneinsatzes und Kreislaufschließung betrieben werden können. Erreichen wollte man dies mittels eines methodischen Vorgehensmodells und eines Rechenprogramms zur Identifikation der theoretisch idealen Wasser- und Chemikalienverbräuche. Die Anwendung der Methodik wurde in drei Pilotprojekten getestet.

In „ZERMEG II“ wurden die Ergebnisse aus dem ersten Projekt vertieft und verbreitert. Durch Einbindung neuer ProjektpartnerInnen wurde die Anzahl der Anwendungen der ZERMEG-Methode maßgeblich erhöht. Auf einer Homepage ([www.zermeg.net](http://www.zermeg.net)) wurden die Dokumentation der Fallstudien, ein Leitfaden und ein Rechenprogramm zur Selbstanalyse für interessierte Unternehmen der breiten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.

Im Rahmen von „ZERMEG III“ wurde ein Planspiel entwickelt, das dem Benutzer anhand eines realitätsnah dargestellten Computermodells die wesentlichen Elemente eines Betriebes aus Technik, Organisation und Unternehmensumfeld zeigt. Das Spiel erlaubt, für verschiedene Perioden unternehmerische Entscheidungen zu treffen und so Erfahrungen mit den Vorteilen einer nachhaltigen Unternehmensführung zu sammeln.

Aktuell gibt es zwei Projekte, die auf den bisherigen Arbeiten aufbauen: „ZERMET“ überträgt den ZERMEG Ansatz auf die Textilindustrie. In „Zwei Tage Nachhaltigkeit“ wird das Planspiel, das im Rahmen von „ZERMEG III“ konzipiert wurde, an der Montanuniversität Leoben im Rahmen eines zweitägigen Seminars angeboten, um praktische Erfahrungen mit nachhaltiger Unternehmensführung zu machen.

## Die Projekte im Rahmen der Programmlinie

Zur Optimierung von bestehenden Galvanikanlagen liegen im Rahmen der Programmlinie Fabrik der Zukunft zwei Projekte vor. „ZERMEG I“ lieferte die Basisdaten zur Optimierung von Galvanikanlagen, „ZERMEG II“ baute darauf auf. Im aktuell laufenden Projekt „ZERMET“ wird die Übertragung auf die Textilindustrie bearbeitet. Im Folgeprojekt „ZERMEG III“ wurde eine virtuelle „Fabrik der Zukunft“ modelliert und programmiert, um am Beispiel eines Galvanikbetriebes fundamentale Zusammenhänge einer erfolgreichen nachhaltigen Unternehmensführung zu erlernen. Das Planspiel wird im laufenden Projekt „Zwei Tage Nachhaltigkeit“ bei einem zweitägigen Seminar an der Montanuniversität Leoben praktisch erprobt.

### 1. ZERMEG I - Zero Emission Retrofitting Of Existing Galvanizing Plants

#### Projektleitung:

Dr. Johannes Fresner  
STENUM GmbH  
Geidorfgürtel 21, A-8010 Graz

Tel.: +43 (0)316 367156-20

E-Mail: [j.fresner@stenum.at](mailto:j.fresner@stenum.at)

Internet: [www.stenum.at](http://www.stenum.at)

Endbericht: Nr. 21/2003 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

### 2. ZERMEG II - Zero emission retrofitting method for existing galvanising plants

#### Projektleitung:

Dr. Johannes Fresner  
STENUM GmbH  
Geidorfgürtel 21, A-8010 Graz

Tel.: +43 (0)316 367156-20

E-Mail: [j.fresner@stenum.at](mailto:j.fresner@stenum.at)

Internet: [www.stenum.at](http://www.stenum.at)

Endbericht: Nr. 22/2006 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

### 3. ZERMET – Zero Emission Retrofitting for Existing Textile Plants

#### Projektleitung:

Dr. Johannes Fresner  
STENUM GmbH  
Geidorfgürtel 21, A-8010 Graz

Tel.: +43 (0)316 367156-20

E-Mail: [j.fresner@stenum.at](mailto:j.fresner@stenum.at)

Internet: [www.stenum.at](http://www.stenum.at)

Die Laufzeit des Projekts endet voraussichtlich Mitte 2010. Download bzw. Bestellung des Endberichts nach Projektabschluss auf [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).



#### 4. ZERMEG III – Entscheidungshilfe zur Visualisierung des Erfolges nachhaltiger Unternehmensstrategien

##### Projektleitung:

Dr. Johannes Fresner  
STENUM GmbH  
Geidorfgürtel 21, A-8010 Graz  
Tel.: +43 (0)316 367156-20  
E-Mail: [j.fresner@stenum.at](mailto:j.fresner@stenum.at)  
Internet: [www.stenum.at](http://www.stenum.at)

Endbericht: Nr. 41/2007 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

#### 5. Zwei Tage Nachhaltigkeit

##### Projektleitung:

Dr. Rupert J. Baumgartner  
Lehrstuhl Wirtschafts- und Betriebswissenschaften, Montanuniversität Leoben  
Franz-Josef-Straße 18, A-8700 Leoben  
Tel.: +43 (0)3842 402-6004  
E-Mail: [rupert.baumgartner@wbw.unileoben.ac.at](mailto:rupert.baumgartner@wbw.unileoben.ac.at)

Die Laufzeit des Projekts endet voraussichtlich Ende 2009. Download bzw. Bestellung des Endberichts nach Projektabschluss auf [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## ***INHALT***

### **Die ZERMEG-Methode**

Basis für das entwickelte Modell zur Optimierung galvanischer Anlagen ist eine - neun Schritte umfassende - betriebsinterne Analyse. Der Grundablauf besteht aus:

- einer Beschreibung des eigenen Betriebes in Form von Stoff- und Energiebilanzen,
- der Bildung von wesentlichen Kennzahlen,
- dem Vergleich dieser Kennzahlen mit einer idealen Berechnung wesentlicher Prozessparameter,
- der Analyse beobachtbarer Differenzen,
- der Zuordnung von Differenzen zu Ursachen und
- der Ableitung organisatorischer oder technischer Maßnahmen zur Annäherung an das Ideal.

Schritt Nummer	Bezeichnung	Tätigkeiten
1	Ist-Analyse: Messen des Wasserverbrauches und des Chemikalieneinsatzes	Erstellung eines Prozessfließbildes, Dokumentation des Wasserverbrauches anhand des Wasserzählers, ev. Einbau von Zählern, Dokumentation der Chemikalienverbräuche mit Daten des Einkaufs und Messung der nachgeschärften Mengen, Beginn der Dokumentation des Chemikalieneinsatzes badspezifisch
2	Ist-Analyse: Feststellen der Verschleppung	Empirisch durch Messen, zum Vergleich durch Berechnung (Abschätzung)
3	Ist-Analyse: Definition des Spülkriteriums	Richtwerte aus der Literatur für Spülkriterium und/oder Leitfähigkeit des letzten Spülwassers, Rückrechnung des verwendeten Spülkriteriums
4	Vergleichsberechnung: Berechnung des Wasserverbrauches	Mit dem Programm ZEPRA <sup>9</sup>
5	Vergleichsberechnung: Berechnung der Chemikalienverbräuche	Mit dem Programm
6	Definition möglicher externer Verwertung und Entsorgung	Kontakte mit potentiellen Abnehmern, Chemikalienlieferanten
7	Definition von möglichen Rückführungen	Anwendung des Registers von Technologien zur Kreislaufschließung
8	Bewertung der Optionen	Bewertung nach finanziellen und nachhaltigen Kriterien
9	Optimierung der Abwasseranlage	

Tab.: Die ZERMEG-Methode

## 1. Wasserverbrauch und Chemikalieneinsatz

Am Anfang steht also immer eine Ist-Analyse. Wasserverbrauch und Chemikalieneinsatz in der zu untersuchenden Galvanik werden erhoben. Im Rahmen einer Vergleichsberechnung werden dann der ideale Wasserverbrauch und die idealen Chemikalienverbräuche kalkuliert. So können Möglichkeiten zur externen Verwertung, Entsorgung und Rückführung definiert werden. Schließlich werden alle Optionen bewertet und Schritte in Richtung Optimierung der Abwasseranlage gesetzt.

Durch den Vergleich mit den idealen Materialverbräuchen lassen sich die einzelnen Optimierungsansätze ableiten: Ausgehend von dem definierten Spülkriterium werden für das Teilespektrum und die bestehende Konfiguration mit einem eigens für diesen Zweck entwickelten Programm (ZEPRA) die minimalen Wasser- und Chemikalienverbräuche errechnet. Das

Programm arbeitet mit einer Blackboxlogik zur Berechnung von Spülprozessen und Heuristiken für einzelne Prozessbäder.

Durch den Vergleich der Realverbräuche der einzelnen Projektschritte mit den rechnerisch ermittelten Idealwerten lassen sich Punkte aufzeigen, in denen Ist- und Sollwert nicht übereinstimmen. In einer Dokumentation werden verschiedene Lösungen zur Reduktion von Ausschleppungen von Prozessbädern, zur Verbesserung der Spültechnik, zur Badpflege zur Standzeitverlängerung und zur Rückführung von Elektrolyten beschrieben. Die wesentlichsten Ansätze werden im Detail mit Einsatzbereichen und Kosten beschrieben. Im Sinne eines Expertensystems sind Auswahlkriterien für ihren Einsatz angegeben.

Das Programm wurde in drei Fallstudien in einem Eloxalbetrieb (Anodisieranstalt Heuberger), bei der Verkupferung von Druckwalzen (Rotoform) und der Beize einer Feuerverzinker (Mosdorfer) getestet. In allen drei Fällen konnte deutliches Verbesserungspotenzial aufgezeigt werden.

Bei der Anodisieranstalt Heuberger konnte durch die Anwendung der Methode der spezifische Wasserverbrauch um 95 % reduziert werden. Der Verbrauch an Säure und Lauge pro behandelter Oberfläche wurde um 50 % gesenkt. Erreicht wurde dies durch ein besseres Verständnis der Abläufe in den Bädern und der relevanten betrieblichen Vorgänge. Durch treffende Modellierung und Berechnung unter Berücksichtigung von Nichtidealitäten konnte das notwendige Know-how im Betrieb aufgebaut werden. Entfettungseffekte konnten optimiert und der Metallabtrag minimiert werden. Standzeiten wurden deutlich verlängert. Durch bessere Durchmischung in den Bädern erzielte man bessere Spülung. Es wurden neue Technologien zur Badpflege eingesetzt und neue Verwertungswege identifiziert.

Als Werkzeug zur Bewertung galvanischer Prozesse wurde ein Spinnendiagramm entwickelt („ZERMEG-Grid“). Auf sechs Achsen werden die Quotienten aus den tatsächlich erreichten Werten im Verhältnis zu den "idealen Werten" der für den Wasser- und Chemikalienverbrauch entscheidenden Faktoren (Spülkriterium, Ausschleppung, Spülwasserverbrauch, Beizabtrag, Standzeit und Verwertungsgrad) aufgetragen. Für diese Faktoren werden Idealwerte als Bezugsgrößen angegeben.

Das folgende Beispiel zeigt die Anwendung des ZERMEG-Grids für die Fallstudie der Firma Heuberger. Ausgangssituation (rote Linie) und Optimierungsergebnisse (blaue Linie) werden hinsichtlich der sechs Basisfaktoren verglichen. Die Zielfunktion wird von der Ideallinie (grüne Linie) markiert.

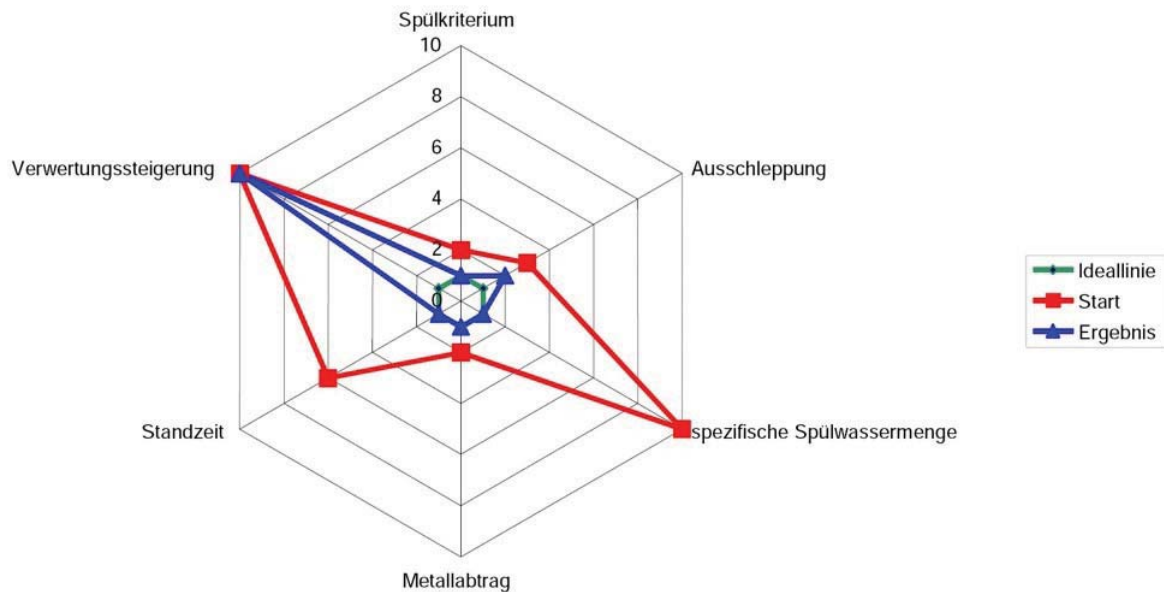


Abb.: ZERMEG-Grid Fallstudie Anodisieranstalt Heuberger

Ein Projektziel von „ZERMEG I“ war auch die Suche nach potenziellen AbnehmerInnen für Nebenprodukte (Aluminiumhydroxid, Aluminiumsulfat). Erste Verhandlungen konnten jedoch keine zufriedenstellenden Konditionen erzielen.

Zur Verbreitung der Projektergebnisse wurde die Website [www.zermeg.net](http://www.zermeg.net) angelegt. Sie bietet praxisorientierte Elemente für interessierte Betriebe an. Es sind Informationen zum Einstieg in die Methode von ZERMEG, ein Programm, Benchmarks und Referenzdaten zur Anwendung der Methode zu finden, außerdem eine Sammlung von Anwendungsbeispielen, Verweise auf weiterführende Literatur und Internetseiten und die Möglichkeit zum Austausch und zur Diskussion.

## 2. Entfetten und Beizen

Hauptaugenmerk bei „ZERMEG II“ lag auf der Erarbeitung bisher unbekannter Grundlagen hinsichtlich neuer Technologien beim Entfetten und Beizen. Der Beschreibung der Vorgänge im Entfettungsbad sowie der Abläufe in diversen Beizbädern kam hierbei oberste Priorität zu. Beispiele sind die Verseifung von Fetten in unterschiedlichen Entfettungsbädern und deren Beeinflussung der Qualität, oder die Zusammensetzung der Beizlösung bzw. des sich meist bildenden ausgefällten Schlammes und damit die Zusammensetzung der Verschleppungen in die nachfolgenden Spülen.

Die Funktion der Entfettung von Teilen vor der Oberflächenbehandlung ist kritisch: Sie muss anhaftende Öle und Fette, die als Konservierungsmittel oder bei der mechanischen Bearbeitung durch Schneiden, Drehen, Fräsen, Bohren, etc. als Hilfsstoffe verwendet werden, verlässlich von der Oberfläche ablösen. Ansonsten würde sie in die weiteren Bäder verschleppt werden. Das wiederum würde eine aufwändige Badreinigung erfordern und in vielen Fällen das Recycling oder die externe Verwertung von Konzentraten verhindern bzw. die Öle und Fette würden über die Spülwässer in das Abwasser gelangen und dort behandelt werden müssen.

Die Funktion der Beize ist kritisch, weil durch sie eine metallisch reine, gleichmäßige Oberfläche der Teile in vielen Fällen mit bestimmten technischen und optischen Eigenschaften

erzielt wird. Diese Funktion ist unerlässlich, um später in den Wirkbädern zu einwandfreien Ergebnissen zu kommen. Gleichzeitig entstehen in der Beize durch den Abtrag und das Auflösen von Zunder, Spänen und Metall gelöste Metallsalze, die anschließend verwertet oder entsorgt werden müssen. Die Wirksamkeit der Beize hängt von vielen Faktoren ab: Von den Konzentrationen der eingesetzten Chemikalien (Säuren und Laugen), von den Konzentrationen verschiedener Metalle in den Bädern sowie von den Temperaturen in den Bädern. Die eingesetzten Inhibitoren und die Umwälzung und Durchmischung der Bäder spielen ebenso eine Rolle wie eine Konstanz der Badbedingungen.

Zur Auswirkung dieser Faktoren gab es teilweise Literaturangaben auf der Basis von Laborversuchen. Die zugrunde liegenden Daten wurden meistens im Labor mit reinen Metallen und reinen Säuren oder Laugen gewonnen. Es konnte bereits im Rahmen von „ZERMEG I“ gezeigt werden, dass diese Daten in vielen Fällen nicht die tatsächlichen Vorgänge mit den industriell eingesetzten Legierungen und mit technisch eingesetzten Badchemiekompositionen widerspiegeln. Beispielsweise konnte gezeigt werden, dass Inhomogenitäten und Mischungseffekte die Konzentrationen im Vergleich zu theoretisch errechneten bei idealer Mischung um den Faktor 10 beeinflussen können. Verdunstungseffekte wichen ebenfalls um den Faktor 4 von den Literaturwerten ab. Die Eigenschaften der Beize (Dichte, Viskosität, Verschmutzungen) beeinflussen wiederum die Ausschleppung aus den Bädern und damit den Spülwasserbedarf.

Daher sollten in „ZERMEG II“ zunächst eine verbreiterte und vertiefte Datenbasis geschaffen werden.

Durch Messungen des Metallabtrags, zuerst im Labor und dann in Anlagen von zwei Betrieben mit tatsächlich eingesetzten Legierungen und Bädern und durch die Entwicklung von Konzentrationsprofilen, wurden (semi)empirische Parameter erarbeitet. Einen weiteren Arbeitsschwerpunkt bildeten neue Ansätze zur Badpflege, zur Standzeitverlängerung und zum Ausschleusen von störenden Verunreinigungen, um sie in anderen Branchen als Rohstoffe einzusetzen.

Auch das Programm ZEPRA zur Vorausberechnung der idealen Verbräuche wurde im Rahmen von „ZERMEG II“ weiterentwickelt: Jedes Bad und jede Trennoperation wird als eine in sich geschlossene Einheit betrachtet. Diese Vorgangsweise erlaubt es relativ einfach, weitere Bäder bzw. Trennoperatoren dem Programm hinzuzufügen. Für jedes zusätzliche Element wird eine Schablone programmiert, in der die Berechnung der Ausgangsströme aus den Eingangsströmen und sonstiger allgemeiner Parameter (z.B. Lufttemperatur über dem Bad) erfolgt. Diese Art der Programmierung erlaubt es auch, neue Berechnungsmodelle durch eine Neuprogrammierung einer bestehenden Schablone einzuführen. So können neue Erkenntnisse schnell in das bestehende Modell integriert werden, ohne dass die schon bestehenden Teile in Mitleidenschaft gezogen werden. Beispiele für Berechnungen, die mit dem Programm ZEPRA durchgeführt werden können, sind Verdunstung, Verschleppung, Spülen, Beizen und Entfettung.

Durch die Einbindung neuer ProjektpartnerInnen konnte die Anzahl der Anwendungen der ZERMEG-Methode drastisch erhöht werden. Auf [www.zermeg.net](http://www.zermeg.net) wurde eine Dokumentation der Fallstudien, der Leitfaden und die Rechenprogramme zur Selbstanalyse für interessierte Unternehmen der breiten Öffentlichkeit auf Deutsch und Englisch zur Verfügung gestellt. Auf die Homepage wurde im Jahr 2004 8.500 Mal zugegriffen.

## Umsetzung

Identifizierte Maßnahmen wurden, wie schon im Vorprojekt, von den IndustriepartnerInnen unmittelbar umgesetzt. Diese umfassten den Umbau der Spültechnik von drei Beizanlagen bei dem Walzdrahthersteller Pengg, die Nutzung von Altlauge zur Vorneutralisierung und eine Elektrolyse zur Kupferrückgewinnung aus den verbrauchten Ätzbädern bei dem Leiterplattenhersteller AT&S, den Umbau der Spültechnik bei dem Druckformenhersteller Rotoform und die Neuorganisation der Säurewirtschaft bei der Verzinkerei Mosdorfer.

Bei dem Drahthersteller wurde die Spültechnik in den Anlagen maßgeblich optimiert. Maßnahmen waren der Zusammenschluss der zweistufigen Fließkaskade mit der Heißspüle zu einer dreistufigen Fließkaskade und die Auftrennung der Spülen in den Durchlaufanlagen in dreistufige Spülkaskaden. Die Spülwassermenge in der Standbeize konnte bisher um 50 % reduziert werden. Parallel zu diesen Arbeiten konnten theoretische Ansätze entwickelt werden, die Altsäure größtenteils in ein nutzbares Nebenprodukt überzuführen.

Bei dem Leiterplattenhersteller wurden erstens eine Kupferelektrolyse zur Rückgewinnung von Kupfer aus Konzentraten und Spülwässern und zweitens die Nutzung von stark alkalischen Stripplösungen zur Vorneutralisation von stark sauren Konzentraten umgesetzt. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ergab eine klare Empfehlung. Jetzt werden täglich über 20 kg Kupfer aus dem Abwasser rückgewonnen. In der Abwasserbehandlungsanlage werden heute alkalische Konzentrate aus dem Strippen nach der Behandlung durch die Tuchfilter zur Vorneutralisation der sauren Konzentrate in der Abwasserbehandlung eingesetzt. Dadurch werden jährlich ca. 20 Tonnen Natronlauge und eine ähnlich große Menge an Salzsäure eingespart.

In der Verzinkerei wurde konsequent an der Umsetzung einer getrennten Säurewirtschaft gearbeitet. Heute werden Abzinkbeize und Eisenbeizen vollständig getrennt und im gesamten Umfang stofflich verwertet. Das Nachschärfen der Beizen erfolgt auf der Basis von wöchentlichen Badanalysen und der konsequenten Anwendung der Mischungsregeln zur optimalen Führung der Beizen. Dadurch wurde der Säureverbrauch 2004 gegenüber dem Vorjahr um 50 % reduziert.

Bei dem Druckformenhersteller wurden die Galvanikautomaten mit neuen Flachdüsen mit optimierter Strahlgeometrie zur Spülung bestückt und der Wasserdruck optimiert. So wurde der Wasserverbrauch um 50 % und der Säureverbrauch um 40 % reduziert.

## **Ergebnisse**

Im Rahmen von „ZERMEG I“ konnte ein Programmpaket zur schrittweisen Optimierung galvanischer Anlagen im Sinne der Nachhaltigkeit entwickelt werden. Die Methode ermöglicht es, dass bestehende Galvanikanlagen so umgestellt, betrieben und umgebaut werden können, dass sie unter weitgehender Reduktion des Chemikalieneinsatzes und Kreislaufschließung arbeiten. Die praktische Umsetzung im Rahmen von drei Pilotprojekten war äußerst erfolgreich. Eine Reduktion des spezifischen Wassereinsatzes von 80 bis 95 % und eine deutliche Reduktion des spezifischen Chemikalieneinsatzes waren das Ergebnis der Anwendung von ZERMEG.

Mit „ZERMEG II“ wurden die Ergebnisse aus dem ersten Projekt vertieft und verbreitert. Durch die Einbindung neuer ProjektpartnerInnen konnte die Anwendung der ZERMEG-

Methode drastisch erhöht werden. Zur Verbreitung der Ergebnisse wurde bereits im Rahmen von „ZERMEG I“ die Internethomepage [www.zermeg.net](http://www.zermeg.net) angelegt. Sie liefert alle wichtigen Informationen und Daten zur Anwendung der Methode im eigenen Betrieb. Im Zuge von „ZERMEG II“ wurde die Homepage erweitert. Ein praxisorientierter Leitfaden und ein Rechenprogramm zur Selbstanalyse (ZEPRA) wurden auf diesem Weg einer breiten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.

Durch die Zusammenführung von Industriebetrieben mit vergleichbaren Problemen und dem gemeinsamen Ziel vom abfall- und abwasserfreien Oberflächentechnik-Unternehmen wurde die Grundlage für eine breite Diffusion des ZERMEG-Gedankens geschaffen. Das Interesse einer immer größeren Anzahl von Betrieben an der Methode zeigt, dass der eingeschlagene Weg richtig ist. Projekt und Projektmethode konnten durch die Schaffung von Beispielen und durch die Präsentation der Ergebnisse die Idee eines abwasser- und abfallfreien Galvanikbetriebes weithin verbreiten.

### 3. Übertragung auf die Textilindustrie

Im derzeit laufenden Projekt „ZERMET“ ist die Übertragung des ZERMEG Ansatzes auf die Textilindustrie geplant. Das größte Umweltproblem in der Textilindustrie betrifft die Menge der Abwässer und deren chemische Belastung. Weitere wichtige Themen sind der Energieverbrauch, die Abgasemissionen, die festen Abfälle und die Geruchsemissionen, die bei bestimmten Behandlungen eine erhebliche Belästigung darstellen können.

