

**Sachbericht**  
**7. Energieforschungsprogramm:**  
**Förderaufruf „Klimaneutrale Wärme und Kälte“ – Mikroprojekte**

Herzogenrath, den 12.06.2024

**Projektkronym:** PyroTex EnerVali

**Förderkennzeichen:** 03ENM0018

**Titel der Projekts:** Erhöhung der Energieeffizienz bei der Herstellung technischer Textilien am Beispiel der Trocknung eines Brandschutzmaterials

**Laufzeit:** 01.05.2023 – 30.04.2024 (12 Monate)

**Projektbearbeitung:** K.TEX Knein Technische Textilien GmbH  
Dr.-Ing. Robert Knein-Linz  
Am Boscheler Berg 32A  
52134 Herzogenrath

**Bezug zum 7. Energieforschungsprogramm:**

Förderaufruf:  
Klimaneutrale Wärme und Kälte

Förderschwerpunkt:  
Übergeordnete Themen – Energieeffizienz steigern

Förderformat:  
Mikroprojekte Typ1

Finanzierungstyp:  
FuE-Tätigkeiten zur Vorbereitung der marktlichen Verwertung von Innovationen

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

1	Projektziele .....	3
1.1	Thema .....	3
1.2	Bezug zu den förderpolitischen Zielen, Notwendigkeit der Förderung.....	3
2	Zusammenfassung mit Ergebnissen - Stand von Wissenschaft und Technik (fortlaufend) - Innovationsgrad und Neuartigkeit .....	4
3	Ergebnisse und Erkenntnisse entlang der geplanten Arbeitspakete .....	4
4	Verhältnismäßigkeit der Projektarbeiten und Arbeitsplan .....	7
5	Fortgeschriebener Verwertungsplan .....	7
5.1	Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende .....	7
5.2	Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende.....	7
5.3	Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit .....	8

# 1 Projektziele

## 1.1 Thema

Die Entwicklung der textilen Prozesstechnik ist immer noch von der historischen Branchenstruktur geprägt. Die Veredlung (z.B. Beschichten, Imprägnieren) textiler Flächenware (z.B. Gewebe, Gestricke) wird bis heute vorrangig von Lohnleistern erbracht. Somit wird die Textilveredlung in Chargenfertigung auf hochflexiblen Anlagen betrieben, die mindestens einen Trocknungsprozess beinhalten.

K.TEX betreibt als Hersteller technischer Textilien für Hitze- und Brandschutzanwendungen diese „traditionsbelastete“ Technologie. Der Anwendermarkt für K.TEX-Produkte zeichnet sich – insbesondere wegen der hohen Qualifizierungskosten – durch lange Produktlebenszeiten und stetigen Bedarf aus. Hiermit sind also grundsätzlich gute Bedingungen für den Betrieb einer produktspezifische Prozesstechnik gegeben.

K.TEX strebt an, für ausgewählte Produkte kompakte Prozesstechniken zu entwickeln, die auf das einzelne Produkt hinsichtlich Energiebedarf, Menge, Qualität, Materialverbrauch abgestimmt sind. Ziel ist es, die theoretischen Potenziale zur Verringerung des spezifischen Energiebedarfs [kWh/kg Ware] am Beispiel