Als besonders interessant für die Anwendung von ZERMET sind Waschprozesse, Färbeprozesse und nasse Ausrüstung<sup>1</sup>. Für diese Prozesse sollen

- "ideale Vergleichsprozesse" mit minimalem Wasser- und Energieverbrauch zur Erreichung des Prozesszieles,
- Abweichungsanalysen, d.h. Analysen des Status Quo im Vergleich zu den idealen Prozessen sowie
- eine Definition von (radikalen) Verbesserungsmaßnahmen zur Reduktion von Wasserverbrauch, Chemikalieneinsatz und Energieverbrauch durchgeführt werden.

Aus dem idealen Endergebnis wird in einem Backcastingprozess ein Satz von Maßnahmen abgeleitet, der Entwicklungspfade beschreibt, die von der bestehenden Ausgangssituation möglichst nahe an den Idealzustand (definiert durch minimalen Chemikalieneinsatz, Wasserverbrauch und Abwasseranfall) heran führen. So entsteht für den Betrieb Richtungssicherheit bei der Auswahl von Maßnahmen zur Reduktion von Wasserverbrauch, Energieeinsatz und Chemikalienverbrauch und eine sichere Basis für Investitionsentscheidungen bei der umwelttechnischen Optimierung einer Bestandsanlage. Im Projektverlauf sind dazu Fallstudien mit drei Textilbetrieben geplant.

### 4. Planspiel

Im Rahmen von ZERMEG III wurde eine „Virtuelle Fabrik der Zukunft“ modelliert und programmiert. Dieses Modell zeigt den BenutzerInnen anhand eines realitätsnah dargestellten Computermodells die wesentlichen Elemente eines Betriebes aus Technik, Organisation und

---

<sup>1</sup>Nasse Ausrüstung: Veredlungsmaßnahmen an textilen Stoffen, Garnen und Fasern in flüssigem Medium.

Unternehmensumfeld und erlaubt ihm, für verschiedene Perioden unternehmerische Entscheidungen zu treffen.

Ziel des Planspiels ist es, zu lernen, dass eine nachhaltige Steigerung des Unternehmenswertes nur durch eine gleichzeitige Optimierung der Parameter Ressourceneffizienz, Kostensituation und Investments in Humanressourcen, eine Verbesserung der Arbeitsbedingungen, eine Stimulierung von Innovation sowie die Verbesserung der Kooperation und Vernetzung des Betriebes erfolgen kann.

Zielgruppe des Modells sind PraktikerInnen, BetriebsleiterInnen, GeschäftsführerInnen und das mittlere Management. So wirkt die Arbeit mit dem Modell vorbereitend für die Definition einer eigenen nachhaltigen Unternehmensstrategie auf der Basis der gesammelten vergleichenden Erfahrungen. Damit regt das Modell die BenutzerInnen an, eine eigene Unternehmensstrategie auf der Basis der gesammelten virtuellen Erfahrungen mit nachhaltiger Unternehmensführung zu entwickeln.

### **Gestaltung des Modells**

Basierend auf den in ZERMEG I und ZERMEG II gewonnenen Erkenntnissen werden am Beispiel eines Galvanikbetriebes fundamentale Zusammenhänge einer erfolgreichen nachhaltigen Unternehmensführung aufgezeigt und angeeignet.

Das Modell gibt die Möglichkeit, die wesentlichen Teile der Firma auszuwählen, Produkte zu wählen, Stoffe auszuwählen, technische und organisatorische Maßnahmen zu treffen, KundInnen auszuwählen und Preise für einen definierten Zeitraum festzulegen. Als Antwort auf diese Entscheidungen werden die Auswirkungen in der „Virtuellen Fabrik der Zukunft“ auf

- Inputdaten
- Outputdaten
- Kosten
- Abfallmengen
- Emissionen
- CO<sub>2</sub>-Bilanzen
- Indikatoren für MitarbeiterInnenzufriedenheit
- Know-how-Entwicklung
- Legal Compliance
- KundInnensicht
- Berücksichtigung von Interessen der AnrainerInnen, etc.

in Abhängigkeit der Entscheidungen berechnet bzw. anhand des Systemmodells aufgezeigt. Die Bewertung der Aktivitäten des Unternehmens nach den Kriterien der Nachhaltigkeit erfolgt unter Verwendung von etablierten Modellen.

Die Ergebnisse werden in Form leicht lesbarer Diagramme am Bildschirm ausgegeben. Sie zeigen die Entwicklung des Betriebes, abhängig von den getroffenen Entscheidungen. Damit eignet sich das Modell gut als Basis für interaktive Schulung und für das Sammeln von persönlichen Erfahrungen.



Als technische Plattform wurde ein regelbasiertes objektorientiertes System entwickelt. Durch die verwendete Technologie (Java JSF, XHTML, XML) ist eine einfache Wartung, verhältnismäßig rasche Erstellung und weite Verbreitung gewährleistet.

### **Praktische Anwendung des Planspiels**

Die Praxisnähe des Ansatzes und des Modells wurde bereits im Rahmen des Projekts „ZERMEG III“ in Tests mit Betrieben, einer Fachhochschule und einer Universität unter Beweis gestellt.

### **5. Zwei Tage Nachhaltigkeit**

Zurzeit wird an der Montanuniversität Leoben ein zweitägiges Seminar konzipiert, in dem einerseits praxistaugliche Managementinstrumente vorgestellt und geübt, andererseits gemeinsam in kleinen Gruppen mit dem Planspiel ZERMEG III praktische Erfahrungen mit nachhaltiger Unternehmensführung gesammelt werden sollen.

## 2 Produzieren mit Sonnenenergie

---

### ***EINLEITUNG***

#### **Ausgangssituation**

Obwohl der größte Anteil der in der österreichischen Industrie benötigten Energie auf den Bereich der Niedertemperaturwärme entfällt, wurde dieser potenzielle Anwendungsbereich für die thermische Nutzung der Sonnenenergie noch kaum untersucht und erschlossen.

Der Gesamtenergiebedarf der österreichischen Industrie beträgt 264 PJ/Jahr (1 Petajoule =  $10^{15}$  Joule). Der Hauptanteil des Endenergieverbrauchs der Industrie entfällt auf Prozesswärme (21 %), wobei diese derzeit nur zu 12 % aus erneuerbaren Energiequellen gedeckt wird (1998).

Mittelfristig könnten allerdings durch Solarkollektoren 2 % dieses Bedarfs gedeckt werden, wofür etwa 4.300.000 m<sup>2</sup> Kollektorfläche notwendig wären. Im Vergleich dazu betrug im Jahr 2005 die gesamte in Österreich installierte Kollektorfläche etwas mehr als 3 Millionen m<sup>2</sup>. Abschätzungen für den solarthermisch abdeckbaren Wärmeenergiebedarf zeigen mögliche Einsparungen von 240.600.000 Litern Öläquivalent und damit verbunden ein CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenzial von 656.000 Tonnen pro Jahr.

Darüber hinaus ist nicht nur im Büro- sondern auch im Produktionsbereich ein wachsender Kältebedarf zu beobachten. Gelingt es, die Solarenergie auch für Kühlung und Klimatisierung im industriellen Bereich zu nutzen, könnten zusätzlich erhebliche Einsparungen erzielt werden. Dabei wird Kälte sowohl für die Kühlung und Klimatisierung von Hallen, in denen sensible Geräte stehen oder sensible Produkte verarbeitet werden, als auch für das Kühlen innerhalb von Produktionsprozessen benötigt. Analog zur Klimatisierung im Gebäudebereich ist dieser Kühlbedarf im Sommer durch passive solare Gewinne und generell höhere Umgebungstemperaturen höher als im Winter.

#### **Ziel der Forschungsaktivitäten und Herausforderungen**

Ziel der Forschungsaktivitäten war es, unternehmerische Entscheidungsgrundlagen für Betriebe zu schaffen, die zu einer Nutzung von solarthermischen Anlagen in Industrie- und Gewerbebetrieben führen. Demgemäß sollten erfolgreiche Beispiele des Einsatzes solarthermischer Anlagen in Industrie und Gewerbe dokumentiert, Konzepte für die Integration von Solarwärme in Produktionsprozesse und in die Raumwärmebereitung erstellt und deren Potenzial ermittelt werden. In Fallstudien sollte darüber hinaus die Umsetzung von Demonstrationsanlagen forciert werden.

Um in diesem Marktsegment Fuß fassen zu können, war es auch notwendig, einen Kollektor mit kleinen Abmessungen zu entwickeln, der wegen seines geringen Gewichts und seiner geringen Größe ohne großen Aufwand problemlos auf Fabrikdächern zu installieren ist.

In Bezug auf die industrielle Kälteerzeugung war es das Ziel, Kälte mit einer solarthermisch angetriebenen Dampfstrahl-Kältemaschine (DSKM) zu realisieren. Das Dampfstrahl-Kälteverfahren stellt einen thermischen Kälteprozess mit dem Kältemittel Wasser dar.

## Die Projekte im Rahmen der Programmlinie

Im Rahmen der Programmlinie Fabrik der Zukunft wurden drei Teilprojekte durchgeführt. In einem ersten Schritt wurde das Potenzial für thermische Solarenergienutzung in Gewerbe- und Industriebetrieben ermittelt. Anschließend wurde ein Kollektor nach dem Parabolrinnenprinzip entwickelt. Die Firma Knopf Design baute einen ersten Prototypus.

### 1. PROMISE – Produzieren mit Sonnenenergie: Potenzialstudie zur thermischen Solarenergienutzung in österreichischen Gewerbe- und Industriebetrieben

#### Projektleitung:

DI Thomas Müller, Ing. Werner Weiß

AEE INTEC – Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie, Inst. für Nachhaltige Technologien  
Feldgasse 19, A-8200 Gleisdorf

Tel.: +43 (0)3112 5886-16

E-Mail: [t.mueller@aee.at](mailto:t.mueller@aee.at)

Internet: [www.aee-intec.at](http://www.aee-intec.at)

Endbericht: Nr. 01/2004 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.nachhaltigwirtschaften.at](http://www.nachhaltigwirtschaften.at).

### 2. Entwicklung und Optimierung eines Parabolrinnenkollektorsystems zur Erzeugung von Prozesswärme für industrielle Produktionsprozesse

#### Projektleitung:

DI Dagmar Jähmig

AEE INTEC – Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie, Inst. für Nachhaltige Technologien  
Feldgasse 19, A-8200 Gleisdorf

Tel.: +43 (0)3112 5886-28

E-Mail: [d.jaehmig@aee.at](mailto:d.jaehmig@aee.at)

Internet: [www.aee-intec.at](http://www.aee-intec.at)

Endbericht: Nr. 61/2006 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

### 3. Solarthermische Kälteerzeugung mit Parabolrinnenkollektorsystem und Dampfstrahl-Kältemaschine

#### Projektleitung:

DI Dagmar Jähmig

AEE INTEC – Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie, Inst. für Nachhaltige Technologien  
Feldgasse 19, A-8200 Gleisdorf

Tel.: +43 (0)3112 5886-28

E-Mail: [d.jaehmig@aee.at](mailto:d.jaehmig@aee.at)

Internet: [www.aee-intec.at](http://www.aee-intec.at)

Die Laufzeit des Projekts endet voraussichtlich Ende 2009. Download bzw. Bestellung des Endberichts nach Projektabschluss auf [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

# ***INHALT***

## **1. Potenzialstudie zur thermischen Solarenergienutzung**

Die breite Anwendung von solarthermischen Anlagen konzentrierte sich bisher nahezu ausschließlich auf den Bereich der Ein- und Mehrfamilienhäuser. In weit geringerem Ausmaß finden sie auch für die Warmwasserbereitung in Schwimmbädern Verwendung. Obwohl der Großteil der benötigten Energie der österreichischen Industrie Niedertemperaturwärme ist, wurde dieser Anwendungsbereich für die Nutzung von Solarenergie noch nicht erschlossen und untersucht.

Als Niedertemperaturprozesse werden jene Prozesse angesehen, die in einem Temperaturbereich von 20° C bis ca. 250° C ablaufen. Branchen, die Prozesswärme hauptsächlich über 300° C nachfragen, wurden in der Studie nicht berücksichtigt (z.B. die Metallgewinnung oder die Stein- und Erdenverarbeitung).

Der erste Schritt war die Erhebung und Dokumentation des Niedertemperaturwärmebedarfs in Industrie- und Gewerbebetrieben. Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über Prozesswärmeanwendungen und geeignete Kollektoren sowie realisierte Anlagen:

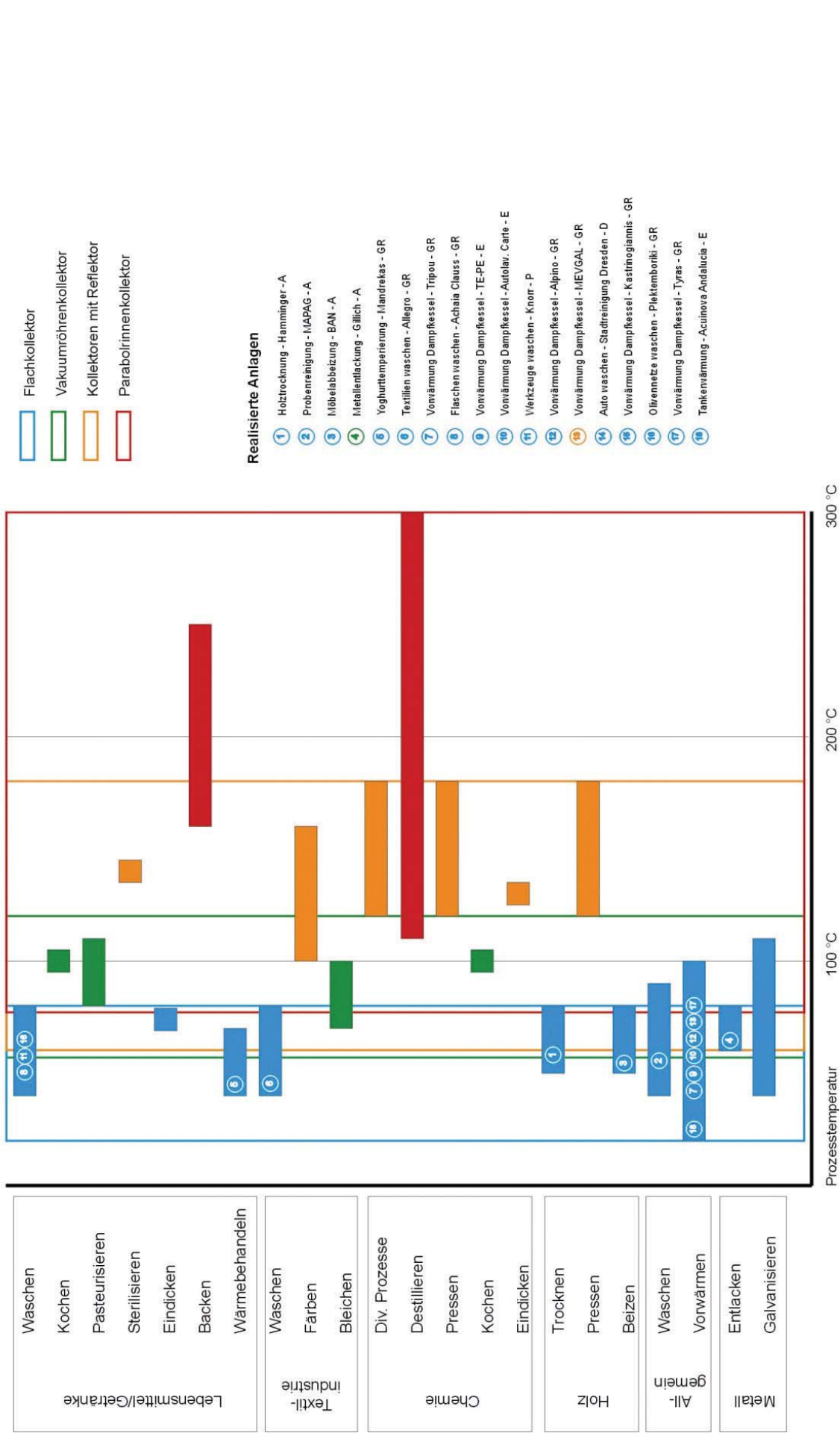


Abb.: Prozesswärmeanwendungen und geeignete Kollektoren sowie realisierte Anlagen

Daraufhin wurden das Potenzial und die Rahmenbedingungen für solarthermische Anlagen untersucht. Es wird von solaren Deckungsbeiträgen von 40 % für Prozesswärme bzw. 20 % für Raumwärme ausgegangen. Die dafür notwendigen Kollektorflächen betragen 4.300.000 m<sup>2</sup> bzw. 2.600.000 m<sup>2</sup>. Mittelfristig könnten damit 2 % des gesamten industriellen Energiebedarfs in Österreich durch Solarkollektoren generiert werden.

Im Vergleich dazu gehen Potenzialstudien für Spanien und Portugal davon aus, 3,5 % des Endenergiebedarfs solarthermisch decken zu können. Eine Studie für die Niederlande spricht hingegen lediglich von 0,3 %.

Daher wurden Fallstudien für Betriebe erstellt, um die Möglichkeiten der solarthermischen Wärmeversorgung von Produktionsprozessen zu untersuchen und Systemkonzepte zu entwickeln. Durch Variation von Kollektorfeldgröße und Speichervolumen wurde die jeweils wirtschaftlichste Variante ermittelt und den Betrieben präsentiert. Bereits im Oktober 2002 wurde eine solar versorgte Autowaschanlage („SunWash“) in Köflach in Betrieb genommen. Damit wurde die technische und wirtschaftliche Machbarkeit solarthermischer Prozesswärmeanlagen belegt. Da Autos hauptsächlich bei Schönwetter gewaschen werden, kann die solare Einstrahlung optimal genutzt werden. Die Solaranlage deckt im Jahresdurchschnitt 40 % des Warmwasserenergiebedarfs, im Sommer sogar bis zu 82 %. Aufgrund des großen Erfolgs wurde im Jahr 2004 eine weitere Anlage des gleichen Typs in Gratwein bei Graz eröffnet.

Die Ergebnisse zeigen ein großes Potenzial für solare Prozesswärme, denn das Interesse des produzierenden Gewerbes und der Industrie sowie der Solartechnikbranche ist sehr groß. Daher sollen Anlagen realisiert werden, welche die technische und wirtschaftliche Machbarkeit demonstrieren. Um eine Umsetzung durch die Industrie zu ermöglichen, sind auf folgenden Gebieten Entwicklungsarbeiten notwendig:

- Kollektorentwicklung (Kostenreduktion, Entwicklung von Mitteltemperaturkollektoren für Prozesswärme bis 250° C)
- Integration von solarthermischen Anlagen in bestehende Wärmeversorgungssysteme
- Entwicklung von Finanzierungskonzepten

## 2. Parabolrinnenkollektorsystem zur Erzeugung von Prozesswärme

Derzeit wird eine breite Umsetzung von Solaranlagen für die Prozesswärmebereitstellung vor allem durch die von der Industrie geforderten kurzen Amortisationszeiten (maximal drei Jahre) gebremst.

Derzeit am Markt erhältliche Komponenten und Systeme wie Kollektoren, Speicher und Armaturen sind ausgereifter Stand der Technik und weisen Lebenserwartungen von ca. 20 Jahren auf. Vor allem Flachkollektoren und Vakuumröhrenkollektoren können für die Generierung von Prozesswärme bis zu einer Temperatur von 80° C bzw. 120° C wirtschaftlich eingesetzt werden. Über diese Temperatur hinaus sinken die Wirkungsgrade der Systeme so stark ab, dass eine wirtschaftliche Wärmeerzeugung nicht möglich ist. Studien zeigen aber, dass auch im Bereich zwischen 100° C und 200° C ein großer Bedarf an Prozesswärme nachgefragt wird (z.B. Lebensmittel-, Textil- und Chemieindustrie).

Solche Temperaturen sind nur mit sogenannten konzentrierten Systemen zu erreichen.

## Entwicklung eines Prototyps

Im Rahmen des Projekts wurde daher ein kostengünstiger konzentrierender Kollektor mit kleinen Abmessungen nach dem Parabolrinnenprinzip entwickelt. Er ist ohne großen Aufwand installierbar und kann wegen seiner geringen Größe sowie seines geringen Gewichts auf Fabriksdächern montiert werden. Dies stellt eine Neuheit im Bereich der Solartechnik dar.

Der erste Prototyp des Parabolrinnenkollektors der Firma Knopf Design (Wien) besteht aus einer Glasform, in dem als Spiegel ein Aluminiumblech angebracht ist. Eine Glasabdeckung über der Rinne schützt den Reflektor vor Verschmutzung und gewährleistet Stabilität. Der Receiver ist im Schwerpunkt der Rinne angeordnet.



Quelle: AEE INTEC

Der Prototyp wurde am Teststand der AEE INTEC in Gleisdorf vermessen, um den Wirkungsgrad des Kollektors bei verschiedenen Betriebstemperaturen bestimmen zu können. Da der Wirkungsgrad beim ersten Prototyp noch nicht zufriedenstellend war, wurden Optimierungsvorschläge mit dem Hersteller erarbeitet und umgesetzt. Es wurde

- der Receiver genauer positioniert
- eisenarmes Einscheiben-Sicherheitsglas (ESG) statt Fensterglas als Abdeckscheibe verwendet
- die Receiverbeschichtung verändert
- das Glashüllrohr evakuiert und
- der Receiverdurchmesser vergrößert

Dadurch konnte der Wirkungsgrad deutlich von 50 % auf 60 % gesteigert und die generelle Funktionsfähigkeit des Systems in einer realen Anwendung gezeigt werden.

Die größten Verlustfaktoren sind aber immer noch

- Spiegelverluste: 18 % (abhängig von der geometrisch exakten Fertigung der Parabelform, der Receiverposition und vom Material des Spiegels)
- Transmissionsverluste durch die Glasabdeckungen: 17 %

Zusätzlicher Entwicklungsbedarf besteht bei der weiteren Steigerung des Wirkungsgrades, der Identifizierung eines geeigneten Frostschutzmediums, der zuverlässigen Regelstrategie und einer Senkung der Produktionskosten

### **Testbetrieb**

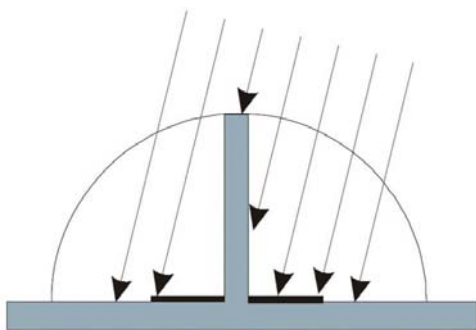
Wenn im Verteilnetz des Betriebes Druckwasser eingesetzt wird, sollte der Parabolrinnenkollektor ebenfalls mit Druckwasser oder einem anderen flüssigen Wärmeträgermedium betrieben werden. Die Wärme wird dann über einen Wärmetauscher ans Verteilnetz abgegeben.

Wenn das Unternehmen ein Dampfnetz betreibt, kann mit den Kollektoren entweder direkt Dampf erzeugt und ins Dampfnetz eingespeist werden oder ein flüssiges Wärmeträgermedium wird mittels indirektem Dampferzeuger zu Dampf umgewandelt und ins Netz eingespeist.

Um Erfahrungen mit dem Betrieb, der Regelung und der Wartung einer solchen Anlage zu gewinnen, wurde ein Anwendungsfall im Labormaßstab am Teststand in Gleisdorf aufgebaut und mit einem realistischen Wärmeabnahmeprofil vermessen. Das Kollektorfeld hatte vier parallel geschaltete Parabolrinnenkollektoren mit insgesamt 7,5 m<sup>2</sup> Aperturfläche. Es wurde von einem Prozess ausgegangen, der eine konstante Vorlauftemperatur von 140° C benötigt und eine ebenfalls konstante Rücklauftemperatur von 120° C liefert. Die Wärmeabnahme des Prozesses wurde mit 3,75 kW festgelegt. Aufgrund des ermittelten Wirkungsgrades sollte das Kollektorfeld bei maximaler Einstrahlung annähernd 100 % der Last decken können, bei niedrigerer Einstrahlung entsprechend weniger.

Nach ersten Erfahrungen mit dem Test des Systems ergab sich eine Reihe von Optimierungsvorschlägen. Bevor erste Demonstrationsanlagen errichtet werden, ist es notwendig, dafür Lösungsvorschläge zu entwickeln.

Die Regelung eines Parabolrinnenfeldes ist etwas komplexer als bei Flachkollektoranlagen. Die Kollektoren befinden sich nachts in Ruhestellung, morgens müssen sie hochgefahren und im Laufe des Tages von Osten nach Westen der Sonne nachgefahren werden. Zur Nachführung der Kollektoren wurde auf der Glasabdeckung ein Doppelstrahlungssensor installiert. Die beiden Sensorelemente sind durch eine Wand voneinander getrennt. Dadurch zeigen die beiden Sensoren bei schräg einfallender Strahlung unterschiedliche Werte an. Der Kollektor wird dann nachgeführt, bis die beiden Werte gleich sind.



### **Vergleich von Parabolrinnenkollektor und Vakuumröhrenkollektor**

Im Projekt wurden Parabolrinnenkollektoren mit 'konventionellen' Vakuumröhrenkollektoren bei verschiedenen Betriebstemperaturen und unter mittel- und südeuropäischen Klimabedingungen verglichen. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass bei 100° C Prozesstemperatur die Kollektoren unter beiden Klimabedingungen jeweils einen vergleichbaren Ertrag bringen.



Ab ca. 120° C Prozesstemperatur kommen die Vorteile des Parabolrinnenkollektors stark zum Tragen. Der Vorteil des Parabolrinnenkollektors zeigt sich besonders deutlich in den Wintermonaten, da nicht nachgeführte Kollektoren dann einen ungünstigen Winkel zur tief stehenden Sonne haben. Daher ist der Ertrag von Parabolrinnenkollektoren an schönen Wintertagen auch schon bei niedrigeren Temperaturen jenem von Vakuumröhrenkollektoren überlegen.

### **Energiespeicher**

Bei stark schwankendem Wärmebedarf ist der Solarertrag zeitweise viel höher als der Verbrauch. In diesem Fall ist der Einsatz eines Energiespeichers sinnvoll. Deshalb wurde parallel zur Kollektorentwicklung nach Technologien für die Speicherung von Wärme im Temperaturbereich bis 300° C gesucht. Die Speicherarten, die für den Temperaturbereich zwischen 100° C und 400° C existieren, sind vielfältig und unterscheiden sich im Speichermedium und im Druck- und Temperaturbereich.

Die Einbindung des Speichers in das Gesamtsystem, das Energiemanagement sowie die Abstimmung der Hauptkomponenten beeinflussen die Amortisation des Systems deutlich. In einer zukünftigen systemtechnischen Analyse sollten dabei folgende Aspekte betrachtet werden:

- Der Speicher sollte auch im nicht-solaren Betrieb zur Effizienzsteigerung der Energieumsetzung genutzt werden.
- Es sollten Optionen geprüft werden, ob die Verfügbarkeit von Speicherkapazität eine effektivere Prozessführung ermöglicht. So kann der thermische Prozess mit einer kleineren Maximalleistung ausgeführt werden, die aber gleichmäßiger ausgenutzt wird.
- Bereits kleine Speicherkapazitäten können die Auswirkungen von schnellen Änderungen in der solaren Einstrahlung auf Anlagenkomponenten verringern und erleichtern die Regelung der Anlage.
- Energie kann auch vom Speicher an das Kollektorfeld geliefert werden, um das tägliche Hochfahren zu beschleunigen oder die Betriebstemperatur bei kurzzeitigen Wolkendurchgängen zu halten.

### **Ausblick**

Die Ergebnisse dieses Projekts bilden die Grundlage für eine erfolgreiche Markteinführung der Technologie. Die erreichbaren hohen Temperaturen und die direkte Produktion von Dampf im Kollektor eröffnen ein völlig neues Marktsegment für die Solarbranche und ermöglichen den Ausbau der Technologieführerschaft Österreichs in diesem Bereich.

### **3. Solarthermische Kälteerzeugung**

In einem weiteren Projekt wurde damit begonnen, die solarthermische Kälteerzeugung für industrielle und gewerbliche Zwecke zu erproben, wobei die Kälte mit einer solarthermisch angetriebenen Dampfstrahl-Kältemaschine (DSKM) erzeugt werden soll.

Der DSKM-Prozess stellt ein sehr robustes Verfahren dar, das zumeist mit dem Kältemittel Wasser arbeitet und bei dem weitestgehend Standardkomponenten eingesetzt werden können. Wesentliche Vorteile gegenüber den besser bekannten Sorptionsverfahren sind die

schnelle Ansprechzeit, gutes Teillastverhalten sowie ein einfaches Anlagenkonzept. Das Wärmeverhältnis (COP - Coefficient of Performance) der DSKM ist umso höher, je höher Temperatur und Druck des Treibdampfes sind. Ein Betrieb zwischen 150 und 200° C wird angestrebt.

Daher ist eine Kombination mit einem Parabolrinnenkollektor ideal, da diese im Gegensatz zu konventionellen Flachkollektoren oder Vakuumröhrenkollektoren bei diesen Temperaturen noch einen guten Kollektorwirkungsgrad erzielen können.

### **Herausforderung**

Eine Reihe von in Frage kommenden Wärmeträgermedien wurde in einer ersten Projektphase analysiert. Es konnte jedoch kein Medium gefunden werden, das problemlos sowohl für die Dampfstrahlkältemaschine als auch für den Parabolrinnenkollektor geeignet ist. Daher wurde für den weiteren Projektverlauf entschieden, für das zu errichtende Gesamtsystem getrennte Kreisläufe einzusetzen, die Dampfstrahlkältemaschine mit Wasser und die Parabolrinnenkollektoren mit einem etwa 14%igen Ammoniak-Wasser-Gemisch zu betreiben.

### **Testbetrieb**

Der zur Direktverdampfung weiterentwickelte Kollektor wurde mit dem Ammoniak-Wasser-Gemisch als Wärmeträgermedium getestet, um erste Erfahrungen mit diesem Medium zu gewinnen. Die Versuche zeigten, dass das Medium sowohl für den Durchflussmodus, als auch für Direktverdampfung einsetzbar ist.

Im Betrieb wurden Schwierigkeiten bei der Leistungsmessung direktverdampfender Kollektoren deutlich: Wenn nur ein Kollektor getestet wird, sind die Durchflüsse bei der Direktverdampfung sehr gering. Außerdem muss man die Zusammensetzung des austretenden Dampfes kennen, um eine Energiebilanz erstellen zu können. Für weitere Tests und auch für die im weiteren Projektverlauf zu errichtende Testanlage des Gesamtsystems wird der Ertrag des Kollektorfeldes daher voraussichtlich sekundärseitig gemessen werden.

### **Testanlage**

Erste Konzepte für den Betrieb des Gesamtsystems wurden erarbeitet. Im weiteren Verlauf des Projekts werden diese Konzepte weiter ausgearbeitet und eines für die Umsetzung in einer Testanlage ausgewählt werden.

## 3 Brennstoffzellen

---

### ***EINLEITUNG***

#### **Ausgangssituation**

Mittels Brennstoffzellen kann chemische Energie ressourcenschonend und effizient in elektrische Energie umgewandelt werden. Fortschritte bei der Entwicklung von Brennstoffzellensystemen können einen maßgeblichen Schritt in Richtung einer schadstoffärmeren und saubereren Zukunft bedeuten. Zurzeit ist jedoch sowohl der Einsatz von Polymer-Elektrolyt-Membran Brennstoffzellen (PEM), als auch von Hochtemperatur-Brennstoffzellen (SOFC) auf einzelne Anwendungen beschränkt. Für diese Anwendungen sind teure Einzelfertigungsprozesse notwendig. Da die Erforschung von Brennstoffzellensystemen erst seit verhältnismäßig kurzer Zeit ein zentrales Thema darstellt, mangelt es noch an Technologien zur Massenfertigung im erforderlichen Umfang. Gelingt es, entsprechende Verfahren zu entwickeln, könnten Brennstoffzellensysteme schon bald auch für den Einsatz in Artikeln des täglichen Bedarfs zur Verfügung stehen.

#### **Ziele und Herausforderungen**

Im Projekt „Massenanfertigung für PEM-Brennstoffzellen“ sollte geklärt werden, ob Komponenten von PEM-Brennstoffzellen mit Hilfe der Spritzgießtechnologie und deren Sonderverfahren in kostengünstiger Massenfertigung herzustellen sind. So könnten PEM-Brennstoffzellen in kleinen Geräten wie beispielsweise in Mobiltelefonen oder Laptops zum Einsatz kommen.

Im Rahmen von „EASYCELL - Designoptimierung für PEM-Brennstoffzellen“ wollte man durch Optimierung des Designs der PEM-Brennstoffzelle eine breite Anwendung ermöglichen. Um das zu erreichen, sollte eine lateral betriebene Brennstoffzelle (EasyCell) realisiert werden, bei der die Befeuchtungseinheit für den Wasserstoffstrom zur Gänze weggelassen werden kann.

Das grundlegende Ziel des Projekts „Miniaturisierte keramische Hochtemperatur Brennstoffzellenkomponenten“ war die Evaluierung und Entwicklung eines ressourcenschonenden und energieeffizienten Massenfertigungsverfahrens für die Herstellung von miniaturisierten oxydkeramischen Hochtemperatur-Brennstoffzellen-Komponenten (SOFC).

#### **Die Projekte im Rahmen der Programmlinie**

Zum Themenbereich „Brennstoffzellen“ liegen im Rahmen der Programmlinie Fabrik der Zukunft die Projekte „Massenanfertigung für PEM-Brennstoffzellen“, „EASYCELL - Designoptimierung von PEM-Brennstoffzellen“ und „Miniaturisierte keramische Hochtemperatur-Brennstoffzellenkomponenten“ vor.

## 1. Massenfertigung für PEM-Brennstoffzellen

### Projektleitung:

DI Friedrich Lehner

### Aktueller Kontakt:

Thomas Schlauf  
FOTEC Forschungs- und Technologietransfer GmbH  
Viktor Kaplan Straße 2, A-2700 Wr. Neustadt

Tel.: +43 (0)2622 90333-22

E-Mail: [schlauf@fotec.at](mailto:schlauf@fotec.at)

Internet: [www.fotec.at](http://www.fotec.at)

Endbericht: Nr. 25/2006 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## 2. EasyCell - Designoptimierung von PEM Brennstoffzellen zur Reduzierung der Nebenaggregate, zur Vereinfachung des Stoffmanagements und zur Erleichterung der Massenfertigung

### Projektleitung:

DI Friedrich Lehner

### Aktueller Kontakt:

Thomas Schlauf  
FOTEC Forschungs- und Technologietransfer GmbH  
Viktor Kaplan Straße 2, A-2700 Wr. Neustadt

Tel.: +43 (0)2622 90333-22

E-Mail: [schlauf@fotec.at](mailto:schlauf@fotec.at)

Internet: [www.fotec.at](http://www.fotec.at)

Endbericht: Nr. 87/2006 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## 3. Miniaturisierte keramische Hochtemperatur Brennstoffzellenkomponenten

### Projektleitung:

Dr. Nils Stelzer  
Austrian Research Centers GmbH  
A-2444 Seibersdorf

Tel.: +43 (0)5 0550-3351

E-Mail: [nils.stelzer@arcs.ac.at](mailto:nils.stelzer@arcs.ac.at)

Endbericht: Nr. 69/2006 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

# ***INHALT***

## **Polymer-Elektrolyt-Membran Brennstoffzellen (PEM)**

### **1. Massenfertigung für PEM-Brennstoffzellen**

Eine PEM-Brennstoffzelle besteht aus einer Membran, auf der an beiden Seiten Elektroden-Katalysator-Material (E/K Material), eine Gasdiffusionslage (GDL) und eine Bipolarplatte angebracht sind. Voraussetzung für eine industrielle Umsetzung war die Klärung von fertigungstechnischen Aspekten wie beispielsweise die geforderten Abmessungen bzw. Eigenschaften (z.B. die Leitfähigkeit gewisser Komponenten). Das Forschungsvorhaben beschäftigte sich vor allem mit der Fragestellung, ob und wie sich eine Massenproduktion von allen Komponenten bewerkstelligen lässt.

#### **Herausforderung**

Zu diesen Fragestellungen konnten zu Projektbeginn noch keine Aussagen getroffen werden, da die Kombination der notwendigen Sonderverfahren eine Novität darstellte. Weiters musste geklärt werden, ob die Komponenten auch in der geforderten Qualität hergestellt werden können. Im Laufe des Projekts bediente man sich verschiedener Methoden, um das Ziel zu erreichen. Ausgehend von Literaturrecherchen und ExpertInnenbefragungen wurden konstruktive Arbeiten zur Entwicklung von Werkzeugen geleistet, welche die Herstellung der geforderten Strukturen ermöglichen. In weiterer Folge arbeitete das Team an praktischen Materialuntersuchungen und Spritzversuchen sowie der Charakterisierung der hergestellten Komponenten bzw. PEM-Brennstoffzellen.

Kernthema war die Entwicklung einer Werkzeugtechnik, welche die Herstellung von mikrostrukturierten Formteilen (Bipolarplatten) und von Membranen ermöglicht. Die wesentliche Herausforderung stellte dabei die Realisierung einer variothermen Prozessführung dar. Ohne diese ist eine erfolgreiche Abformung der angeführten Komponenten nicht möglich. Mit dem Werkzeug zur variothermen Prozessführung wurden Versuche durchgeführt, um Aussagen über die Eignung für eine Massenfertigung sowie die erzielbare Qualität zu generieren. Nachdem mit dieser Entwicklung Neuland betreten wurde, konnte auf keinerlei Daten zurückgegriffen werden. Man konnte sich lediglich auf Erfahrungen vorangegangener Projekte beim Antragsteller und der Projektpartner stützen. Im Themenbereich Brennstoffzellen-Technologie bzw. Elektrochemie wurde auf das Know-how und die Erfahrungen des Forschungspartners EICHEM Kompetenzzentrum für Angewandte Elektrochemie zurückgegriffen.

#### **Herstellung der Komponenten**

Im Zuge des Projekts konnten die notwendigen prozesstechnischen Voraussetzungen geschaffen werden, um Membranen herzustellen. Auch die Funktionsfähigkeit konnte erfolgreich nachgewiesen werden. Die ursprüngliche Absicht, Membranen für Brennstoffzellen mittels Spritzgießen herzustellen, wurde allerdings nicht weiter verfolgt. Versuche im Rahmen des Projekts ergaben, dass ein für Membranmaterial ausreichend sulfoniertes SPEEK seine thermoplastischen Eigenschaften verliert und daher vorläufig spritzgießtechnisch nicht verarbeitbar ist.

Weiters konnte gezeigt werden, dass E/K-Material mittels Heißpressen auf Membranmaterial aufgebracht werden kann. Die Anforderungen an GDL-Material bezüglich Leitfähigkeit und Offenporigkeit des Schaums ließen sich nur unter hohem technologischem Aufwand erfüllen. Dieser Aufwand ist angesichts der heute zum Einsatz gelangenden Lösung mit Kohlepapier bzw. Kohlenstoffgewebe nicht gerechtfertigt. Es gelang, ein Compound mit 70 Gew% Graphit erfolgreich zu Bipolarplatten zu verarbeiten. Die aus dem Graphitanteil resultierende Leitfähigkeit betrug 212 S/m.

Aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften der Komponenten einer PEM-Brennstoffzelle ist es auch aus Kostengründen nicht sinnvoll, alle diese Komponenten spritzgießtechnisch herzustellen. Vor allem bei der Gas-Diffusions-Lage wird das konventionelle Kohlepapier mittelfristig keine Substitution erfahren.

### Massenfertigungsprozess

Es konnten auf Basis der Versuchsreihen die folgenden Teilschritte zur Massenfertigung von PEM-Brennstoffzellen erarbeitet werden:

1. Ziehen von Membranmaterial als Band aus der Lösung
2. Beidseitiges und gezieltes Aufbringen von E/K-Material auf das Band
3. Ausschneiden der MEAs aus dem Band
4. Ausschneiden der GDL aus Bandmaterial (z.B. Kohlepapier)
5. Spritzgießen der Bipolarplatten und
6. Assemblierung der Komponenten MEA, GDL und Bipolarplatte. Dies zu realisieren bedarf der Zuhilfenahme von Handlingautomaten.

### Ergebnis

Im Zuge der Abschlussuntersuchungen konnte eine funktionsfähige PEM-Brennstoffzelle zusammengebaut werden. Die folgende Tabelle listet die dafür eingesetzten Komponenten auf.

Komponente	Werkstoff	Lieferant	Herstellung
Membran	SPEEK	Echem	im Rahmen des Projektes
E/K-Material beidseitig	Ruß Vulcan mit Platin	Echem	zugekauft
2 Gas-Diffusions-Lagen	Kohlepapier	Echem	zugekauft
2 Bipolarplatten	PP 70 Gew% Graphit	Fotec	im Rahmen des Projektes

Tab.: Eingesetzte Komponenten für PEM-Brennstoffzelle

Die PEM-Brennstoffzelle mit den im Rahmen des Projekts hergestellten Bipolarplatten sowie der Membran aus SPEEK ist in der folgenden Abbildung dargestellt.



Abb.: PEM-Brennstoffzelle mit Komponenten aus Eigenfertigung. Quelle: FOTEC

## 2. EASYCELL - Designoptimierung für PEM-Brennstoffzellen

Im Rahmen des Projekts „EASYCELL“ sollte durch Optimierung des Designs der Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzellen (PEM-Brennstoffzellen) eine breite Anwendung ermöglicht werden. Geplant war die räumliche Struktur einer PEM-Brennstoffzelle durch eine planare Struktur zu substituieren. Kernthemen waren dabei die Minimierung der Nebenaggregate, die Vereinfachung des Stoffmanagements und eine massenfertigungsgerechte Konstruktion.

Bei der Entwicklung wollte man Strukturänderungen, wie sie in der Halbleitertechnik vor 40 Jahren stattgefunden haben, analog auch für die Brennstoffzellentechnik erproben. Es sollte geklärt werden, ob Komponenten von PEM-Brennstoffzellen in Richtung Verringerung der Baugröße, Einsparung von Einzelkomponenten und Nebenaggregaten in kostengünstiger Massenfertigung herzustellen sind.

### Herausforderung

Im Projekt mussten zahlreiche Fragen geklärt werden: Das Potenzial eines lateralen Betriebs einer PEM-Brennstoffzelle war zu untersuchen. Weiters war unklar, wie das Katalysatormaterial an geeigneten Stellen im Flow-field gezielt und strukturiert aufgebracht werden kann. Darüber hinaus sollte auch geklärt werden, wie das mikrostrukturierte Flow-field ausgelegt sein muss, dass eine brauchbare Befeuchtung der Membran gewährleistet werden kann und ob der Grundkörper der EasyCell mit der notwendigen Mikrostrukturierung (Mikrostrukturen im Bereich von 100  $\mu\text{m}$ ) mit einem geeigneten Massenfertigungsverfahren in der geforderten Qualität herstellbar ist. Letztendlich war zu klären, ob Prototypen der EasyCell in der geforderten Qualität gebaut werden können.

### Entwicklung einer Prototypserie

Zur Fertigung der Grundplatte konnte das kostengünstige Massenfertigungsverfahren Spritzgießen herangezogen werden. Die Membran- und die strukturierte Katalysatorkaufbringung wurde durch die Entwicklung eines eigenen Verfahrens zur Herstellung der EasyCell bewerkstelligt. In Hinblick auf eine Massenproduktion wurden zahlreiche begleitende Versuche und Untersuchungen durchgeführt.

Auch in diesem Projekt stützte man sich zuerst auf Literaturrecherche und ExpertInnenbefragungen. Anschließend wurden praktische Untersuchungen der Wasserausbreitung an einem Prüfstand und konstruktive Arbeiten und Überlegungen zur Entwicklung eines Konzepts für die strukturierte Katalysatoraufbringung durchgeführt. Aufbauend auf konstruktiven Arbeiten und Überlegungen zur Auslegung des Grundkörpers der EasyCell folgten praktische Spritzversuche und deren Auswertung. Es wurde eine Prototypserie der EasyCell hergestellt und charakterisiert.

Untersuchungen zeigten, dass sich ein auf eine typische Membran aufgetragener Wassertropfen 2 mm ausbreitet. Das Ergebnis lässt darauf schließen, dass die Befeuchtung einer EasyCell ohne Befeuchtungseinheit, sondern lediglich durch das in der EasyCell entstehende Reaktionswasser erfolgen kann. Zur strukturierten Katalysatoraufbringung wurde ein spezielles Verfahren entwickelt, bei dem durch das Einbringen eines Trägermaterials in die Gaskanäle des Grundkörpers der EasyCell eine Katalysatorschicht aufgebracht werden konnte.

### **Ergebnis**

Mit Hilfe des Mikrospritzgießverfahrens und der Unterstützung der beiden FirmenpartnerInnen HTP High Tech Plastics AG (Mikroformenbau) und Battenfeld Kunststoffmaschinen GmbH (Herstellung von Mikrospritzgießmaschinen) konnte die Herstellung der Grundkörper einer EasyCell unter den Gesichtspunkten einer Massenfertigung erfolgreich bewerkstelligt werden. Neben dem Grundkörper der EasyCell, der mittels Mikrospritzgießen hergestellt wurde, wurde E/K-Material und Membranmaterial bei LieferantInnen zugekauft.

Aufgrund der Neuheit und Kleinheit der EasyCell mussten die Vorrichtungen zur Erfassung der Leistungsdaten entsprechend angepasst werden. Die elektrotechnische Charakterisierung der EasyCell zeigte, dass die Leistungsdaten der EasyCell im Vergleich zu jenen konventioneller vertikaler Brennstoffzellen in weiteren Entwicklungsarbeiten noch verbessert werden müssten.

Die folgende Abbildung zeigt einen Prototypen der im Rahmen des Projekts entwickelten und realisierten EasyCell mit einer Hilfsträgerplatte zur Aufnahme der Stromableitungen und der Sauerstoffzufuhr.

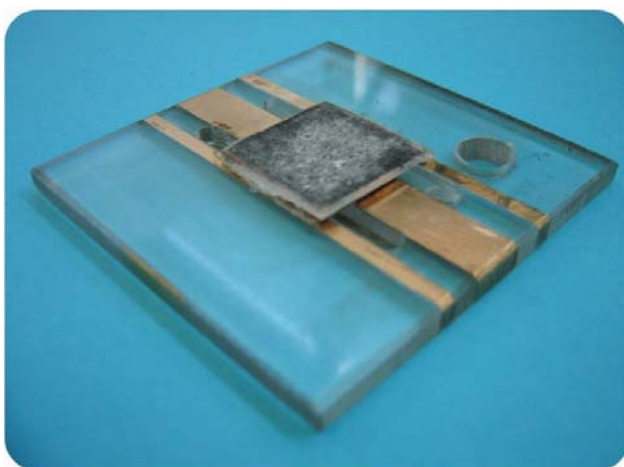


Abb.: EasyCell. Quelle: FOTEC



## Schlussfolgerungen

Im Zuge des Projekts „Massenfertigung für PEM-Brennstoffzellen“ konnte das Projektteam Fertigungsstrategien erarbeiten, die für den traditionellen Aufbau einer PEM-Brennstoffzelle richtungsweisend sein könnten. Die spritzgießtechnische Herstellung von Bipolarplatten, die nach konventionellen Methoden einen erheblichen Anteil der Herstellkosten beanspruchen, konnte erfolgreich bewerkstelligt werden. Es konnten ein verfahrenstechnisches Konzept zur variothermen Prozessführung sowie Maschinen- und Prozesseinstellparameter erarbeitet werden. Weiters konnte die Entwicklung der variothermen Prozessführung und der Werkzeugtechnologie auch in Richtung Herstellung der Membran einer PEM-Brennstoffzelle bis zum Prototypstatus vorangetrieben werden.

Im Rahmen von „EASYCELL“ konnte das Projektteam eine neuartige und lateral betriebene Brennstoffzelle entwickeln (EasyCell). Der laterale Betrieb der Polymer-Elektrolyt-Membran, der zu einer Verebnung der Struktur der Brennstoffzelle führt, war in diesem Bereich ein innovativer Ansatz. Es wurden Prototypserien der EasyCell hergestellt und auf ihre Leistungsdaten untersucht. Die Ergebnisse sind sehr vielversprechend, entsprechen jedoch noch nicht dem Zielwert. Weitere Entwicklungs- und Optimierungsschritte - vor allem hinsichtlich der Verbesserung der Verfahren zur Herstellung des Elektroden-Membran-Verbundes – sind notwendig. Darüber hinaus müsste die volumetrische Leistungsdichte der lateralen Zelle durch konstruktive Maßnahmen im Bereich des Grundkörpers weiter gesteigert werden.

Um einen weiteren signifikanten Schritt in Richtung der Leistungssteigerung der EasyCell und somit in Richtung Anwendung anzustellen, ist eine Optimierung der einzelnen Komponenten bzw. des Aufbaus der lateralen PEM-Brennstoffzelle erforderlich.

## Hochtemperatur Brennstoffzellen (SOFC)

### 3. Miniaturisierte keramische Hochtemperatur Brennstoffzellenkomponenten

Die Hochtemperatur Brennstoffzelle (SOFC) ist ein umweltfreundliches Energiesystem, das bei Betriebstemperaturen zwischen 800 und 1000° C Sauerstoffionen leitend macht. Die SOFC kann sowohl fossile Primärenergieträger, als auch erneuerbare Sekundärträger zur Wärme und Stromgewinnung nutzen. Von Bedeutung sind vor allem die geringen Emissionen, da unter Einsatz von Wasserstoff und Luft reines Wasser als Abgas entsteht.

Im Bereich der Herstellung von SOFC Komponenten werden derzeit, je nach Design, für planare Systeme, Tape casting, Tape calendaring, Siebdruck und elektrostatische Verfahren sowie für tubulare Systeme Extrusion, Plasma- und andere Sprühverfahren sowie Tauchverfahren eingesetzt. Diese herkömmlichen Herstellungsprozesse zur Produktion von keramischen Hochtemperatur-Brennstoffzellen-Komponenten sind mit einem sehr hohen Energieverbrauch und teuren Material-Ressourcen verbunden.

### Zielsetzung

Das Projekt zielte darauf ab, durch die Kombination innovativer Materialien und Technologien (Entwicklung und Einsatz von nano-skaligen Werkstoffen und energieeffizienten Co-Sinterverfahren) eine deutliche Steigerung der Ressourceneffizienz zu erreichen. Dazu wurden folgende technische Ziele verfolgt:

- Entwicklung und Herstellung von nano-skaligen keramischen SOFC-Materialien zur Senkung der Sintertemperaturen.
- Entwicklung von geeigneten Feedstocks für das Co-Sintern von nano-skaligen keramischen SOFC-Materialien.
- Evaluierung von Ressourcen schonenden Massenfertigungsverfahren wie Powder Injection Moulding, Extrusion und Dip-Coating für die Herstellung von mehrschichtigen miniaturisierten keramischen Hohlkörpern.
- Entwicklung eines energieeffizienten Co-Sinterverfahrens für die Herstellung von miniaturisierten keramischen Mehrschicht-Hohlkörpern.
- Assemblierung und Test eines SOFC-Stacks.

### **Komponentenentwicklung**

Die Entwicklung von nano-skaligen oxidkeramischen SOFC-Materialien für die energieeffiziente Herstellung der Anoden/Elektrolyt/Kathoden-Einheiten (kurz: AEK) erfolgte über hydrothermale und Sol-gel Synthesen. Um einen Vergleich zu Standardmaterialien zu ermöglichen, wurden die entsprechenden SOFC-Materialien auch über normale Fällungsreaktionen hergestellt bzw., soweit möglich, zugekauft. Die anschließende Entwicklung von extrusions- oder spritzgussfähigen Feedstocks (Pulver-Binder-Mischungen) erfolgte durch gezielte Einstellung und Abstimmung der rheologischen Eigenschaften der keramischen Materialien. So wurden etwa Lösungsmittel, Binder und Additive variiert, um das Co-Sintern der AEK-Einheiten zu ermöglichen.

Für die Massenproduktion der SOFC-Komponenten mussten neue Feedstocks im jeweiligen Zielwerkstoff für die Anode oder den Elektrolyt entwickelt und hergestellt werden. Entscheidende Anforderungen wurden dabei nicht nur an die Homogenität des Feedstocks, sondern auch an dessen Kompatibilität mit dem jeweiligen Nachbarwerkstoff gestellt. Als wesentliche Verfahren zur Massenfertigung von SOFC-Komponenten wurden das Spritzgussverfahren sowie die Extrusion und mögliche Tauch- und Sprühverfahren auf ihre Möglichkeiten hin evaluiert.

Hierbei wurde im Fall des Spritzgießens ein Werkstück gefertigt, das – vorgegeben durch das Design – als Negativform für die Herstellung der miniaturisierten SOFC-Komponenten diente. Die dabei erhaltenen Grünlinge wurden mittels Thermografie auf ihre Bruch- und Rissfreiheit hin untersucht. Im Fall der Anoden gestützten SOFC wurden danach Elektrolyt und Kathode über Tauch oder Sprühverfahren aufgebracht. Im anschließenden Co-Sintern wurden die entsprechenden Temperaturprofile und notwendigen Atmosphären getestet und entwickelt, um auch nach diesem letzten Prozessschritt bruch- und rissfreie SOFC-Komponenten zu erhalten. Diese wurden hinsichtlich ihrer thermischen Zyklierbarkeit und elektrischen Leistung getestet. Weiters musste geklärt werden, ob das eingesetzte Herstellungsverfahren auch die notwendige Stabilität in der Reproduzierbarkeit der SOFC-Komponenten gewährleistet. Abschließend wurden die SOFC-Komponenten assembliert und ein erster SOFC-Stack hergestellt und getestet.



Abb.: Co-gesinterte NiO-YSZ/YSZ und NiO-YSZ/YSZ/LSM Röhrrchen. Quelle: Austrian Research Centers GmbH

Aufgrund der Probleme bei der Qualitätssicherung der YSZ Sprühbeschichtungen konnten keine ausreichend relevanten Daten aus Leistungstests erhalten werden. Der angestrebte Stackbau mit YSZ-Sprühbeschichteten Anodensupport-Röhrrchen sowie die weiteren Untersuchungen in Bezug auf die Temperaturwechselbeständigkeit mussten daher zunächst zurückgestellt werden.

Durch Zusammenarbeit mit einem vom Kooperationspartner ALPPS initiierten Projekts (E2MOBIGEN) konnten die im Projekt entwickelten Anodensupport-Röhrrchen dennoch erfolgreich für Leistungstests eingesetzt werden. Es wurden die mittels Powder Injection Moulding (PIM) hergestellten Anodensupports anschließend über Elektrophorese mit YSZ beschichtet und mittels Sprühbeschichtung eine LSM Kathodenschicht aufgetragen. Diese Zellen erreichten in ersten Vorversuchen bei  $T = 850^\circ \text{C}$  unter  $\text{H}_2$ -Zufuhr bereits eine Leistungsdichte von  $0,36 \text{ W/cm}^2$ , ein im internationalen Vergleich hervorragender Wert für tubulare Hochtemperatur-Brennstoffzellen.

### **Nachhaltigkeit und SOFC**

Neben der technischen Umsetzung eines nachhaltigen Prozesses zur Herstellung von miniaturisierten Hochtemperatur-Brennstoffzellen bestand in diesem Projekt die grundsätzliche Frage nach der Nachhaltigkeit der Herstellungsprozesse sowie dem Einsatz von Hochtemperatur-Brennstoffzellen. Hierzu wurde eine Literaturstudie durchgeführt, um Informationen zu bereits vorhandenen Lebenszyklusanalysen von Hochtemperatur-Brennstoffzellen zu erhalten. Außerdem wollte man möglichen energiepolitischen Szenarien zur Unterstützung einer Einführung von Hochtemperatur-Brennstoffzellen nachgehen.

Aufgrund der stetigen Entwicklung in den Herstellungsprozessen, den verwendeten Materialien, dem Brennstoffzellen-Design und den energiepolitischen Entwicklungen konnte jedoch nur eine Momentaufnahme über den tatsächlichen Umwelteinfluss bzw. die Nachhaltigkeit von Hochtemperatur-Brennstoffzellen gegeben werden. Eine Literaturstudie zeigte, dass die Frage nach der Nachhaltigkeit von Hochtemperatur-Brennstoffzellen bis dato nur in geringem Ausmaß behandelt wurde.

## **Schlussfolgerung**

Die überaus positiven Ergebnisse der Kombination von elektrophoretischen YSZ-Schichten auf mittels PIM hergestellten Ni-YSZ Anodensupport sollten in der Zukunft als Ausgangspunkt für die weiteren notwendigen Entwicklungen dienen. Auf diesem Weg können die angestrebten Ziele eines nachhaltigen Herstellungsprozesses sowie die Herstellung eines leistungsfähigen Hochtemperatur-Brennstoffzellen-Stacks erreicht werden.

## 4 ECODESIGN

---

### ***EINLEITUNG***

#### **Ausgangssituation**

Die Motivation für Optimierungsmaßnahmen in Unternehmen ist im Allgemeinen Produktivitäts- und Qualitätssteigerung. Aus der Erfahrung mit Betrieben und deren Produkten kann gesagt werden, dass vielfach der Fokus für umweltbezogene Produktverbesserungen sehr eng gewählt wird bzw. oft mit punktuellen und nachträglich gesetzten Massnahmen korrigierend eingegriffen wird. Ein vollständiges Lebenszyklusdenken fehlt oftmals. Die Integration von Umweltaspekten in den Produktentwicklungs- und Produktionsprozess ist in vielen Fällen für Klein- und Mittelbetriebe zu zeit- und kostenaufwendig.

Auf KonsumentInnenseite wiederum fehlt in der Regel das notwendige Wissen, um Produkte umfassend, d.h. nach ihren ökologischen, ökonomischen und sozialen Auswirkungen beurteilen und darauf basierend möglichst richtungssichere Kaufentscheidungen treffen zu können.

#### **Ziele und Herausforderungen**

Ziel des Projekts „ECODESIGN Toolbox for Green Product Concepts – Entwicklung von Werkzeugen zur nachhaltigen Produktentwicklung“ war die Entwicklung einer einfach anwendbaren Methodik zur nachhaltigen Produktentwicklung in enger Kooperation mit industriellen PartnerInnen. Diese sollte speziell an die Anforderungen von KMUs angepasst und für unterschiedliche Branchen und Firmen anwendbar sein. Dafür sollten bestehende Verfahren, die Aspekte der nachhaltigen Produktentwicklung im gesamten Produktlebenszyklus und eine sozial- und umweltverträgliche Produktion berücksichtigen, kombiniert werden.

Die Methodik sollte anhand von drei Firmenbeispielen im Projekt Anwendung finden und für die jeweiligen Beispielprodukte sollten innovative Produktkonzepte – Green Product Concepts – entwickelt werden.

Das Projekt „Ecodesign Lernspiel“ setzt auf KonsumentInnenseite an und will grundlegendes Wissen über Nachhaltigkeit spielerisch vermitteln. Dieses Wissen soll helfen, umweltschonenden und sozial gerecht produzierten Produkten beim Einkauf den Vorzug zu geben. Das Spiel ist speziell auf Jugendliche ausgerichtet, die in diesem Zusammenhang eine wichtige Zielgruppe darstellen.

## Die Projekte im Rahmen der Programmlinie

### 1. ECODESIGN Toolbox for Green Product Concepts – Entwicklung von Werkzeugen zur nachhaltigen Produktentwicklung

#### Projektleitung:

A.o. Univ. Prof. DI Dr. techn. Wolfgang Wimmer  
Forschungsbereich ECODESIGN  
Inst. f. Konstruktionswissenschaften und technische Logistik  
Technische Universität Wien  
Getreidemarkt 9, A-1060 Wien  
Tel.: +43 (0)1 58801 307-44  
E-Mail: [wimmer@ecodesign.at](mailto:wimmer@ecodesign.at)

#### Kontakt:

DI Maria Huber  
Forschungsbereich ECODESIGN  
Inst. f. Konstruktionswissenschaften und technische Logistik  
Technische Universität Wien  
Getreidemarkt 9, A-1060 Wien  
Tel.: +43 (0)1 58801 307-51  
E-Mail: [huber@ecodesign.at](mailto:huber@ecodesign.at)

Endbericht: Nr. 7/2008 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

### 2. Konzeption eines ECODESIGN Lernspiels für Schulen und Jugendorganisationen

#### Projektleitung:

A.o. Univ. Prof. DI Dr. techn. Wolfgang Wimmer  
Forschungsbereich ECODESIGN  
Inst. f. Konstruktionswissenschaften und technische Logistik  
Technische Universität Wien  
Getreidemarkt 9, A-1060 Wien  
Tel.: +43 (0)1 58801 30744  
E-Mail: [wimmer@ecodesign.at](mailto:wimmer@ecodesign.at)

Endbericht: Nr. 43/2008 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## ***INHALT***

### 1. ECODESIGN Toolbox for Green Product Concepts – Entwicklung von Werkzeugen zur nachhaltigen Produktentwicklung

Unter umweltgerechter Produktentwicklung/Ecodesign versteht man die Gestaltung eines Produktes unter Berücksichtigung der Umweltauswirkungen des gesamten Lebensweges.

Umweltbewertungstools ermitteln mit unterschiedlichem Aufwand und Vollständigkeitsanspruch die Umweltauswirkungen von Produkten.

Was derzeit fehlt, ist das Bindeglied zwischen vergleichbaren Ergebnisdaten und Maßnahmen zur Optimierung: Wo genau muss man ansetzen um die Umweltsituation eines Produktes zu verbessern? Wie beeinflussen sich die Gestaltung und die Herstellung eines Produktes? Und wie komme ich zu Verbesserungsideen? Hier setzen bereits einige existierende Tools an, eine Auswahl dieser Methoden wurden in diesem Projekt zu einem umfassenden, breit anwendbaren Toolkit verschmolzen.

## Ergebnisse

Als Ergebnis des Projektes liegt methodenseitig die ECODESIGN Toolbox in sechs Schritten vor, darüber hinaus wurden unter deren Anwendung drei innovative Produktkonzepte gemeinsam mit IndustriepartnerInnen entwickelt. Die Anwendung der ECODESIGN Toolbox erfolgte für die Beispielprodukte Diktiergerät (PHILIPS), Golf Swing Analyzer (ABATEC) und Spritzgussmaschine (ENGEL). Aufbauend auf den Ergebnissen der eingesetzten Methoden wurden Verbesserungsstrategien für die Produkt- und Prozessoptimierung abgeleitet und konkrete Umsetzungsideen für ein Green Product Concept formuliert.

## Ecodesign Toolbox in sechs Schritten

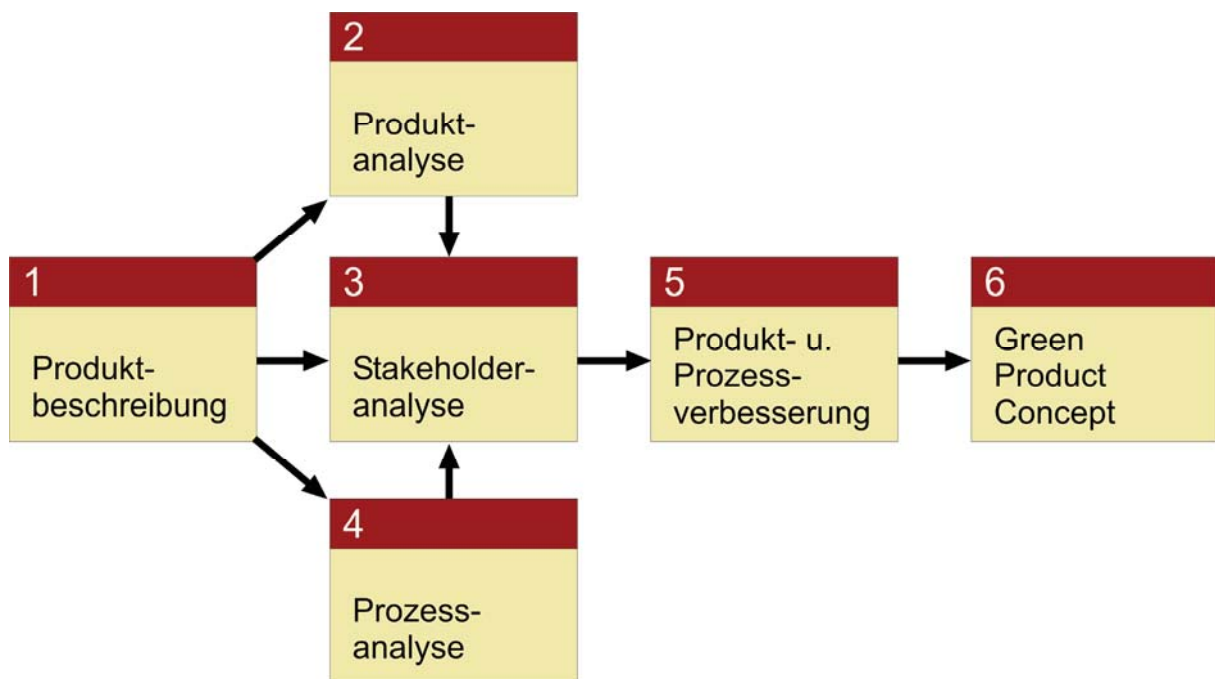


Abb.: Die 6 Schritte der ECODESIGN Toolbox

Die Anwendung der ECODESIGN Toolbox ermöglicht die systematische Erfassung der Produktcharakteristika und die Ermittlung der Lebensphase mit den größten Umweltauswirkungen. Zielgerichtet können mit Hilfe der Tools produkt- und prozessbezogene Verbesserungsmaßnahmen identifiziert werden:

## Produktbeschreibung

Zur Erfassung der Produktcharakteristika sind vorgefertigte Arbeitsblätter auszufüllen, die zur systematischen Erfassung von Umweltparametern dienen. Abgefragt werden etwa Angaben zu Produktzusammensetzung, Energieverbrauch, Recycling-Rate und Lebensdauer.

## Produktanalyse

Mit einer Methodenkombination aus kumuliertem Energieaufwand und ECODESIGN Assistent (z.B. [www.ecodesign.at](http://www.ecodesign.at)) wird die Umweltperformance des Produktes entlang des gesamten Produktlebenszyklus dargestellt. Das Ergebnis eines Durchlaufs ist die Zuordnung zu einem bestimmten Produkttyp und damit verbunden eine Strategieempfehlung zur Produktverbesserung. Die Produkttypen reflektieren dabei den Hauptanteil der Umweltauswirkungen eines Produktes:

- Typ A – rohstoffintensives Produkt
- Typ B – herstellungsintensives Produkt
- Typ C – transportintensives Produkt
- Typ D – nutzungsintensives Produkt
- Typ E – entsorgungsintensives Produkt

## Stakeholderanalyse

Bei einem nachhaltigen unternehmerischen Leitbild, kommt auch den MitarbeiterInnen, AktionärInnen, EndkundInnen, Zulieferern und dem Gesetzgeber eine wesentliche Bedeutung zu. Zur Übersetzung der Stakeholderanforderungen in Designparameter wird die Verwendung der Planungsmethode Quality Function Deployment (QFD) eingesetzt. Als Ergebnis liegt eine Liste von Stakeholderanforderungen mit Umweltrelevanz vor, weiters eine Liste von technischen Parametern zur Umsetzung dieser Anforderungen sowie eine Liste von dazu passenden Ecodesign Maßnahmen.

## Prozessanalyse

Auf Grundlage der Holistischen Prozessoptimierung (HPO) werden Teilprozesse hinsichtlich ihrer ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Aspekte untersucht. Die Analyse ist auf jene Prozesse fokussiert, die im unmittelbaren Einflussbereich des Unternehmens liegen. Die Bewertungskriterien für die Prozessanalyse setzen sich aus einer quantitativen Beurteilung von Stoff- und Energiebilanzen mittels Kennzahlen und einer qualitativen Beurteilung mit Hilfe einer Arbeitsplatz- und Toxizitätsbewertung zusammen. Für alle erhobenen Aspekte wird die Dringlichkeit von Maßnahmen anhand einer Prioritätenklassifizierung festgestellt.

## Produkt- und Prozessverbesserung

Für jene Prozesse, die aufgrund ihrer Priorität mit einem hohen Handlungsbedarf eingestuft sind, steht ein entsprechender Maßnahmenkatalog zur Verfügung. Der Maßnahmenkatalog beinhaltet sowohl Verbesserungsvorschläge als auch das Verbesserungspotenzial (Optimierungsausmaß) für den konkreten Prozess.

## Green Product Concept

All jene Verbesserungsmaßnahmen, die ein gutes Verhältnis von Nutzen zu Aufwand sowie ein vertretbares Risiko aufweisen, bilden die Grundlage für das Green Product Concept. Die



ausgewählten Verbesserungsideen werden in einer Tabelle zusammengefasst, wobei auch Nutzen, Aufwand und Risiko dokumentiert werden. Als Ergebnis liegen schließlich sowohl produktbezogene als auch prozessbezogene Verbesserungsmaßnahmen als Input für die Formulierung des Green Product Concepts vor.

## **Anwendungsbeispiele**

### Diktiergerät von PHILIPS

Aufgrund des zeitgleich durchgeführten Redesigns eines Diktiergerätes durch die Firma PHILIPS konnten ausgewählte Verbesserungsmaßnahmen für das Green Product Concept bereits in der aktuellen, im März 2007 auf den Markt gebrachten Version umgesetzt werden. So wurde der Stromverbrauch des Diktiergerätes durch den Einsatz von energieeffizienten Bauteilen um 35% reduziert. Durch Funktionsintegration und Reduktion der Teilevielfalt wurde nicht nur die für Elektro- und Elektronikaltgeräte geforderte Demontage und Rezyklierung ermöglicht, sondern auch die Montage- und Prüfkosten deutlich gesenkt.

### Golf Swing Analyzer von ABATEC

Auch für die Weiterentwicklung des Golf Swing Analyzers, der sich während der Projektlaufzeit in Entwicklung befand und mit Projektabschluss Prototypstatus erreichte, lieferte das Projekt einen wesentlichen Input. Die Integration von Umweltaspekten in die weitere Entwicklungs- und Umsetzungsphase des Golf Swing Analyzers ist von der Firma ABATEC vorgesehen.

### Spritzgussmaschine von ENGELS

Für die Firma Engels war neben Verbesserungsmaßnahmen für ihre Spritzgussmaschine das Arbeiten mit Stoff- und Energiekennzahlen das zentrale Ergebnis ihrer Projektteilnahme. Zukünftig könnten Tools zur Vorhersage des Energieverbrauches eingesetzt werden, um für KundInnen Klarheit über den zu erwartenden Energieverbrauch der angebotenen Produkte zu schaffen.



Abb.: Beispielprodukte Diktiergerät und Golf Swing Analyzer. Quellen: PHILIPS Speech Processing; ABATEC Electronic AG

## Schlussfolgerungen

Die Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten war für die beteiligten Unternehmen aus verschiedenen Gründen – gesetzliche Vorgaben (z. B. Elektroaltgeräte-Verordnung) oder integrativer Bestandteil der Beschaffungskriterien von Großkunden – von Interesse.

Mit den vorliegenden Green Product Concepts für die drei Beispielprodukte konnten diese Anforderungen nachweislich erfüllt werden. Das leistet einerseits einen wesentlichen Beitrag zur Auseinandersetzung mit zukünftigen Richtlinien und trägt andererseits zu einer Etablierung des Nachhaltigkeitsgedankens in Unternehmen und zur Verbesserungen der Umweltperformance des Produktes sowie der Produktion bei.

In einem nächsten Schritt wird nun die Anwendung der ECODESIGN Toolbox in weiteren Unternehmen mit Produktentwicklungs- und Produktionstätigkeit angestrebt. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen zu einer effizienteren Anwendung der Toolbox führen und Unternehmen in unterschiedlichen Branchen ansprechen. Für die Weiterentwicklung der Methodik wird die Entwicklung einer Softwarelösung zur vereinfachten Anwendung in Unternehmen angestrebt.

## 2. Konzeption eines ECODESIGN Lernspiels für Schulen und Jugendorganisationen

Das Ecodesign Lernspiel soll Jugendlichen ab 14 Jahren grundlegendes Wissen über Nachhaltigkeit in spielerischer Art vermitteln.

Ziel des Projektes war es, ein Konzept inklusive der Methodik für das notwendige Datenmaterial für ein derartiges Spiel zu entwickeln und beides mittels funktionellem Prototypen im Rahmen einer Proof of Concept-Studie zu überprüfen.

### Ergebnisse

Im Ecodesign Lernspiel Sustainable Living (SuLi) müssen die SpielerInnen durch das Treffen von umwelt- und sozialbewussten Entscheidungen ähnlich wie bei beliebten Simulationsspielen (z.B. Die Siedler, Industriegigant oder Sims) den weiteren Spielablauf beeinflussen. Dies geschieht, indem sie Produkte des alltäglichen Lebens sowohl konsumieren als auch produzieren. Diese Produkte dienen als Grundlage für die Simulation der ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Auswirkungen des Konsums, welchen die SpielerInnen sowohl durch nachhaltiges Wirtschaften als auch durch nachhaltiges Konsumverhalten beeinflussen können. All das findet in einer virtuellen Welt statt, die als Multiplayer Game aufgebaut ist. Daher haben Entscheidungen der einzelnen SpielerInnen Einfluss auf alle anderen am Spiel beteiligten Personen.

Neben der Berücksichtigung von eLearning-Theorien bei der Erstellung gab es eine Pilot-Anwendung an einem Gymnasium in Wien, bei dem der Erfolg eines derartigen Spieles im schulischen Einsatz evaluiert wurde. Die Einbindung der Zielgruppe erfolgte außerdem bereits in einer frühen Entwicklungsphase, um auf deren Bedürfnisse und Wünsche rechtzeitig einzugehen.

### Game Design

Das Game Design beruht auf der technischen Rahmenbedingung eines webbasierten Spieles. Die Verwaltung der Spielwelt und die Simulation laufen auf einem Server, als Schnittstelle diente beim Prototyp eine Plug-In freie Web-Site, über die ein Einstieg in das Spiel mittels

eines herkömmlichen Webbrowsers erfolgt. Für eine schnelle Entwicklung wurde im vorliegenden Projekt HTML und DHTML eingesetzt. Für eine spätere kommerzielle Umsetzung des Spiels erscheint der Einsatz der Multimedia Technologie Macromedia Flash am sinnvollsten.

Es erfolgte eine Festlegung auf ein rundenbasiertes Spiel: Es gibt verschiedene Inseln (äquivalent zu Staaten), die unterschiedliche Rohstoffvorkommen, Sozialstandards, ökologische und ökonomische Rahmenbedingungen aufweisen. Die SpielerInnen treffen ihre Produktions- und Konsumententscheidungen bis zu einem gewissen Zeitpunkt, nach einer Evaluierung schaltet das Spiel in die nächste Runde. Das Ergebnis wird direkt in der Spielfigur, dem sogenannten Avatar, abgebildet. Zum Einen ändern sich die Eigenschaften des Avatars, zum Anderen verändern auch die Inseln ihr Aussehen je nach sozialer, ökologischer und ökonomischer Entwicklung.



Abb.: Meine Insel – Designvorschlag für die kommerzielle Umsetzung .

Die Beispielprodukte aus Freizeit, Haushalt, Ernährung und Transport wurden realitätsnahe gehalten, um einen einfachen Bezug zum realen Leben für die Jugendlichen herzustellen. Die Daten für die Beispielprodukte wurden im Bezug auf die drei Säulen der Nachhaltigkeit – Ökologie, Ökonomie und Soziales – entlang des gesamten Produktlebenszyklus erhoben. Sie erlauben den SpielerInnen die Herstellung eines Produktes auf unterschiedliche Art und Weise, was sich sowohl im Preis als auch in der Entwicklung des ökologischen und sozialen Umfeldes (z.B. Verschmutzungsgrad von Luft- oder Wasser, Lohnniveau, etc.) bemerkbar macht.

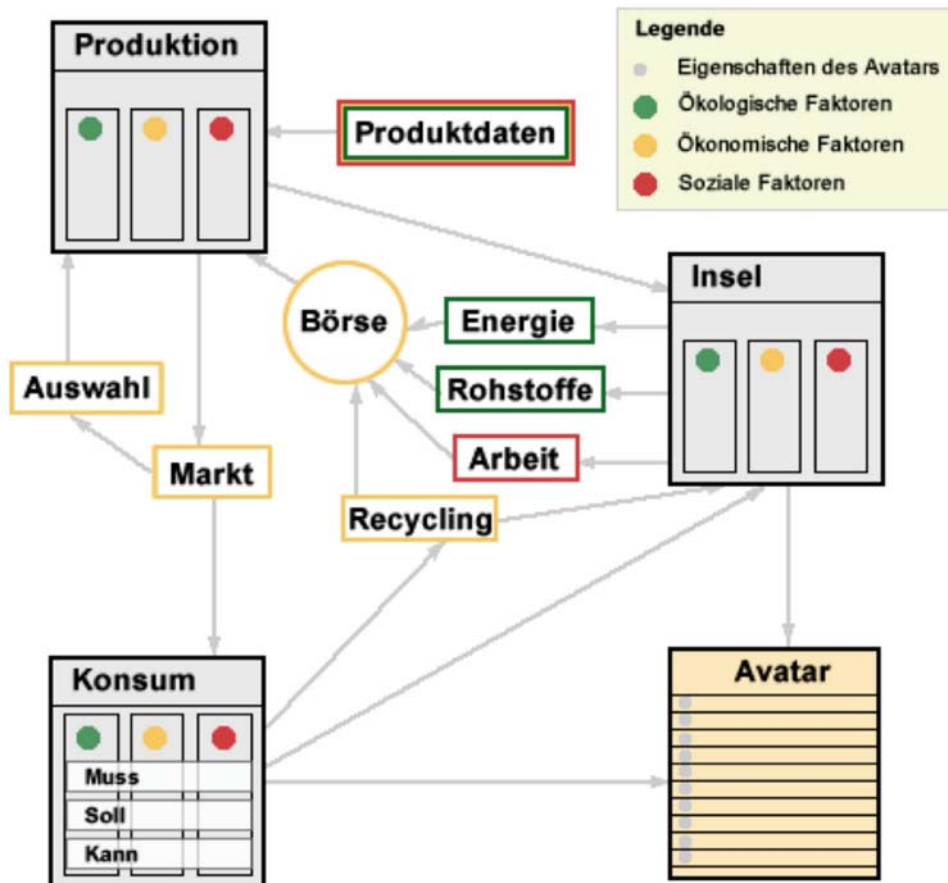


Abb.: Übersicht der Kreisläufe von SuLi. Quelle: Institut für Konstruktionswissenschaften, TU Wien

### Pilotphase

Die Pilotphase an der Schule wurde mit ca. 100 SchülerInnen aus vier Klassen zwischen fünfter und siebenter AHS-Oberstufe begonnen. Um relevante Produkte in das Spielkonzept und den Prototypen aufnehmen zu können, wurden die SchülerInnen mittels Fragebogen zu ihrem Konsumverhalten befragt.

Mit denselben SchülerInnen wurde anschließend in vier moderierten Kleingruppen eine Diskussion zum Spielkonzept abgehalten. Weiters wurde mit einer Klasse als Kerngruppe die Grundidee des Spiels getestet, anfangs noch als Planspiel auf Papier, im weiteren Verlauf des Projektes mit dem Prototypen. Die Ergebnisse aus diesen Untersuchungen flossen in die Spielentwicklung ein, etwa in der Frage des Designkonzepts oder bei der Festlegung der Auswirkungen des Rohstoffeinsatzes, der für die Bereitstellung von Lebensmitteln und Kleidung notwendig ist.

Die Ergebnisse bestätigten, dass eine Wissensvermittlung von Nachhaltigkeit sehr gut mit einem Lernspiel möglich ist. Weiters erwies sich das Spiel im Testeinsatz als kurzweilig und unterhaltsam. Es zeigte sich auch, dass für einen Lernerfolg begleitende Betreuung und Nachbesprechungen unerlässlich sind. Die für das Spiel entwickelte Simulation zur Bewertung der Nachhaltigkeit eines Produktes erwies sich als anpassbar und erweiterbar, wodurch ein Einsatz auch in anderen Lernsettings, etwa im Bereich der Erwachsenenbildung möglich ist.

## **Ausblick**

Obwohl der Prototyp einen eingeschränkten Einsatz im Unterricht erlaubt, ist für den großflächigen Einsatz in Schulen oder Jugendorganisationen eine kommerzielle Umsetzung von SuLi notwendig. Diese Umsetzung würde sich auf das entwickelte grafische Konzept stützen.

Der Prototyp von SuLi kam bei der Summer School „Youth Encounter on Sustainability“ (YES) im Juli 2008 zum Einsatz, wo Studierende aus aller Welt zur Diskussion von aktuellen und zukünftigen Nachhaltigkeitsfragen zusammen kamen. SuLi bot dabei einen Einstieg in das Thema und zeigte auch dessen gesellschaftliche Komplexität auf. In diesem Zusammenhang ist eine Weiterentwicklung des Spielkonzeptes in Richtung Abbildung von politischen und gesellschaftlichen Entscheidungen geplant. Gespräche mit den SchülerInnen nach dem Prototyp Testlauf ließen ebenfalls starkes Interesse in diese Richtung erkennen.

## 5 Nachhaltige Gestaltung von Hochgeschwindigkeitsbearbeitungs-Prozessen

---

### ***EINLEITUNG***

#### **Ausgangssituation**

Kühlschmierstoffe (KSS) werden in der metallbearbeitenden Industrie in großen Mengen als Produktionshilfsstoff zur Kühlung und Schmierung der Bearbeitungsstelle eingesetzt. Schätzungen gehen davon aus, dass in Österreich jährlich ca. 7.000 Tonnen Öle und Emulsionskonzentrate eingesetzt werden. Der überwiegende Anteil der derzeit eingesetzten Kühlschmierstoffe basiert auf Mineralölfractionen, nachwachsende Rohstoffe werden kaum eingesetzt.

Ein Zerspanungsverfahren, in dem der Einsatz von KSS unverzichtbar ist, ist die Hochgeschwindigkeitsbearbeitung bzw. das High-Speed-Cutting (HSC). Erhebliche Anteile des eingesetzten KSS werden bei der Bearbeitung zerstäubt und infolge des Wärmeeintrages im Zerspanungsprozess verdampft und gelangen so in die Arbeitsluft und in die Umwelt.

KSS sind in der Regel wegen ihrer komplexen Rezeptur als gefährliche Arbeitsstoffe einzustufen; im Oktober 2001 ist in Österreich erstmals eine maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK) für KSS-Nebel festgelegt worden<sup>2</sup>. Aus Gründen des Arbeitsschutzes sind aufwändige Investitionen und hohe laufende Kosten für die Luftfilterung und die Belüftung der Produktionshallen notwendig. Ein nachhaltiger Ansatz zur Lösung der Problematik kann nur die Verhinderung oder weitgehende Vermeidung der Bildung von KSS-Nebeln im Fertigungsprozess selbst sein.

#### **Herausforderungen**

In jüngster Vergangenheit wurden Anstrengungen unternommen, den Einsatz an KSS entscheidend zu reduzieren. Ein vielversprechender Ansatz ist die Minimalmengen-Kühlschmierung (MMKS), bei der so wenig KSS auf die Bearbeitungsstelle aufgebracht wird, dass dieser direkt verbraucht wird und keine Rückleitung notwendig ist („Verlustschmierung“). Aufwändige Installationen für Rückleitung, Pumpen, KSS-Reinigung und Speicherung, sowie KSS-Monitoring und Pflege können vermieden werden.

Vor diesem Hintergrund wurde in einem ersten Projekt ein ganzheitliches Vorgehensmodell für die Gestaltung von Hochgeschwindigkeits-Bearbeitungs-Prozessen entwickelt. Dabei wurden Probleme beim Auftragen der notwendigen Kühlschmierstoffe deutlich, sodass in einem Folgeprojekt der gezielte Einsatz von Pumpen-Düsen-Systemen für das Verfahren der Biominimalkühlschmierung erforscht wurde.

---

<sup>2</sup> Grenzwert-VO BGBl. II 23/2001

## Die Projekte im Rahmen der Programmlinie

### 1. Ganzheitliches Vorgehensmodell bei der Gestaltung von Hochgeschwindigkeits-Bearbeitungs-Prozessen

#### Projektleitung:

DI Dr. Ewald Wahlmüller  
PROFACTOR – Produktionsforschungs GmbH

#### Aktueller Kontakt:

Burkhard Riß, DI (Fh) Josef Reischl  
PROFACTOR – Produktionsforschungs GmbH

Tel: +43 (0) 7252 884-202 bzw. 217

Email: [burkhard.riss@profactor.at](mailto:burkhard.riss@profactor.at) bzw. [josef.reischl@profactor.at](mailto:josef.reischl@profactor.at)

Internet: [www.profactor.at](http://www.profactor.at)

Endbericht: Nr. 16/2005 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

### 2. Bio-Minimalmengen-Kühlschmierung

#### Projektleitung:

Burkhard Riß  
PROFACTOR – Produktionsforschungs GmbH

Tel: +43 (0) 7252 884-202

Email: [burkhard.riss@profactor.at](mailto:burkhard.riss@profactor.at)

Internet: [www.profactor.at](http://www.profactor.at)

Endbericht: Nr. 23/2006 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## ***INHALT***

### 1. Ganzheitliches Vorgehensmodell bei der Gestaltung von Hochgeschwindigkeits-Bearbeitungs-Prozessen

#### Motivation und Ziele

Das Ziel des Projektes war es, exemplarisch die Vorgehensweise für die Gestaltung und Optimierung von Hochgeschwindigkeitsbearbeitung hinsichtlich des Fräsens sowie der Minimalmengen-Kühlschmierung aufzuzeigen.

#### High-Speed-Cutting

Hochgeschwindigkeitsbearbeitung bzw. High-Speed-Cutting (HSC) ist ein Zerspanungsverfahren, bei dem die Schnittgeschwindigkeit, aber auch der Vorschub um ein Vielfaches höher ist als bei konventioneller Zerspanung. Die Zerspanungskräfte reduzieren sich um bis zu 30 %. Das Verfahren bringt sowohl Vorteile bei der Bearbeitung komplizierter, für Resonanzschwingungen gefährdeter Bauteile als auch höhere Werkzeugstandzeiten. Umweltrelevante Vorteile ergeben sich durch höhere erzielbare Oberflächenqualitäten, wodurch nachfolgende Bearbeitungsgänge oft entfallen können.

Die Prozessoptimierung wurde anhand eines konkreten Aluminium-Bauteiles durchgeführt, welches bei der im Projekt kooperierenden Firma Piesslinger bereits seit längerer Zeit erfolgreich mit HSC-Technologie und Minimalmengen-Kühlschmierung (MMKS) gefertigt wird.



Abb.: Schneideprozess. Quelle: Piesslinger GmbH

### **Prozessmodell unter besonderer Berücksichtigung vom Schutz der ArbeitnehmerInnen und der Umwelt**

In der Entwicklung des Prozessmodells wurden einerseits die klassischen Optimierungsfaktoren, wie die Fertigungszeit, -qualität und -kosten berücksichtigt. Der Prozess wurde jedoch nicht als rein technologisches System betrachtet, sondern man berücksichtigte darüber hinaus den Arbeitsplatz, an dem die MitarbeiterInnen sicher, unter langfristiger Erhaltung und Stärkung der Arbeitsfähigkeit und -zufriedenheit und nicht zuletzt der Motivation tätig sind. Sämtliche relevanten AkteurInnen im Betrieb wurden in die Zielsetzung, Planung und Gestaltung der Prozess- und Arbeitsplatzoptimierung einbezogen und deren Erfahrungen und Ressourcen genutzt.

Wichtig für die Prozessgestaltung war darüber hinaus auch, dass die Versuchs- und Testphasen möglichst keinen störenden Einfluss auf die laufende Produktion zeigten.

### **Technologische und organisatorische Optimierung**

Das Prozessmodell stellt die Grundlage für die angestrebte technologische Optimierung dar. Für diese wurden im Zerspanungslabor von Profactor Versuche hinsichtlich KSS-Einsatz, Kühlschmiersystem, Werkzeugtyp und Schnittdaten durchgeführt. Es konnten geeignete Kombinationen aus Werkzeugbeschichtung und KSS-System bei minimiertem Kühlmitelein-satz und erhöhter Vorschubgeschwindigkeit gefunden werden. Wird Emulsion eingesetzt, kann eine faktorielle Verringerung des Kühlschmierstoff-Einsatzes erreicht werden. Die Nebelmissionen in der Arbeitsluft wurden mit Hilfe eines Kaskaden-Impaktors gemessen und die Abhängigkeit der Aerosolbildung vom Kühlschmiersystem und von der aufgetragenen KSS-Menge ermittelt.

Mit Hilfe von internen Workshops und einer ausführlichen MitarbeiterInnenbefragung wurden die Erfahrungen und Vorschläge der MitarbeiterInnen zur Prozessoptimierung einbezogen und ein Referenzarbeitsplatz definiert und implementiert. Zu den gesetzten Maßnahmen zäh-



len neben der Umstellung auf MMKS mit Emulsion verbesserte ergonomische Bedingungen für die MitarbeiterInnen, sowie die Beseitigung von organisatorischen Schwachstellen.

Die störungsfreie Zuführung der Emulsion konnte mit den erhältlichen Pumpen-Düsen Systemen bisher nicht befriedigend realisiert werden. Um diese Schwachstelle auszuräumen, wurde ein Folgeprojekt initiiert, das sich eigens der Forschung zu geeigneten Pumpen-Düsen Systemen für die Bio-Minimalmengen-Kühlschmierung widmete.

## 2. Bio-Minimalmengen-Kühlschmierung

### Motivation und Ziele

Ziel des vorliegenden Projektes war es, ein Minimalmengen-Kühlschmiersystem zu entwickeln, das aus einer Pumpen-Düsen-Einheit besteht, die mit einer Öl-in-Wasser-Emulsion auf der Basis von nachwachsenden Rohstoffen betrieben wird.

Diese Zielsetzung leitete sich aus dem oben beschriebene Vorgängerprojekt ab, welches zwar sehr gute Ergebnisse hinsichtlich der Bearbeitung von Aluminium mit MMKS auf Emulsionsbasis geliefert hatte, jedoch nicht das Problem des sicheren und kontinuierlichen Auftragens von geringen Emulsionsmengen hatte lösen konnte.

### Entwicklung eines Minimalmengen-Kühlschmiersystems

Im Labor wurden die Sprühcharakteristik sowie die Eignung für relevante Fertigungsprozesse und Werkstoffe untersucht. Nach Durchführung der erforderlichen Adaptierungen wurde das System bei der Firma Piesslinger an ausgewählten Prozessen auf seine Praxistauglichkeit überprüft.

Die folgenden Arbeiten wurden durchgeführt:

- Erstellung des Anforderungsprofils:  
Im Startworkshop und weiterführenden Diskussionen erstellten alle ProjektteilnehmerInnen, ihrer jeweiligen Rolle im Projekt – „Anwendung“, „Entwicklung“ und „Forschung“ – entsprechend, das Anforderungsprofil für das zu entwickelnde Kühlschmiersystem. Hierbei wurden die konkreten und mögliche zusätzliche Bearbeitungsverfahren, das zu zerspanende Material sowie spezifische Zusatzanforderungen wie der Spänetransport berücksichtigt. Aus der Sicht des Arbeits- und Umweltschutzes wurden die Anforderungen an den KSS und das Aufbringungssystem konkretisiert. Bei allen Anforderungen kann unterschieden werden zwischen Notwendigkeiten („musts“) und attraktiven Optionen („nice-to-have“).
- Entwicklung einer additivarmen KSS-Emulsion auf Basis nachwachsender Rohstoffe:  
Vom Kühlschmierstoff-Entwickler Agatex wurden 20 Emulgator-/Schmierstoff- Kombinationen entwickelt und deren Eigenschaften untersucht. Zwei Versuchsprodukte wurden ausgewählt und für die Praxis-Versuche am Pumpe-Düse-System zur Verfügung gestellt. Bei der Auswahl der Rohstoff-Komponenten wurde großer Wert auf deren humantoxikologischen und ökotoxikologischen Eigenschaften gelegt. Sämtliche Komponenten der Zubereitungen sind vollständig und leicht biologisch abbaubar. Durch die gewonnenen Erfahrungen, die aus den Zerspanungsversuchen im Labor gewonnen werden konnten, und der Implementierung in den Betrieben wurden die Produkte nochmals modifiziert und weiterentwickelt.

- Studie zur heimischen Rohstoffbasis und ihrer Verfügbarkeit:  
In dieser Studie wurde die Rohstoffbasis für Ölpflanzenkulturen in Österreich und ihr Flächen- und Ertragspotenzial anhand von Raps, Sonnenblume, Soja, Ölkürbis, Öllein, Mariendistel, Leindotter und Saflor (Färberdistel) sowie mögliche Anbaupotenziale auf Stilllegungsflächen erhoben. Als Potenzial für zusätzliche Anbauflächen stehen ca. 100.000 ha rotierende Stilllegungsflächen zur Verfügung. Unter Berücksichtigung der Kulturfolge können 25 % davon für zukünftige Ölpflanzenkulturen herangezogen werden, was einen Ertrag von in etwa 62.000 t Öl ergibt. Zusätzlich wurden Produktionskapazität, Auslastung und technologische Voraussetzungen österreichischer Ölmühlen erhoben.
- Auswahl und Adaptierung der Aufbringungssysteme:  
Für drei Aufbringungssysteme wurde die Einsetzbarkeit anhand der geforderten Spezifikationen untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass nur eines der drei handelsüblichen Systeme gute Ergebnisse liefert. Das gewählte Sprühgerät wurde in Hinblick auf hohe Flexibilität und optimale Einstellbarkeit adaptiert.
- Abgrenzung des Einsatzbereiches in Labortests:  
Die Labortests waren so aufgebaut, dass sie den Anwendungen der ProjektpartnerInnen in der Praxis möglichst genau entsprachen. Zielgrößen waren technologische und wirtschaftliche Aspekte, der Verbrauch sowie die Emissionsmenge und -qualität (Größenspektrum). Es zeigte sich, dass das vorgeschlagene System gegenüber konventioneller Überflutungsschmierung als auch gegenüber der Minimalmengenschmierung mit Öl geringere Emissionen erzeugt. Hinsichtlich des Werkzeugverschleißes, der Oberflächenqualität der Werkstücke sowie der Maßhaltigkeit und Schnittgrößen kann das System mit anderen Systemen konkurrieren.
- Überprüfung der Praxistauglichkeit bei AnwenderInnen:  
Bei zwei weiteren Firmen wurde das System in deren Produktion implementiert. Es sollten „harte“ Anwendungen gefunden werden, die auch die Grenzen des Systems aufzeigen. So wurde das Material in tiefen Hohlräumen bearbeitet um den Spänetransport und die Zufuhr von KSS an ungünstigen Stellen zu untersuchen. Schwächen traten bei der erhöhten Korrosionsneigung von benetzten Oberflächen auf. Ursprüngliche Standzeiten konnten nicht immer erreicht werden.
- Die Projektergebnisse befähigen die TechnologieentwicklerInnen, das System „Bio-Minimum-Lubrication“ zu einem marktfähigen Produkt weiterzuentwickeln, wenn die Lösung der aufgetretenen Anfangsschwierigkeiten konsequent weiter betrieben wird. Für die Sprühsystemoptimierung sollten DüsenentwicklerInnen gewonnen werden.

## Schlussfolgerungen

Bilanzierend kann gesagt werden, dass Bio-Minimalmengenkühlschmierung mit Emulsion auf der Basis von nachwachsenden Rohstoffen ein hohes Entwicklungspotenzial verspricht. Wie bei den meisten neuen Systemen müssen Unsicherheiten im Einsatz und der Handhabung durch Know-how und die Berücksichtigung der spezifischen Anwendung beseitigt werden. Neben den Erfolg versprechenden Ergebnissen im Labor, traten bei der Umsetzung in der Praxis jedoch einige Probleme auf, die wie folgt zusammengefasst werden können:

- Die chemischen, physikalischen und technologischen Eigenschaften der Kühlschmierstoffe müssen durch sorgfältige Additivierung auf die Prozesse eingestellt werden.
- Die Düsensysteme sind entweder für die vorliegenden Anforderungen nicht oder nur schlecht geeignet bzw. in anderem Falle technisch relativ komplex und teuer.
- Prinzipielle Schwachstellen der Minimalmengenschmierung – wie der schlechte Spänetransport – konnten nicht ausgeräumt werden. Hier müssen andere Lösungen ausgearbeitet werden.

### **Ausblick und Empfehlungen**

Für die Weiterentwicklung zum marktfähigen Produkt sollten DüsenherstellerInnen bzw. DüsenentwicklerInnen mit einbezogen werden. Somit könnte auch die Pumpen- und Düseneinheit an das Kühlschmiersystem angepasst werden. Das Kühlschmiersystem muss noch besser auf spezifische und allgemeine Anwendungen hin optimiert werden, um für potenzielle KundInnen voraussagbare Ergebnisse garantieren zu können.

## 6 Umweltverträgliche Kälteerzeugung

---

### ***EINLEITUNG***

#### **Ausgangssituation**

Der ständig steigende Bedarf an Kälte im umgebungsnahen Temperaturbereich (ca. - 50° C bis + 20° C) erfordert eine umweltschonende und energieeffiziente Kälteerzeugung. Derzeit wird dieser Bedarf zum größten Teil (über 90 %) mittels Kaltdampf-Kompressions-Kälteprozesse gedeckt. Hierfür werden „Sicherheitskältemittel“ (also Substanzen, die nicht gesundheitsschädlich, nicht explosiv, unbrennbar und nicht korrosiv sind) eingesetzt. Diese Kältemittel sind Hauptursache des Ozonabbaus in der oberen Stratosphäre und leisten einen Beitrag zum künstlichen Treibhauseffekt. Um die negativen Umweltauswirkungen der konventionellen Kälteerzeugung zu vermeiden, ist es notwendig, umweltverträglichere Systeme zur Kälteerzeugung zu entwickeln.

#### **Ziele und Herausforderungen**

Im Projekt „Untersuchung des Stirlingprozesses für eine umweltverträgliche Kälteerzeugung – Systemanalyse“ wurde der Stirling-Kälteprozess für den Einsatz im umgebungsnahen Temperaturbereich (ca. - 50 bis + 20° C) untersucht. In die Anwendungsbereiche Klimatechnik, Kühltechnik, Gefriertechnik und Schockgefriertechnik sollte die Stirling-Kältetechnik, die keine problematischen Arbeitsstoffe verwendet, mit der konventionellen Kältetechnik im Hinblick auf Umwelt, Technik und Wirtschaftlichkeit, verglichen werden.

#### **Projektdaten**

##### **Untersuchung des Stirlingprozesses für eine umweltverträgliche Kälteerzeugung - Systemanalyse**

##### **Projektleitung:**

DI Dr. Rudolf Stiglbrunner  
JOANNEUM RESEARCH, Institut für Energieforschung  
Elisabethstraße 5, A-8010 Graz

Tel.: +43 (0)316 876-1366

E-Mail: [rudolf.stiglbrunner@joanneum.at](mailto:rudolf.stiglbrunner@joanneum.at)

Endbericht: Nr. 17/2003 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

# **INHALT**

## **Stirlingprozess als umweltverträgliche Alternative**

Im Projekt „Untersuchung des Stirlingprozesses für eine umweltverträgliche Kälteerzeugung – Systemanalyse“ wurde der Stirling-Kälteprozess, dessen traditionelles Einsatzgebiet in der Tieftemperaturtechnik (z.B. zur Luftverflüssigung bei  $-196^{\circ}\text{C}$ ) liegt, für den Einsatz im umgebungsnahe Temperaturbereich (ca.  $-50$  bis  $+20^{\circ}\text{C}$ ) untersucht. Der umgebungsnahe Temperaturbereich wird in folgende vier Anwendungsbereiche unterteilt:

- Klimatechnik mit Nutzttemperaturen zwischen ca.  $+10$  und  $+20^{\circ}\text{C}$
- Kühltechnik mit Nutzttemperaturen zwischen ca.  $0$  und  $+10^{\circ}\text{C}$
- Gefriertechnik mit Nutzttemperaturen zwischen ca.  $-40$  und  $0^{\circ}\text{C}$
- Schockgefriertechnik mit Nutzttemperaturen zwischen ca.  $-50$  und  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Für alle vier Anwendungsbereiche wurde die Stirling-Kältetechnik mit der konventionellen Kältetechnik im Hinblick auf Umwelt, Technik und Wirtschaftlichkeit verglichen.

## **Grundlagen der Kältetechnik**

Bei der Kälteerzeugung wird Wärme bei niedriger Temperatur aufgenommen und bei höherer Temperatur wieder abgegeben. Zur Kälteerzeugung ist eine Kältemaschine erforderlich, der Arbeit bzw. Energie zugeführt werden muss. Die gebräuchlichsten Kälteprozesse sind:

1. Kompressions-Kälteprozesse (unter Zufuhr mechanischer Energie):
  - Kaltdampf-Kompressions-Kälteprozesse (Verwendung von Kältemitteln, welche bei den Arbeitstemperaturen den Aggregatzustand zwischen Dampfphase und Flüssigkeitsphase ändern)
  - Kaltgas-Kompressions-Kälteprozesse (Gase als Kältemittel ohne Aggregatzustandsänderung)
  - Dampfstrahl-Kompressions-Kälteprozess (z.B. mit Wasserdampf als Treibmittel und Wasser als Kältemittel)
2. Absorptions-Kälteprozesse (Kältemittel wird mittels eines Lösungsmittelkreislaufs in einem Absorber absorbiert und unter Zufuhr von Wärme im Austreiber wieder ausgetrieben)
3. Thermoelektrischer Kälteprozess (Nutzung des Peltier-Effekts)

Der Kaltdampf-Kompressions-Kälteprozess hat mit über 90 % aller installierten Anlagen zur Zeit die größte Bedeutung in der Kälte- und Klimatechnik.

## **Stirling-Kältemaschinen**

Beim Stirling-Prozess wird ein Arbeitsgas über einen Regenerator zwischen einem „kalten“ und einem „warmen“ Raum hin und her geschoben. Im Fall von Stirling-Kältemaschinen muss Arbeit bzw. Energie zugeführt und Wärme abgeführt werden.

Prinzipiell ist zwischen mechanisch (in der Regel elektrisch) und thermisch betriebenen Maschinen zu unterscheiden. Die überwiegende Anzahl der Stirling-Kältemaschinen wird me-

chanisch (elektrisch) betrieben. Bei thermisch betriebenen Stirling-Kältemaschinen wird Wärme als Antriebsenergie genutzt.

Der Einsatz der Stirling-Kältetechnik im umgebungsnahen Temperaturbereich befindet sich im Stadium der Konzeption bzw. Erprobung. Es gibt derzeit keine „Standard-Stirling-Kältemaschinen“. Eine Ausnahme ist eine Pilotserie von 100 Stück Freikolben-Stirling-Kältemaschinen von der Fa. Sunpower für den Einsatz in Kühlschränken. Von den theoretischen Möglichkeiten der Stirling-„Kälteerzeugung“ können, aufgrund des derzeitigen Entwicklungsstandes, nur die mechanisch betriebenen Systeme als Erfolg versprechend eingeschätzt werden. Eine Ausnahme davon könnten mit Brenngas betriebene Vuilleumier-Wärmepumpen/Kältemaschinen als Klimageräte, die sowohl zum Beheizen als auch zur Kühlung von Gebäuden genutzt werden könnten, bilden.

## Ergebnisse

### Systemvergleich

Die Ergebnisse des Systemvergleichs der Stirling-Kältetechnik mit der konventionellen Kältetechnik für die vier wichtigsten Anwendungsbereiche im umgebungsnahen Temperaturbereich (Klimatechnik, Kühltechnik, Gefriertechnik, Schockgefriertechnik) sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Verglichen wird die Stirling-Kältetechnik mit der konventionellen Kältetechnik in Bezug auf Umwelt, Technik und Wirtschaftlichkeit.

Anwendung	Nutztemperatur	konventionelle Kältetechnik	Bewertung der Stirling-Kältetechnik betreffend		
			Umwelt	Technik	Wirtschaftlichkeit
Klimatechnik	> +10 °C	KKK (SK)	++	--	--
Kühltechnik	> 0 und < +10 °C	KKK	++	-	-
Gefriertechnik	> -40 und < 0 °C	KKK (SK)	++	++	+
Schockgefriertechnik	< -20 °C	KKK (SK)	++	++	+/-

Abkürzungen:

KKK Kaltdampf-Kompressions-Kälteprozesse  
(SK) Sorptions-Kälteprozesse (Sonderanwendungen)

Bewertungen:

++ weit überlegen - unterlegen  
+ überlegen -- weit unterlegen  
+/- gleichwertig

Tab.: Systemvergleich Stirling-Kältetechnik – konventionelle Kältetechnik

Die größten Umwelteinflüsse der Kälteerzeugung werden durch die Bereitstellung der Antriebsenergie für die Kältemaschinen sowie die Freisetzung der eingesetzten Arbeitsmittel (Kältemittel) verursacht. Im Unterschied zur konventionellen Kälteerzeugung sind beim Stirling-Kälteprozess keine umweltbeeinträchtigenden Arbeitsmittel erforderlich. Der einzige Beitrag zum künstlichen Treibhauseffekt besteht im indirekten Anteil, der durch die Bereitstellung der Antriebsenergie verursacht wird und durch den Einsatz erneuerbarer Energieträger nahezu vermieden werden kann. Der Vergleich in Bezug auf die Umwelt fällt damit immer zugunsten der Stirling-Kältetechnik aus. Wegen der Kältemittelproblematik und den besseren Leistungszahlen der Stirling-Kältetechnik bei niedrigen Temperaturen (unter ca. -30° C), wodurch weniger Energie zum Antrieb der Kältemaschinen erforderlich ist, ist die Stirling-Kältetechnik wesentlich vorteilhafter.

Der technische Vergleich ergibt ein etwas differenzierteres Bild. Allen Einsatzbereichen gemeinsam ist, dass sich die Stirling-Kältetechnik im gesamten umgebungsnahen Temperaturbereich im Stadium der Laborversuche bestenfalls (bei Kühlschränken) bei Pilotserien befin-

det. Im Bereich der Klimatechnik ist der Einsatz der Stirling-Kältetechnik aufgrund der hohen Nutzttemperaturen der konventionellen Kaltdampf-Kompressions-Kältetechnik deutlich unterlegen. Eine gewisse Chance könnte der Einsatz von Vuilleumier-Wärmepumpen/Kältemaschinen haben. Etwas höhere Chancen werden der Stirling-Kältetechnik im Bereich der Kühltechnik eingeräumt. Dies ist auch der einzige Bereich der Stirling-Kältetechnik, in dem Versuche über das Laborstadium hinaus durchgeführt wurden. Das Problem in diesem Einsatzbereich sind allerdings die relativ schlechten Leistungszahlen. Die aus der Sicht der Technik Erfolg versprechendsten Einsatzbereiche liegen in der Gefrier- und Schockgefrieretechnik. Einerseits sind niedrige Temperaturen erforderlich, andererseits müssen die Anwendungen ein großes Leistungsspektrum (von der Haushalts-Gefriertruhe über die Kühlung in Supermärkten bis zur Tiefgefrier-Lagerhalle) abdecken.

In Bezug auf die Wirtschaftlichkeit der beiden Prozesse war nur eine sehr grobe Abschätzung möglich, da es fast keine praktischen Erfahrungen mit der Stirling-Kältetechnik gibt. Es ist zu erwarten, dass die Stirling-Kältetechnik in den Anwendungen Klima- und Kühltechnik den derzeit verwendeten Techniken in wirtschaftlicher Hinsicht unterlegen sein wird. Die besten Chancen, eine Wirtschaftlichkeit zu erreichen, werden in der Gefrieretechnik gesehen. Selbst im Bereich der Schockgefrieretechnik werden aufgrund der hohen erforderlichen Kälteleistungen die Chancen auf Wirtschaftlichkeit niedriger eingeschätzt.

### **Fallbeispiel**

In einem Fallbeispiel (Annahmen: Industrielle Kälteanlage für  $-40^{\circ}\text{C}$ , Kälteleistung 50 kW, Kältebedarf 250 MWh/a) wurde eine Stirling-Kältemaschine (Arbeitsgas Helium) mit einer entsprechenden Kaltdampf-Kompressions-Kältemaschine (Kältemittel: R134a) hinsichtlich Energiebedarf, Betriebskosten, Beitrag zum Ozonabbau in der Stratosphäre und zum anthropogenen Treibhauseffekt verglichen.

Es zeigte sich, dass der erforderliche Energieeinsatz (elektrischer Strom) zum Betrieb der Stirling-Kältemaschine 241,5 MWh<sub>el</sub>/a, jener zum Betrieb der Kaltdampf-Kompressions-Kältemaschine etwa 422,8 MWh<sub>el</sub>/a beträgt. Dies bedeutet, dass bei Verwendung einer Stirling-Kältemaschine anstelle einer Kaltdampf-Kompressions-Kältemaschine pro Jahr etwa 181,3 MWh bzw. 43 % an Strom eingespart werden können. Wenn man davon ausgeht, dass als Betriebskosten vor allem Stromkosten anfallen, wirkt sich dieser Vorteil im gleichen Maß auf die Betriebskosten aus. Die Stirling-Kältemaschine bringt eine jährliche Stromkosten-Einsparung um etwa 43 %.

Der Vergleich hinsichtlich des Ozonabbaus in der Stratosphäre ergibt keinen Unterschied und ist bei beiden Kältemaschinen Null, da weder das Kältemittel R134a noch das Arbeitsmittel Helium ein Ozonabbaupotential aufweist.

Hinsichtlich der Treibhausgasemissionen ist sowohl für die Stirling-Kältemaschine, als auch für die Kaltdampf-Kompressions-Kältemaschine der Stromverbrauch ausschlaggebend, da der Beitrag des Kältemittels R134a vernachlässigbar gering ist. Damit entspricht auch die jährliche Reduktion der Treibhausgasemissionen bei der Verwendung einer Stirling-Kältemaschine anstelle einer Kaltdampf-Kompressions-Kältemaschine etwa 43 %.

Damit ist die Variante Stirling-Kältemaschine aufgrund des geringeren Energieeinsatzes deutlich günstiger als die Kaltdampf-Kompressions-Kältemaschine. Für den betrachteten Fall der industriellen Kälteanlage stellt die Stirling-Kältemaschine eine attraktive Lösung dar.

## **Interesse der Industrie**

Zur Abschätzung des Interesses der österreichischen Industrie an der Stirling-Kältetechnik bzw. an einer Kooperation bei Folgeprojekten wurde eine Befragung bei 13 österreichischen Betrieben durchgeführt. Dabei konnte ein sehr Erfolg versprechender Kontakt hergestellt werden.

## **Schlussfolgerungen**

Durch den Verzicht auf Umwelt beeinträchtigende Kältemittel und den niedrigeren Energieeinsatz im tieferen Temperaturbereich der umgebungsnahen Kälteanwendung (unter - 30° C) entspricht der Einsatz der Stirling-Kältetechnik zur Bereitstellung der Dienstleistung „Kälte“ generell sehr gut den Prinzipien der Nachhaltigkeit.

Aufgrund der durchgeführten Arbeiten werden die Chancen der Stirling-Kältetechnik in den Bereichen Gefrier- und Schockgefrieretechnik als aussichtsreich eingeschätzt. Für diese beiden Einsatzbereiche kann grundsätzlich zwischen „Massenanwendungen“ und „Spezialanwendungen“ unterschieden werden. Unter „Massenanwendungen“ werden Anwendungen verstanden, für welche nur wenige, standardisierte Typen von Kältemaschinen, meist mit kleiner Kälteleistung, dafür aber großer Stückzahl erforderlich sind. Beispiele dafür sind Gefriertruhen in Supermärkten und Haushalten. Unter „Spezialanwendungen“ werden alle anderen Anwendungen verstanden, welche speziell für jeden Anwendungsfall ausgelegt werden. Beispiele dafür sind Schockgefrieretunnel in Lebensmittel Fabriken, die Kälteversorgung von Gefrier-Lagerhallen oder eine zentrale Kälteversorgung für einen großen Supermarkt. Dafür werden meist große Kälteleistungen benötigt, die dafür erforderlichen Kältemaschinen müssen für jeden einzelnen Anwendungsfall speziell dimensioniert werden. Daher werden Kältemaschinen für diesen Anwendungsfall eher in kleineren Stückzahlen erforderlich sein. Für die beiden unterschiedlichen Anwendungsfälle sind unterschiedliche Umsetzungsstrategien für den praktischen Einsatz der Stirling-Kältetechnik erforderlich.

Als nächster Schritt wird eine „Marktanalyse“ des österreichischen Kältemarkts vorgeschlagen, wobei Daten über den Bedarf an Kälte in Österreich für die Bereiche Gefrierlagerung und Schockgefrieren erhoben werden sollen. Das Ergebnis dieser Marktanalyse sollte zeigen, in welchem der beiden Anwendungsfälle die Marktchancen der Stirling-Kältetechnik am größten sind.

Nach Abschluss der Marktanalyse sollte ein Business-Plan erstellt werden, in dem ein möglicher Weg zum praktischen Einsatz der Stirling-Kältetechnik, beginnend bei der Spezifikation und dem Bau eines Labormusters bis hin zur Serienproduktion und Vermarktung, aufgezeigt wird. Alle diese Schritte sollten mit entsprechenden KooperationspartnerInnen der österreichischen Wirtschaft durchgeführt werden.



## 7 Entwicklung von geschweißten Vollholz-Parkettelementen

---

### ***EINLEITUNG***

#### **Ausgangssituation**

Die Verbindungstechnik ist für den Einsatz von Holz von entscheidender Bedeutung. Holzverbindungen werden heute mittels Klebstoffen, Nägeln, Schrauben, Dübeln usw. hergestellt. Neuerdings werden auch Thermoplaste für Schweißverbindungen zwischen Holzfügeteilen eingesetzt. All diese Verbindungstechniken haben jedoch den entscheidenden Nachteil, dass unterschiedliche Werkstoffe mit unterschiedlichen Eigenschaften kombiniert werden. Dies hat zur Folge, dass immer der in Bezug auf eine oder mehrere Anforderungen am wenigsten geeignete Werkstoff als schwächstes Glied der Kette der Schwachpunkt für die ganze Verbindung ist. Dadurch werden die positiven Eigenschaften der Kombinationspartner nur zu einem geringen Teil bis gar nicht genutzt. Ein weiterer wesentlicher Aspekt ist, dass holz-fremde Stoffe oder Materialien wie beispielsweise Leime oder Thermoplaste die Umweltverträglichkeit derartiger Produkte deutlich herabsetzen.

Im Gegensatz dazu können Holzverbindungen mittels Reibschweißtechnologie sehr effizient hergestellt werden. Der unmittelbare Vorteil dieses innovativen Verfahrens liegt darin, dass vor, während und nach dem Fügeprozess keine weiteren Materialien wie beispielsweise Leim beigegeben werden müssen. Es wird eine so genannte „stofffreie Holzverbindung“ geschaffen, die insbesondere ökologische Vorteile gegenüber herkömmlichen Holzverbindungstechniken erwarten lässt.

#### **Ziele und Herausforderungen**

Die Technik des stofffreien Verschweißens von Holz ist erst seit 1998 in den Grundzügen bekannt und leitet sich von der Kunststoffreibschweißtechnologie ab, die heutiger industrieller Standard ist. Herkömmliche Kunststoffreibschweißmaschinen sind für die Herstellung von Holzprodukten nach der Holzschweißtechnologie im Allgemeinen aber nicht geeignet, zudem erfolgt das Verschweißen von Werkstücken hier in einem diskontinuierlichen Prozess. Herstellungsprozesse von plattenförmigen Holzwerkstücken, wie die Herstellung von Parkettelementen laufen dagegen in der Regel aus Gründen der Wirtschaftlichkeit in kontinuierlichen Prozessen ab.

Das Ziel des hier beschriebenen Projektes war die Entwicklung eines Produktionsverfahrens für die Herstellung von Parkettelementen nach der Reibschweißtechnologie. Die Aufgabe beinhaltete daher die Entwicklung eines neuen, dem Industriestandard nahen, kontinuierlichen Verfahrens sowie die Entwicklung einer entsprechenden halbtechnischen Anlage.

## Projektdaten

### Entwicklung von geschweißten Vollholz-Parkettelementen

#### Projektleitung:

Ing. Erwin Thoma

Thoma & Harms Holz GmbH

Hasling 35, A-5622 Goldegg im Pongau

Tel.: +43 (0)6415 8910

Email: [info@thoma.at](mailto:info@thoma.at)

Endbericht: Nr. 25/2008 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## ***INHALT***

### **Zur Technik des Schweißens**

Die Verfahren, die zum Fügen zweier Werkstoffe mittels „Schweißen durch Bewegung“ möglich sind, sind das sogenannte Ultraschallschweißen (US) und Reibschweißen (RS).

Das Ultraschallverfahren ist für das stoffreine Verschweißen von Holz nach heutigem Entwicklungsstand nicht geeignet. Die mit Hilfe von Ultraschalltechnik erzeugbaren Schwingungen sind für das Verschweißen von Holzwerkstücken ab einer Dicke von 1,0 mm zu gering. Darüber hinaus ist die benötigte Energie zu hoch.

Beim Reibschweißen wird unter einer Fügekraft eine Reibbewegung der Fügeteile relativ zueinander ausgeführt. Dabei werden die beiden zu fügenden Teile bis zur Schmelztemperatur erwärmt und unter einer bestimmter Fügekraft zusammengehalten, bis die Teile wieder unter die Schmelztemperatur abgekühlt sind. Die Fügekraft ergibt sich aus dem erforderlichen Fügedruck des Materials und der Fügefläche der Teile. Eine Verbindung, welche nach dem Prinzip des Reibschweißens hergestellt wird, eignet sich für hohe Stückzahlen, da der Schweißvorgang nur wenige Sekunden dauert. Ein weiterer Vorteil ist das selbstständige Entfernen von Verunreinigungen von den Fügeoberflächen, da durch die Plastifizierung des Werkstoffes diese aus der Fügezone herausgedrückt werden, bevor es zur Verbindung kommt.

Das RS gliedert sich noch einmal in vier weitere Fügeverfahren auf: das Vibrationsschweißen oder Linearschweißen (VIB), das Rotationsschweißen (ROT), das Orbitalschweißen (ORB) und das Zirkularschweißen (ZS). Diese Verfahren unterscheiden sich vor allem durch die Form der Relativbewegung zwischen den Fügeteilen.

Im Rahmen dieses Projektes waren zwei dieser Verfahren relevant.

- Erstens das Zirkular- oder Linearschweißen, das für die Grundlagenentwicklung des Holzschweißens von besonderer Bedeutung war. Aufgrund der kurzen Schweißzeiten findet dieses Verfahren insbesondere in der Automobil- und Zuliefererindustrie, aber auch in der Medizinaltechnik und bei der Haushaltsgeräteindustrie Anwendung. Es zählt zu den meist verbreiteten Verfahren.

- Zweitens das Vibrationsschweißen - auf dieses Verfahren wurde aus strategischen und praktischen Gründen im vorliegenden Projekt zurückgegriffen: Der Umstand, dass die Schwingung der Fügeteile bei diesem Verfahren nur in eine Richtung erfolgt, ist für die Entwicklung eines kontinuierlichen Verfahrens günstig. Weiters besteht mit der Firma KLN ([www.kln.de](http://www.kln.de)), Herstellerin von VIB-Anlagen, eine Partnerschaft.

Das Vibrationsschweißen ist ein junges, aufgrund seiner kurzen Zykluszeiten ein sehr verbreitetes und in der Serienfertigung häufig anzutreffendes Verfahren. Die heutigen Standardmaschinen zum VIB arbeiten mit elektromagnetischen, hydraulischen sowie mechanischen Antriebssystemen und ihre Maschinenregelung ist herstellerabhängig. Die amerikanische Firma BRANSON entwickelte ein Konzept der elektromagnetischen Schwingungserzeugung. Die linearen Schwingungen werden dabei über eine seitliche horizontale Auslenkung des Schwingers gegen die Kraft von Federn zwischen Magnetspulen erzeugt. Neben der Firma BRANSON bieten auch die Firmen KLN und DUKANE solche Schwingssysteme an. Für die im Rahmen dieses Projektes entwickelte Anlage wurde ein Vibrationsantrieb der Partnerfirma KLN eingesetzt.

### Beschreibung des Verfahrens des stoffreinen Holzschweißens

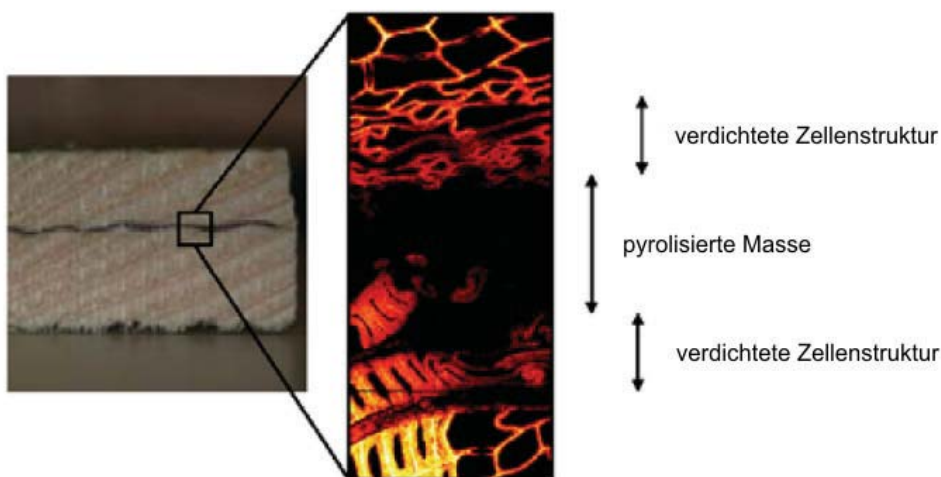


Abb.: Aufbau einer Schweißfuge

Die oben stehende Abbildung zeigt eine Fotografie und ein Mikroskopiebild der Schweißfuge. Im Mikroskopiebild sind die Teilbereiche der Holzschweißnaht (verdichtete Zellenstruktur, pyrolysierte Masse) erkennbar.

Die zu verbindenden Holzwerkstücke werden unter Aufbringung eines geringen Druckes relativ zu einander gerieben. Durch den Energieeintrag werden die Holzwerkstücke in der Fuge auf eine Temperatur von über 300° C erwärmt und die Zellenstruktur im Fugebereich mechanisch zerstört. Durch dieses Öffnen der Zellenstruktur und die thermische Erwärmung wird Lignin („Holzklebstoff“) aus dem Holzwerkstoff gelöst und geschmolzen.

Anschließend werden die Holzwerkstücke im Stillstand unter Ausübung eines Verdichtungsdruckes gefügt. Das Verdichten der Zellenstruktur wird sowohl durch ein Imprägnieren als auch durch ein Komprimieren der Zellenstruktur im Fugebereich bewerkstelligt.

Ziel des Fügeprozesses beim Kunststoff- als auch beim Holzschweißen ist die Verfestigung des thermoplastischen Materials in der Fuge durch Abkühlung. Im Unterschied zum Kunst-

stoffschweißen sind für ein kraftschlüssiges Fügen beim Holzschweißen ein Erstarren der Klebmasse sowie eine Verfestigung der Zellenstruktur unabdingbar. Die Klebmasse erhärtet bei einer Temperatur von ca. 200°C, die Verfestigung der Zellenstruktur tritt bei Raumtemperatur, maximal bei 50 - 70° C ein. Wegen der charakteristischen Eigenschaften von Holz (Wärmespeicherung, Wärmeleitfähigkeit) findet im Vergleich zu Kunststoff nur eine sehr langsame Abkühlung statt. In der Literatur wird angenommen, dass durch ein nur kurzzeitiges Aufbringen eines Fügedruckes, keine vollständige plastische Verformung der Zellenstruktur stattfindet. Findet keine vollständige Aushärtung in der Fuge statt, ist das Auftreten von lokalen Brüchen durch eine Redeformation der Zellen oder durch geringe Belastungen (Temperaturschwankungen, Feuchteänderung) zu beobachten.

### Halbtechnische Anlage

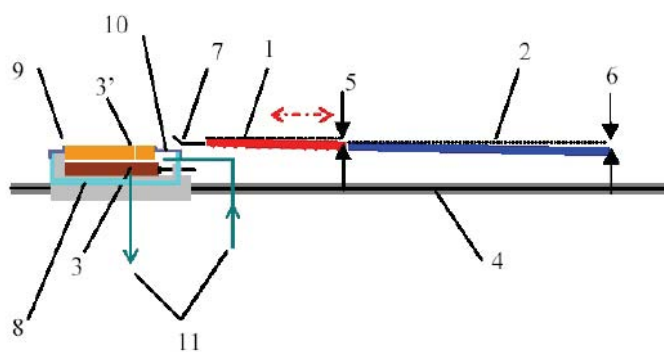


Abb.: schematische Darstellung der halbtechnischen Anlage

Die halbtechnische Anlage dient als Demonstrationsanlage für eine Herstellung von Parkettelementen und stellt in allen Belangen eine Neuentwicklung im Maschinenbau dar. Die Holzstücke (3 und 3' in der vorigen Abbildung) werden mittels einer Transporteinheit (8) zur Energieeinheit (1) und in weiterer Folge von dieser zur Kühleinheit (2) befördert.

Durch die Schiefstellung von Schwingplatte (1) und Kühleinheit sind die Holzstücke im Verlauf des Weges auf der Transporteinheit einem zunehmenden Druck ausgesetzt. Auf diese Weise können sowohl während des Energieeintrages als auch beim anschließenden Kühlen die notwendigen Druckbedingungen für eine gute Verbindung erzielt werden.



Abb.: Halbtechnische Anlage

Das Verschweißen der Probekörper verlief erfolgreich. Die folgende Abbildung zeigt als Beispiel eine Buchenplatte, auf die Fichtenleisten geschweißt wurden.

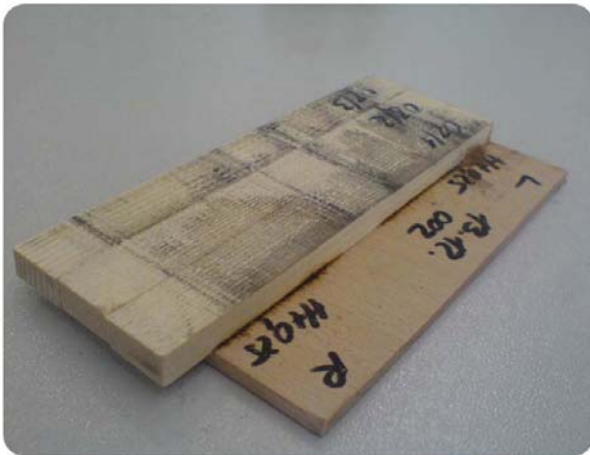


Abb.: Foto eines Probekörpers: Fichtenleisten wurden auf eine Buchenplatte geschweißt.

Im Vergleich zum diskontinuierlichen Verfahren einer Standard-Reibschweißmaschine ergab sich eine deutlich gesteigerte Produktionsleistung. Die Durchlaufgeschwindigkeit der neu entwickelten kontinuierlichen Anlage lag bei circa 1,5 mm/min. Bei einer weiteren Optimierung kann diese sicher gesteigert werden. Die Festigkeiten der hergestellten Schweißfugen lagen deutlich über den in gängigen Normen geforderten Werten. Es konnten Zugscherfestigkeiten von min. 4,5 N/mm<sup>2</sup> gemessen werden.

### **Ausblick**

Mit der erfolgreichen Entwicklung der Anlage wurde gezeigt, dass der Grundgedanke, eine stoffreine Holzverbindung durch den Einsatz von Reibschweißenergie herzustellen und dieses Verfahren für die industrielle Herstellung von Parkettelementen einzusetzen, prinzipiell umsetzbar ist.

Durch den Wegfall von chemischen Produkten wie Klebstoffen sind zahlreiche Verbesserungen denkbar, etwa in den Bereichen Recycling, Kosteneffizienz und Lebensqualität der EndverbraucherInnen.

Die Vorteile von stoffreinen Holzschweißprodukten bezüglich ihrer Nachhaltigkeit legen nahe, die hier beschriebene Technologie als eine wichtige zukünftige Verbindungstechnik von Holz anzusehen.

## 8 Antistatische Lacke für Parkettfußböden durch ionische Flüssigkeiten

---

### ***EINLEITUNG***

#### **Ausgangssituation**

Elektrostatische Aufladungen werden vom Menschen als unangenehm wahrgenommen. Sie entstehen durch Reibung zwischen zwei Materialien und sind umso stärker, je unterschiedlicher die Materialien sind und je schneller die Kontaktänderungen verlaufen.

Es gibt viele chemische Verbindungen mit antistatischer Wirksamkeit. Diese sind jedoch nur eingeschränkt mit Lacksystemen verträglich und können daher nur in begrenzter Menge in den Lack eingebaut werden, um die Lackqualität nicht zu beeinträchtigen. Im Gegensatz dazu stellen ionische Flüssigkeiten hochinnovative Stoffe und zugleich Hoffnungsträger einer effizienten Chemie dar. Sie bieten die Möglichkeit, maßgeschneiderte Lösungen durch Variation und Kombination verschiedenster Kationen und Anionen zusammen zu stellen, wobei der Rohstoffeinsatz durch optimale Kombination minimiert werden kann. Des Weiteren ermöglichen ionische Flüssigkeiten, sich durch funktionelle Gruppen mit dem Lack chemisch zu verbinden, ohne dabei ihre antistatische Wirkung zu verlieren.

#### **Ziele und Herausforderungen**

Im Rahmen des Projekts sollten Arbeiten zur Minimierung der elektrostatischen Aufladung von Parkettoberflächen mittels ionischer Flüssigkeiten durchgeführt werden. Auf Basis strahlenhärtender Lacke ohne Lösemittlemission sollten antistatische Böden mit dauerhafter Wirkung entwickelt werden. Nach einem Screening diverser Ansätze sowie einer Optimierung der Strukturen sollten einige konkrete Verbindungen identifiziert werden, mit denen das Ziel eines antistatischen Lacks realisierbar ist. Dies stellt eine innovative Produktionsmethode und eine neue Technologie für einen effizienten Ressourceneinsatz dar. Eine wesentliche Verbesserung des menschlichen Wohlbefindens sowie eine merkbare Entlastung in der Raumpflege können dadurch erzielt werden.

#### **Projektdaten**

##### **Antistatische Lacke für Parkettfußböden durch ionische Flüssigkeiten**

##### **Projektleitung:**

Dr. Albert Keiler

ADLER-Werk Lackfabrik Johann Berghofer GmbH & Co KG

Elisabethstraße 5, A-8010 Graz

Tel.: +43 (0)5242 6922-700

E-Mail: [albert.keiler@adler-lacke.com](mailto:albert.keiler@adler-lacke.com)

Endbericht: Nr. 36/2008 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## INHALT

Die Materie ist aus neutralen Atomen aufgebaut. Die elektrische Neutralität der Atome wird dadurch hervorgerufen, dass sich in ihrem Aufbau die positiven Ladungen des Atomkerns mit den negativen Elektronen in der Hülle gerade kompensieren. Dabei kann das äußerste Elektron entweder in einer lockeren Bindung am übrigen Atomkomplex gebunden sein oder aber fester in diesem Verband eingebettet liegen. Atome der ersteren Art neigen dazu, an Nachbaratome Elektronen abzugeben, die der zweiten Art jenen Elektronen zu entreißen.

Das Verhalten von Werkstoffen bezüglich der Ableitung elektrostatischer Ladungen kann durch eine Skala beschrieben werden, deren empirische Abstufung durch den Oberflächenwiderstand in Ohm angegeben wird.

Ladungsableitung möglich					Ladungsableitung begrenzt möglich	Ladungsableitung nicht möglich				
Stoffe nicht aufladbar					Übergangsbereich	Stoffe aufladbar				
leitend		ableitend				isolierend				
10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>10</sup>	10 <sup>11</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>13</sup>	10 <sup>14</sup>

Abb.: Oberflächenwiderstand in Ohm

Zwischen den Leitern ( $< 10^5$  Ohm) und den Isoliermaterialien ( $> 10^{11}$  Ohm) befindet sich eine Materialgruppe, die für zahlreiche interessante Anwendungsgebiete (z.B. Bodenbeläge) geeignet ist. Diese Materialien werden als ableitfähige Stoffe bezeichnet. Auf hochohmigen Stoffen im Bereich  $10^9$  bis  $10^{11}$  Ohm können sich elektrostatische Ladungen bilden, die auf einer Stelle verharren und sich akkumulieren. Elektrostatische Aufladungen, die auf ableitfähigen Materialien entstehen können, fließen, sofern geerdet worden ist – in Abhängigkeit des Ableitwiderstandes – mehr oder weniger schnell ab.

### Elektrostatische Aufladung von Böden

Die Neigung zur elektrostatischen Aufladung ist eine unangenehme Eigenschaft, die auch vielen Fußböden im Wohnbereich eigen ist. Reibungselektrizität entsteht dabei beim Begehen der Bodenfläche.

Die Problematik betrifft insbesondere Laminatböden, aber auch Holzfußböden, die mit UVgehärteten Bindemitteln (z.B. ungesättigte Acrylatharze, teilweise auch modifiziert mit Ölen auf Basis nachwachsender Rohstoffe) behandelt wurden, und auch lackierte Holzoberflächen schneiden in Bezug auf das antistatische Verhalten nicht optimal ab. Vor allem die vermehrt geforderten Kratz- und Abriebfestigkeiten haben im Parkettlackbereich zu Lackmodifikationen geführt, die in jüngster Zeit sogar eine Verschlechterung des elektrostatischen Verhaltens feststellen lassen.

Es gibt sehr viele chemische Verbindungen, deren antistatische Wirksamkeit bereits bekannt ist. Diese sind jedoch nur eingeschränkt mit Lacksystemen verträglich und können daher nur in begrenzter Menge in den Lack eingebaut werden, um die Lackqualität nicht zu beeinträchtigen. Bislang kommen in dauerhaften Antistatik-Beschichtungen vor allem Rußpartikel zum Einsatz, mit dem sich jedoch keine transparenten oder beliebig farbige Beschichtungen for-

mulieren lassen. Indiumzinnoxid als Alternative ist viel zu teuer, um in klassischen Lacken eingesetzt zu werden. Transparente Lacke können zwar heute bereits mit speziellen Additiven modifiziert werden, das Langzeitverhalten der zum Einsatz kommenden organischen Salze ist aber schlecht (Auswaschung im Reinigungsprozess) und die geringe Verträglichkeit ermöglicht nur geringste Einsatzmengen.

## **Ionische Flüssigkeiten**

Basis der geplanten Arbeiten war das Einbringen von ionischen Flüssigkeiten (häufig auch als flüssige Salze bezeichnet) in die Lackmatrix, um die elektrische Leitfähigkeit zu erhöhen. Ionische Flüssigkeiten stellen organische Verbindungen dar, die wie Kochsalz aus positiv und negativ geladenen Teilchen bestehen. Ein Einsatz in der Lackindustrie war bisher nur im Bereich von Pigmentpasten als Dispergierhilfsmittel beschrieben. Teilweise gab es Arbeiten, die sich mit dem Einsatz im Bereich der Kunststoffe beschäftigten, relativ wenig war bisher über den Einsatz als Antistatikum bekannt.

Es sollte ein spezieller Lack hergestellt werden, welcher zusammengefasst folgende Eigenschaften aufweist:

- antistatisches Verhalten,
- Haltbarkeit und Pflegeleichtigkeit,
- schnelle Härtung und dadurch kostengünstige Produktion,
- keine Verwendung von Lösungsmitteln,
- gute chemische und mechanische Widerstandsfähigkeit.

AbnehmerInnen des Produkts sind zum einen die Parkettindustrie und das Gewerbe, zum anderen der gehobene Fachhandel, der die Produkte den EndverbraucherInnen direkt anbietet.

## **Prüfmethoden**

Bei der Ausprüfung kamen insbesondere die folgenden Methoden zur Anwendung:

- Messung des Oberflächenwiderstands nach EN 1081: Dabei wird der elektrische Widerstand zwischen zwei Dreifußelektroden auf der Oberfläche gemessen.
- Messung der elektrostatischen Aufladung nach EN 1815: Hierbei wird die Aufladung durch einen Begehtest beurteilt, in dem eine Prüfperson, die ein Paar definierte Sandalen trägt, über einen auf einer geerdeten Grundplatte liegenden Bodenbelag geht.
- Prüfung auf antistatische Wirkung mittels Staubtests: Dabei wird die Lackoberfläche einer Atmosphäre aus aufgewirbeltem Staub ausgesetzt. Die Beurteilung der Staubanlagerung erfolgt visuell. Je höher die statische Aufladung ist, desto stärker ist die unerwünschte Staubadhäsion.



## Ergebnisse

### Screeningphase

Für das zu lösende Problem wurde zu Beginn des Projekts ein Screening durchgeführt, um diverse Wege hinsichtlich ihrer Effizienz zu prüfen. Dabei lag den geprüften ionischen Flüssigkeiten eine Struktur zugrunde, die sich aus Anionen, Kationen und einer Doppelbindungsfunktionalität zusammensetzte. Alle drei Strukturelemente wurden während der Screeningphase variiert, um möglichst breit potenzielle Verbindungen für eine nachfolgende Optimierung zu identifizieren.

Folgende Ansätze wurden geprüft:

- Einfache Ionen,
- Binäre Kationen,
- Zwitterionen,
- Physikalische Mischungen diverser ionischer Flüssigkeiten,
- Immobilisierung der ionischen Flüssigkeiten auf einem Trägermaterial (z.B. Silica oder Aluminiumoxid),
- Pigmente auf Basis von Antimon-Zinnoxid, welche bereits seit längerer Zeit in antistatischen Betonfußbodenbeschichtungen eingesetzt werden.

Nach erfolgter Synthese diverser ionischer Flüssigkeiten, wobei modernste Methoden der Synthesechemie zur Anwendung kamen und insbesondere Aspekte wie eine spätere kommerzielle Verfügbarkeit berücksichtigt wurden, erfolgte die Formulierung der Parkettlacke.

Hinsichtlich der Lackformulierung wurde die übliche Technik des Dispergierens<sup>3</sup> zur Anwendung gebracht. Da ionische Flüssigkeiten als flüssiges Additiv den ebenfalls (zäh-) flüssigen Lackharzen zugegeben werden, erscheint diese Technik ausreichend. Anschließend wurde eine erste Lackausprüfung (z.B. Härte, Abrieb, Viskosität, etc.) durchgeführt.

Insgesamt wurden ca. 30 Verbindungen synthetisiert und ca. 60 Lackformulierungen geprüft. Die hinsichtlich Reduktion des Oberflächenwiderstandes effizientesten Stoffe wurden anschließend einer Optimierung zugeführt. Nicht weiter verfolgt wurde das Konzept der Immobilisierung, da keine Reduktion des Oberflächenwiderstands zu beobachten war.

Beim Einsatz von Pigmenten auf Basis von Antimon-Zinnoxid waren hohe Einsatzmengen von bis zu 30 % notwendig, um eine ausreichende Reduktion des Widerstandes zu erzielen. Damit war die für Holz erforderliche Transparenz nicht länger gegeben. Deshalb wurden diese Arbeiten nicht weiter verfolgt. Parallel wurden auch einige am Markt erhältliche antistatische Additive untersucht, keines war aber bezüglich seiner antistatischen Wirkung überzeugend.

---

<sup>3</sup> Als Dispergieren bezeichnet man die Homogenisierung von Stoffen oder auch die optimale Durchmischung. Durch Dispergierung erreicht man den Idealzustand von einzeln vorliegenden Primärteilchen, die mit Bindemittel benetzt werden.

## Optimierung

Die hinsichtlich Reduktion des Oberflächenwiderstandes effizientesten Stoffe wurden bezüglich ihrer Struktur optimiert. In dieser Phase erfolgte die systematische Variation der Schlüsselstrukturelemente:

- Anion,
- Kettenlänge der Alkylgruppen,
- Variation der Doppelbindungsfunktionalität.

Insgesamt wurden dabei nochmals rund 20 Verbindungen synthetisiert und in Lackformulierungen geprüft. Die hinsichtlich Reduktion des Oberflächenwiderstands effizientesten Stoffe, welche die Zielvorgaben erfüllten (Personenaufladung nach EN 1815 < 2 kV, Oberflächenwiderstand nach EN 1081 <  $10^{10}$  Ohm), wurden anschließend einer weiteren Optimierung zugeführt und zur Fertigung erster Prototypen herangezogen.

In den Versuchen zeigte sich, dass die erforderlichen Einsatzmengen der ionischen Flüssigkeiten zu hoch sind, um die realisierbaren Effekte am Markt bei den gegebenen Mehrkosten rechtfertigen zu können. Vor einer kommerziellen Verwertung sind deshalb noch weitere Versuche erforderlich und es gilt ein Optimum zu finden. Weiters ist zu bedenken, dass die bisherigen Resultate nur bei einem matten Glanzgrad erreicht wurden, es aber unbedingt erforderlich ist, auch die Effekte im Falle stumpfmatter oder seidenmatter Lacke zu realisieren.

## Resümee

Das Projektziel wurde grundsätzlich erreicht, zumal mit Ende des Projektes mehrere Additive auf Basis ionischer Flüssigkeiten vorliegen, mit welchem antistatische Lacke gefertigt werden können. Vor der kommerziellen Verwertung sind allerdings noch weitere Versuche zur Optimierung von Kosten- und Materialeffizienz erforderlich. Insbesondere muss die Einsatzmenge optimiert und eine vollständige anwendungstechnische Ausprüfung des Lacksystems durchgeführt werden. Auch der Einfluss des Mattierungsmittels sollte näher untersucht werden, da die antistatische Funktionalität im gesamten Glanzgradspektrum angeboten werden muss. Insofern ist die kommerzielle Realisierung noch nicht möglich, die Basis für eine erfolgreiche Umsetzung ist aber grundsätzlich gelegt.

Die gewonnenen Forschungsergebnisse können später auch auf andere Lacksysteme übertragen werden, auch in anderen Bereichen ist antistatisches Verhalten durchaus von Interesse. Dadurch ist sichergestellt, dass die Technologie im Weiteren breit eingesetzt und vermarktet werden kann. Ein Ausstrahlen auf andere Branchen und Bereiche ist ebenso denkbar.

## 9 Stoffstrombasiertes Produktionsmanagement für Sägebetriebe

---

### ***EINLEITUNG***

#### **Ausgangssituation**

Die europäische Holzwirtschaft unterlag vor allem in den letzten Jahrzehnten einem bedeutenden Konzentrationsprozess, der größtenteils auf technische Entwicklungen zurückzuführen war und den Wettbewerb besonders in der Sparte der Sägeindustrie verschärfte. Zusätzlich bieten neue und vor allem wettbewerbsfähige Standorte in Osteuropa zusätzliches Holz für den regionalen und auch internationalen Markt an.

Damit sind Sägebetriebe an Produktionsstandorten in hoch industrialisierten Ländern mit einem intensiven Verdrängungswettbewerb konfrontiert. Dieser wird durch relativ hohe Rohstoffpreise sowie hohe Arbeits- und Energiekosten erzeugt. Besonders kleine und mittelgroße Sägebetriebe leiden unter ihren beschränkten Möglichkeiten und den hohen Risiken der Teilnahme am internationalen Holzmarkt. Andererseits versorgen diese Betriebe mit ihren Schnittholz- und Sägenebenprodukten wesentliche Bereiche im Wertschöpfungsnetzwerk Holz.

In Österreich sind derzeit mehr als 1.000 Sägewerke mit einer Einschnittsleistung von etwa 25 Mio. Festmeter in Betrieb. In vielen Sägen wird eine hoch spezialisierte Sägetechnik zur Schnittholzproduktion eingesetzt. Charakteristisch für Sägebetriebe ist, dass im laufenden Betrieb zwangsweise Nebenprodukte anfallen. Eine durchgehende Entscheidungsunterstützung mit anspruchsvollen Planungsmethoden ist vielfach nicht vorhanden, d.h. Planungsinstrumente zur systematischen Prozessverbesserung in diesen Betrieben fehlen.

#### **Ziele und Herausforderungen**

Der in diesem Projekt entwickelte Ansatz soll durch das Ausnützen von Planungslücken die Wertschöpfung in Betrieben erhöhen und so einen Beitrag zur Steigerung der Ressourceneffizienz und der Standortsicherung von Sägebetrieben leisten.

Mit Hilfe der Kombination von Materialflusssimulation und modernen, anspruchsvollen Planungsverfahren zur Auftragseinlastung soll für einen gewählten Planungszeitraum die günstigste Rohstoffauswahl und die bestmögliche Erfüllung von KundInnenaufträgen ermittelt werden. Dafür sind mathematische Optimierungsmethoden zur Erzeugung von Lösungen in Form von Planvorgaben für die kurzfristige, tagesfeine Produktionsplanung erforderlich.

## Projektdaten

### Stoffstrombasiertes Produktionsmanagement für Sägebetriebe

#### Projektleitung:

Univ. Prof. Mag. Dr. Manfred Gronalt  
Universität für Bodenkultur Wien, Department für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften  
Institut für Produktionswirtschaft und Logistik (H 734)  
Feistmantelstraße 4, A-1180 Wien

Tel.: +43 (0)1 47654-4411

E-Mail: [manfred.gronalt@boku.ac.at](mailto:manfred.gronalt@boku.ac.at)

Endbericht: Nr. 48/2008 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## *INHALT*

In diesem Projekt geht es um die Vorstellung eines Ansatzes zur Ausnützung von Planungslücken in Sägebetrieben, um so die Wertschöpfung an Produktionsstandorten zu erhöhen und den optimalen Einsatz der Ressourcen zu gewährleisten. Durch eine simultane mehrperiodische Produktionsprogrammplanung für alle erzeugten Produkte können bisher nicht genutzte Möglichkeiten aufgezeigt und Ergebnisverbesserungen im Hinblick auf alle Produktionsschritte erzielt werden. Nicht nur der betriebswirtschaftliche Aspekt steht dabei im Vordergrund, auch beim Einsatz benötigter Energie und Hilfsmittel können Einsparungspotenziale aufgezeigt werden.

## Vorgangsweise

### Datenaufnahme

Die Datenaufnahme der Simulation orientiert sich am Materialfluss im Sägebetrieb. Die Simulation bildet einerseits den Materialfluss ab, andererseits mussten innerhalb dieser Simulation Regeln für die Auftragsbearbeitung definiert werden. Als Inputgrößen dienen Zeiten und Auftragsparameter. In der Datenaufnahme der Simulation sind folgende Daten enthalten:

- Allgemeine Daten,
- Rundholzanlieferung,
- Rundholzsortierung,
- Auftragswahl,
- Sägelinienaufgabe,
- Sägelinie,
- Schnittholzsortierung,
- Paketierung,
- Trocknung,

- Fremdaufgabe,
- Hobelung,
- Lager und Versand.

Im zweiten Schritt wurden die Daten der Einlastungsplanung aufgenommen. Sowohl für die Simulation als auch für die Entwicklung eines Planungsmodells wurden Nachfragemengen, Zeiten, Preise, Kosten und Lagerbestände erhoben. Die Datenaufnahme der Einlastungsplanung orientiert sich im Detail an verschiedenen Kennzahlen, die im Zuge der Gestaltung des linearen Optimierungsmodells entstanden sind. Die Daten wurden in einer Microsoft Access Datenbank abgelegt, um für die anschließende Entwicklung eines Optimierungsmodells für die Einlastungsplanung zur Verfügung zu stehen.

Die Datenaufnahme der Einlastungsplanung enthält:

- Nachfragemenge,
- Zeit,
- Preis,
- Kosten und
- Lagerbestände.

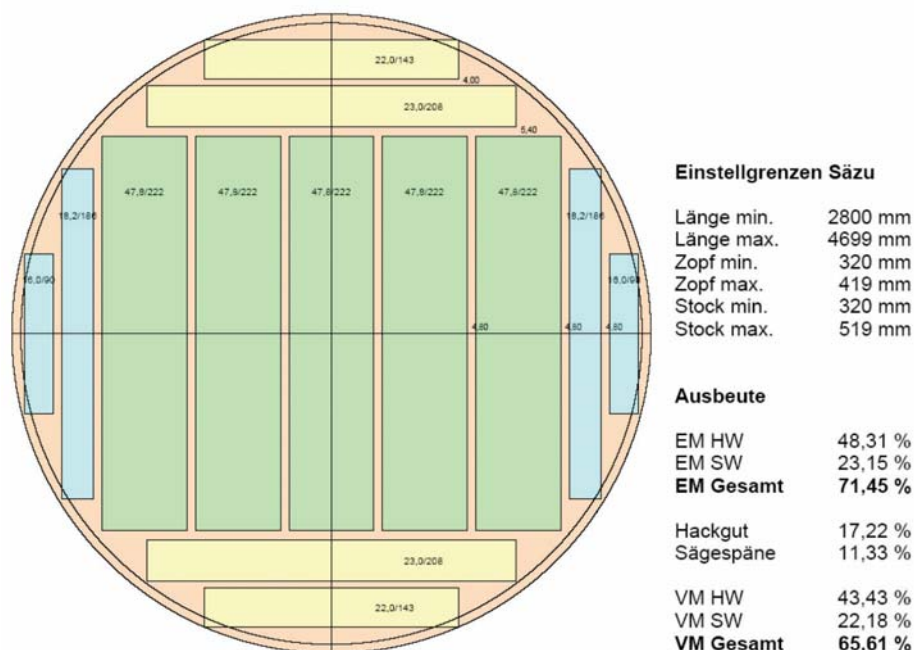


Abb.: Beispiel eines Schnittmusters (Grün: Hauptware, Gelb: Seitenware Vorschnitt, Blau: Seitenware Nachschnitt) – Firmeninterne Abbildung 2006

## Modellbildung

Für die Modellierung der Material- und Stoffströme im Sägebetrieb wurde ein Simulationsmodell erstellt, das sowohl die Ressourcen im Produktionsbetrieb, als auch Warteschlangen, Aufträge und Kenngrößen der Auftragsabwicklung erfasste. Als Programmierumgebung diente Arena® (Professional Edition – Academic Version), eine Simulationssprache von Rockwell Software. Dieses Programm bietet die Möglichkeit, selbst maßgeschneiderte Module für spezifische Bedürfnisse zu bauen.

Ein wesentliches Ziel in der Modellbildung bestand darin, ein Werkzeug für die detailgenaue Darstellung des Produktionsbetriebes zu schaffen, um mögliche Auswirkungen auf das Gesamtsystem zu quantifizieren und Verbesserungen vorzunehmen.

Die Ergebnisse des Simulationsmodells werden in Form eines **Sägeleitstandes** aufbereitet und dargestellt. Leitstände dienen der einfachen und übersichtlichen Kontrolle wichtiger Kennzahlen im Produktionsablauf. Die Schaffung eines Leitstandes für die Überwachung der Produktion während eines Simulationsvorganges war ein wichtiges Anliegen für die Umsetzung des Projektes.

### **Produktionsplanung**

Ziel der Produktionsplanung ist die Optimierung des Deckungsbeitrags unter Definition des hierfür nötigen Produktionsprogramms. Dazu wurde ein **MIP-Modell<sup>4</sup> für die Produktionsplanung** entwickelt, um zu ermitteln, welche Einschnittsvarianten den maximalen Deckungsbeitrag für das untersuchte Sägewerk, unter Bedacht auf den optimalen Ressourceneinsatz, ergeben. Außerdem müssen, in Abhängigkeit der optimalen Einschnittsvarianten, noch weitere Fragen beantwortet werden (z.B. Befriedigung der Nachfrage, Lagerung der Produkte, die erst später nachgefragt werden, Lagerung von Rohstoffen für eine spätere Produktion). Die relevanten Einflussparameter sind:

- Nachfrage,
- Zeit,
- Zopfdurchmesserverteilung,
- Rundholzlager,
- Schnittholzlager,
- Produkte,
- Einschnittsvarianten,
- Schnittholz- und Rundholzpreise sowie
- Rüstkosten.

Im Rahmen der **formalen Beschreibung des Optimierungsmodells** wurden die dafür notwendigen Indizes, Parameter, Entscheidungsvariablen, die Zielfunktion und die Nebenbedingungen detailliert beschrieben. In der Zielfunktion wird der Deckungsbeitrag maximiert<sup>5</sup>. Die Nebenbedingungen haben unterschiedliche Aufgaben, unter anderem:

- Ermittlung der nicht befriedigten Nachfrage bzw. des Lagerbestandes am Ende jeder Periode,
- Berücksichtigung der Maschinenbelegungszeiten,
- Einschnittsvarianten und Rüstzeiten.

---

<sup>4</sup> MIP = Mixed Integer Program.

<sup>5</sup> Der Deckungsbeitrag bildet sich aus: Deckungsbeitrag = Nettoerlös – variable Kosten – Lagerkosten der Bloche – Lagerkosten der Produkte – Materialkosten der Bloche.

## **Ergebnisse**

Im Rahmen des Projekts wurde ein umfassendes Konzept für die stoffstrombasierte Produktionsplanung in Sägebetrieben entwickelt. Dieses Konzept stellt die modelltheoretische Grundlage für die stoffstrombasierte Produktionsplanung bei den angeführten Produktionstypen der Sägeindustrie dar.

Ausgehend von diesem Konzept wurden für die vorgestellten Planungsaufgaben mathematische Optimierungsmodelle formuliert und spezielle Lösungsalgorithmen entworfen und implementiert. Auf diese Weise entstand ein Referenzmodell zur stoffstrombasierten Produktionsplanung in Sägebetrieben. Zudem wurde ein detailliertes Simulationsmodell zur Analyse der Stoffströme gebaut und mit den Planungsverfahren softwaretechnisch verknüpft.

Die Ergebnisse aus der Materialfluss-Simulation in Kombination mit jenen aus der Produktionsplanung können wie folgt zusammengefasst werden:

- Deckungsbeitragsoptimierter Einschnitt,
- Minimierung der Durchlaufzeiten,
- erhöhte Ressourcennutzung,
- Minimierung des gebundenen Kapitals bzw. der variablen Kosten und
- Sicherheit bei Umstellung auf ein anderes Produktionsprogramm.

Durch die Schaffung eines durchgehenden Produktionsplanungssystems kann eine Produktionsverbesserung unter den Aspekten Nachhaltigkeit und Ressourceneinsparung erzielt werden.

## **Ausblick**

Die Verwertung der Projektergebnisse soll auf mehreren Wegen erfolgen. Eine Publikation der Ergebnisse in Fachjournalen und Zeitschriften ist zunächst vorgesehen. Darüber hinaus werden die Konzepte bei einschlägigen Fachtagungen und Kongressen der österreichischen Sägeindustrie vorgestellt. Die entwickelten Planungsansätze finden aber auch Eingang in die universitäre Lehre, womit eine kontinuierliche indirekte Verwertung über Absolventen gegeben ist.

## 10 MIXOLITH – ein ökoeffizienter Baustoff aus Reststoffen

---

### ***EINLEITUNG***

#### **Ausgangssituation**

Weltweit ist die Zementindustrie für etwa 5 % des anthropogenen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes verantwortlich. Auch in Österreich ist der Anteil der Zementindustrie mit 3,5 % durchaus signifikant. Pro Tonne Zement wird weltweit durchschnittlich eine Tonne CO<sub>2</sub> freigesetzt, in Österreich sind es aktuell 630 kg CO<sub>2</sub>/t Zement.

Grundsätzlich gibt es drei technische Möglichkeiten, die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Zementerzeugung zu reduzieren:

- Steigerung der Energieeffizienz,
- Erhöhung des Anteils von Sekundärzumahlstoffen,
- Substitution von fossilen Brennstoffen durch Alternativbrennstoffe und Biomasse.

Im Bereich der Sekundärzumahlstoffe wird Zementklinker teilweise bereits durch Hochofenschlacke, Flugasche oder REA-Gips<sup>6</sup> substituiert. In Österreich werden pro Jahr etwa 0,75 Mio. Tonnen an sekundären Zumahlstoffen in Zementwerken verwertet, eine weitere Erhöhung des Anteils von Sekundärzumahlstoffen scheint aus anwendungstechnischen Gründen nur mehr in kleinen Schritten und mit erheblichem Forschungsaufwand möglich.

#### **Ziele und Herausforderungen**

Das Projekt zielte darauf ab, Beton<sup>7</sup> zur Gänze aus Recyclingmaterial, nämlich mit Flugasche, rezyklierten Baurestmassen, Fräsgut und Gießereisand herzustellen. Anschließend sollte die großtechnische Anwendung des entwickelten Betonmaterials für Sicherungsbauwerke im Hochwasserschutz, als Böschungs- und Hangsicherung, als Damm bei Rückhaltebecken und Tragschicht im Straßen- und Wegebau untersucht werden.

---

<sup>6</sup> REA Gips wird aus den Abgasen von Rauchgasentschwefelungsanlagen gewonnen und ist chemisch identisch mit dem in der Natur vorkommenden Gips.

<sup>7</sup> Beton ist ein Gemisch aus Zement, Gesteinskörnung bzw. Betonzuschlag (Sand und Kies oder Splitt) und Anmachwasser.



## Projektdaten

### Entwicklung des ökoeffizienten Alternativbaustoffs „Mixolith“ unter Verwendung von Reststoffen biogenen Ursprungs als Bindemittel

#### Projektleitung:

Wolfgang Berger  
Paltentaler Splitt & Marmorwerke GmbH  
Werksgasse 281, A-8786 Rottenmann

Tel.: +43 (0)361 424 20 44

E-Mail: [office@paltentaler-kies.at](mailto:office@paltentaler-kies.at)

Endbericht: Nr. 46/2008 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## ***INHALT***

Die Firma Paltentaler Splitt & Marmorwerke GmbH beschäftigt sich seit Jahren mit dem Einsatz von Abfallstoffen mit latent-hydraulischen Eigenschaften zur Substitution von Zement. Im vorliegenden Projekt wurde der Versuch unternommen, die ressourcenintensiven Primärrohstoffe der Betonerzeugung möglichst vollständig zu substituieren und eine entsprechende Mischrezeptur für einen betonähnlichen Alternativbaustoff zu entwickeln. Der entwickelte Alternativbaustoff aus industriellen Restmassen und Reststoffen biogenen Ursprungs sollte im Weiteren die Produktreife erlangen.

In Ermangelung geeigneter Normen oder anderer technischer Regelwerke für einen solchen Alternativbaustoff wurde für dieses Projekt ein Untersuchungsprogramm – nach den Prüfvorschriften der Deponieverordnung geltender Betonnormen und den Richtlinien und Vorschriften für den Straßen- bzw. Dammbau – zusammengestellt. In Zusammenarbeit mit dem Österreichischen Institut für Baustoffprüfung wurde ein Regelwerk erstellt, welches die Qualitätsanforderungen an einen alternativen Baustoff aus Restmassen für die jeweiligen Einsatzgebiete dokumentiert. Da die eingesetzten Sekundärrohstoffe im rechtlichen Sinn als *Abfälle* gelten, musste dabei auch das *Abfallende* gemäß § 5 AWG 2002 und der damit verbundene produktrechtliche Status der Mixolith-Betone bewiesen werden.

## **Projektverlauf**

Generell wurden sowohl von den Aschen als auch von allen in Frage kommenden Zuschlagsstoffen chemische Analysen zur Prüfung der Schadstoffgehalte angefertigt um zu gewährleisten, dass nur nicht gefährliche Restmassen im Sinne der ÖNORM S2100 eingesetzt werden.

Mit zwölf verschiedenen Aschen wurden Ansatzversuche durchgeführt um den optimalen Wassergehalt für die späteren Mischungen zu ermitteln. Zusätzlich konnte man mittels Ansatzversuchen, Röntgendiffraktometrie und augenscheinlicher Beurteilung Kenntnisse über das generelle Abbinde- und Reaktionsverhalten gewinnen sowie die Form- und Kantenstabilität bewerten. Einige Aschen erwiesen sich auf Grund von Rissbildungen und Zerfallerscheinungen als unbrauchbar.

Bei drei Aschetypen kam es bei einer über das optimale Wasser/Bindemittel-Verhältnis hinausgehenden Wasserzugabe zu Ausblühungen (v.a. Gipstreiben). Im Rahmen weiterer Versuche wurde festgestellt, dass es zu keiner Gipsbildung kommt, wenn den Aschen genügend Zeit zum Ausreagieren gegeben wird. Damit ist im industriellen Maßstab die Gefahr der Gipsbildung nicht gegeben, da der Beladungsvorgang eines Sattelzuges eine längere Zeit in Anspruch nimmt (ca. 40 Minuten).

Als Kriterium wurden zusätzlich zur augenscheinlichen Begutachtung auch die Druckfestigkeitswerte herangezogen. Dafür wurden 120 Versuchsreihen mit mindestens fünf Probezylindern pro Mischrezeptur einer einaxialen Druckfestigkeitsprüfung nach 14, 28, 56, teilweise 90 Tagen und einer visuellen Kontrolle unterzogen. Jene Aschen mit den besten Druckfestigkeiten und ohne augenscheinliche Fehler wurden ausgewählt, um damit neuerlich Mischrezepte zu erstellen. Die davon angefertigten Probezylinder wurden wiederum nach 14, 28, 56, teilweise 90 Tagen einer einaxialen Druckfestigkeitsprüfung und einer augenscheinlichen Kontrolle unterzogen.

Mit vier Aschen konnten folgende Qualitätskriterien erreicht werden:

- Einaxiale Druckfestigkeit > 5 N/mm<sup>2</sup>
- Keine Rissbildung
- Gutes Abbinde- und Reaktionsverhalten
- Formstabilität
- Kantenstabilität

Für die Gewährleistung einer gleichmäßigen Verteilung des Zementes im Mischgut und einer gleichbleibenden Produktqualität war eine mehrmalige Adaptierung des Mischverfahrens erforderlich. Um die benötigte durchgehende Benetzung des Bindemittels (Asche + Zement) zu erreichen, wurde sowohl die Trocken- als auch die Nassmischzeit erhöht. Eine Verlängerung der Mischzeit führt jedoch bei einer großindustriellen Herstellung zu einer Verringerung der Produktionsmenge. Auf Grund der damit verbundenen längeren Verweildauer auf dem LKW – längere Mischdauer bedeutet längerer Beladevorgang – musste das optimale Verhältnis von Wasser/Bindemittel deutlich überschritten werden, um einer Austrocknung entgegen zu wirken.

Zur Bestimmung des optimalen Kornbandes, wurde es notwendig, von den verwendeten Zuschlagsstoffen (Gießerei-Altsand, Baurestmassen, Asphaltfräsgut) sowie von den Flugaschen die Korngrößenverteilungen zu bestimmen. Darauf aufbauend konnte ein optimales Kornband für die Mischrezepturen erstellt werden.

Zur Festigkeitssteigerung erfolgten Versuche mit der Variation vom Zementgehalt. Wie erwartet stieg mit steigendem Zementgehalt auch die Festigkeit. Jedoch leidet unter der erhöhten Zementzugabe nicht nur die Wirtschaftlichkeit des Produktes, sondern auch das gesetzte Ziel, Primärrohstoffe weitestgehend zu substituieren.

Als alternative Methode zur Festigkeitssteigerung wurden Versuche mit der Beimengung von handelsüblichen Verzögerern (Ligninsulfonat und Polycarboxylat) durchgeführt. Nur eine einzige Asche erzielte durch die Beimengung von 0,5 % Ligninsulfonat eine deutlich höhere Druckfestigkeit als bisher. Bei allen anderen zeigten sich nach der Zugabe von Verzögerern deutliche Druckfestigkeitsverluste. Die Ursache für den Festigkeitsabfall liegt in den kompli-

zierten chemischen Reaktionsmechanismen, die aber im Rahmen dieses Projektes nicht weiter untersucht wurden. Trotz dieser schlechten Ergebnisse wurden weitere Versuche mit anderen handelsüblichen Verzögerern durchgeführt. Letztlich konnten durch Zugabe eines Verzögerers bei einigen Proben bereits nach sieben Tagen Druckfestigkeiten über 6 N/mm<sup>2</sup> erreicht werden.

Aufbauend auf den Ergebnissen der vorhergegangenen Versuche erfolgte eine mehrmalige Adaptierung der bestehenden Mischrezepturen. Mehrere Rezepte wurden bereits in der werkseigenen Mischanlage in Lassing im Rahmen diverser Feldversuche umgesetzt.

### **Erster Feldversuch**

Im April 2007 erfolgte ein erster Feldversuch. Dabei handelte es sich um eine Stützmaßnahme zur Böschungssicherung im Straßenbau an der Tauernstraße. Von den drei verwendeten Mischrezepturen erfolgte die Anfertigung mehrerer Probekörper. Die Zylinder wurden nach 28, 56 und 90 Tagen der einaxialen Druckfestigkeitsprüfung unterzogen. Zusätzlich wurde von den eingesetzten Mischungen eine Eluatanalyse zum Nachweis der Unbedenklichkeit durchgeführt.

Die ermittelten Werte wurden mit den in der Deponieverordnung für Bodenaushubdeponien festgelegten Grenzwerten verglichen. Wie bereits im Vorfeld vermutet wurden die Werte bei keiner der drei Aschemischungen überschritten. Zusätzlich erfolgte eine Bestimmung der Rohdichte und des Durchlässigkeitsbeiwertes.

Die ermittelten Druckfestigkeiten betragen nach 28 Tagen je nach Aschetyp zwischen 5,4 und 7,0 N/mm<sup>2</sup>. Der Durchlässigkeitsbeiwert lag zwischen  $6,9 \cdot 10^{-8}$  m/s und  $1,4 \cdot 10^{-9}$  m/s und entspricht somit dem Durchlässigkeitsbeiwert von Ton. Mit den Ergebnissen aus diesem Feldversuch wurde der Beweis erbracht, dass die in Laborversuchen erfolgreich getesteten Mischungen auch im Großversuch hinsichtlich ihrer chemischen und technischen Eigenschaften nicht von den vorhandenen Ergebnissen abweichen.

### **Zweiter Feldversuch**

Der zweite Feldversuch erfolgte im Juni 2007. Auf einer bislang ungenutzten Fläche mit Nasszonen wurde ein standfester Manipulationsplatz errichtet und zusätzlich eine 6 m hohe Hangsicherungsmaßnahme durchgeführt. Zusätzlich zu den aus den Mischungen angefertigten Probekörpern wurden aus dem Bauwerk 56 Tage nach der Errichtung Bohrkernentnommen. Die Proben erzielten Druckfestigkeitswerte zwischen 6 und 9 N/mm<sup>2</sup>. Diese Ergebnisse zeigten ein weiteres mögliches Einsatzgebiet von „Mixolith-Beton“.

### **Dritter Feldversuch**

Im Oktober 2007 wurde im Bergbaugelände Lassing eine Fläche von 650 m<sup>2</sup> als Versuchsfläche bereitgestellt. Im Rahmen dieses Feldversuches wurden mehrere Mischrezepte angewendet. Mit Hilfe dieser Versuchsfelder wurde der Beweis erbracht, dass eine ca. 40 cm mächtige Schicht für die Errichtung eines standfesten Lagerplatzes ausreicht. Wie schon bei den vorhergegangenen Feldversuchen erfolgte auch hier eine Fertigung von Probekörpern mit anschließender Druckfestigkeitsprüfung.

### **Vierter Feldversuch**

Aufbauend auf den laufenden Versuchen startete im April 2008 wiederum ein Großversuch. Dabei erfolgte die Errichtung einer Stützmaßnahme zur Böschungssicherung an einer stark

befahrenen Bundesstraße. Insgesamt kamen 112 m<sup>3</sup> „Mixolith-Beton“ zum Einsatz. Die hergestellten Probekörper wurden wie üblich einer Druckfestigkeitsprüfung unterzogen. Bei diesem Projekt ergab sich eine durchschnittliche Anfahrtszeit von 70 Minuten. Zusätzlich führten Verzögerungen an der Baustelle zur bisher längsten Verweildauer von „Mixolith-Beton“ auf dem anliefernden Fahrzeug. Infolgedessen wurde bei diesem Versuch der Beweis erbracht, dass der Lieferradius bzw. die Lieferzeit durchaus noch weiter als bisher angenommen ausdehnbar ist.

## **Ergebnis**

Die Umweltverträglichkeit von Mixolith konnte im Rahmen der durchgeführten Eluatuntersuchungen bereits erfolgreich bewiesen werden. Um auch zukünftig nur ungefährliche Reststoffe zu verwenden, sind laufende chemische Untersuchungen allerdings unerlässlich.

Auch das Ziel einer einaxialen Druckfestigkeit von mindestens 8 N/mm<sup>2</sup> konnte erreicht werden. Die besten vier Mischrezepte wurden ausgewählt und weiter beprobt. Die Ergebnisse dieser Prüfungen dienten als Grundlage für die Produktzertifizierung. Im Rahmen dieser Produktzertifizierung wurde auch der Beweis des Abfallendes (§ 5 AWG 2002) erbracht.

Trotz der positiven Ergebnisse aus den Feldversuchen wurden laufend weitere Probekörper gefertigt und geprüft. Im Rahmen der fortlaufenden Mischversuche zeigte sich, dass es notwendig ist, für jede Asche-Charge mittels Procterversuchen den optimalen Wassergehalt zu bestimmen. Zusätzlich stellte sich heraus, dass jede Aschelieferung auch deutliche Unterschiede im Bezug auf die Abbinde temperatur zeigt. Um dieses Problem in den Griff zu bekommen, wird es wahrscheinlich notwendig werden, wöchentlich eine chemische Eingangskontrolle der Asche im Werk Lassing vorzunehmen.

Für die Produktzertifizierung erfolgte eine Umstellung der Probegeometrie. Anstelle von Probezylindern wurden Normenprismen (40 mm x 40 mm x 160 mm) verwendet. Zusätzlich erfolgte die Entwicklung von Mischrezepten bei denen zwei bzw. drei Aschen im gleichen Verhältnis miteinander gemischt wurden. Die 14-Tage-Druckfestigkeiten lagen sowohl bei den „2er-Mischungen“ als auch bei den „3er Mischungen“ deutlich über 10 N/mm<sup>2</sup>.

## **Umweltnutzen**

Durch den Einsatz des Alternativbaustoffs entsteht ein mehrfacher Umwelt nutzen. Einerseits werden durch Substitution von Primärrohstoffen Ressourcen geschont, andererseits erfolgt durch die Rückführung von nicht gefährlichen Reststoffen und Abfällen biogenen Ursprungs in den Produktkreislauf eine Verlängerung des Lebenszyklus und eine Steigerung der Ressourceneffizienz. Weiters wird wertvolle Deponiefläche eingespart.

Ein weiterer Vorteil von Mixolith: durch den Einbau von Mixolith bei Hang- und Böschungssicherungen kann auf die üblicherweise verwendeten Wasserbausteine verzichtet werden. Bei der Verwendung von Mixolith zeigte sich, dass sich – im Gegensatz zur Anwendung von Wasserbausteinen, deren Einbau immer sichtbar bleibt – ohne Zutun von außen rasch erste Moose ausbildeten, sogar Walderdbeeren siedelten sich auf einem kleinen Teilstück an.

## Ausblick

In Zukunft soll „Paltentaler Mixolith, das synthetische Konglomerat“ als:

- Stützdamm für Rückhaltebecken,
- Bodenaustausch zum Aufbau von mechanisch hoch belastbarem Untergrund,
- Deponieabdichtung und für Sauberkeitsschicht<sup>8</sup>,
- Hangsicherungsmaßnahme

verwendet werden. Mit diesem Baustoff wird dem Kunden eine kostengünstige Alternative für bisher teure Bauvorhaben geboten. Die Feldversuche wecken bereits großes Interesse bei regionalen Bauträgern. Derzeit schätzt man, dass nach der Produktzertifizierung Absatzmengen von 10.000 bis 15.000 m<sup>3</sup> Mixolith pro Jahr realisierbar sind. In den Folgejahren wird eine Steigerung der Absatzmenge zwischen 10 – 15 % erwartet. Ein Marktanteil von 70 % innerhalb der Obersteiermark und längerfristig von 50 % Österreichweit wird angestrebt.



Abb.: Stützdamm Werk Lassing, Mischanlage Werk Lassing

---

<sup>8</sup> Eine Sauberkeitsschicht dient dazu, nach dem Erdaushub eine ebene, saubere Fläche zu schaffen.



## Gesamtübersicht der Projekte

Kapitel	Projekttitlel	Schriftenreihe
<b>Zero Emission Ansatz als Instrument der nachhaltigen Unternehmensführung</b>	ZERMEG I - Zero Emission Retrofitting Of Existing Galvanizing Plants	21/2003
	ZERMEG II - Zero emission retrofitting method for existing galvanising plants	22/2006
	ZERMEG III	41/2007
	ZERMET	laufend
	2 Tage Nachhaltigkeit	laufend
<b>Produzieren mit Sonnenenergie</b>	PROMISE – Produzieren mit Sonnenenergie: Potenzialstudie zur thermischen Solarenergienutzung in österreichischen Gewerbe- und Industriebetrieben	01/2004
	Entwicklung und Optimierung eines Parabolrinnenkollektorsystems zur Erzeugung von Prozesswärme für industrielle Produktionsprozesse	61/2006
	Solarthermische Kälteerzeugung mit Parabolrinnenkollektorsystem und Dampfstrahl-Kältemaschine	laufend
<b>Brennstoffzellen</b>	Massenfertigung für PEM-Brennstoffzellen	25/2006
	EasyCell - Designoptimierung von PEM Brennstoffzellen zur Reduzierung der Nebenaggregate, zur Vereinfachung des Stoffmanagements und zur Erleichterung der Massenfertigung	87/2006
	Miniaturisierte keramische Hochtemperatur Brennstoffzellenkomponenten	69/2006
<b>ECODESIGN</b>	ECODESIGN Toolbox for Green Product Concepts – Entwicklung von Werkzeugen zur nachhaltigen Produktentwicklung	07/2008
	Konzeption eines ECODESIGN Lernspiels für Schulen und Jugendorganisationen	43/2008
<b>Nachhaltige Gestaltung von Hochgeschwindigkeitsbearbeitungs-Prozessen</b>	Ganzheitliches Vorgehensmodell bei der Gestaltung von Hochgeschwindigkeits- Bearbeitungs-Prozessen	16/2005
	Bio-Minimalmengen-Kühlschmierung	23/2006
<b>Umweltverträgliche Kälteerzeugung</b>	Untersuchung des Stirlingprozesses für eine umweltverträgliche Kälteerzeugung - Systemanalyse	17/2003
<b>Entwicklung von geschweißten Vollholz-Parkettelementen</b>	Entwicklung von geschweißten Vollholz-Parkettelementen	25/2008
<b>Antistatische Lacke für Parkettfußböden durch ionische Flüssigkeiten</b>	Antistatische Lacke für Parkettfußböden durch ionische Flüssigkeiten	36/2008
<b>Stoffstrombasiertes Produktionsmanagement für Sägebetriebe</b>	Stoffstrombasiertes Produktionsmanagement für Sägebetriebe	48/2008
<b>MIXOLITH – ein ökoeffizienter Baustoff aus Reststoffen</b>	Entwicklung eines ökoeffizienten Alternativbaustoffs "Mixolith" unter Verwendung von Reststoffen biogenen Ursprungs als Bindemittel	46/2008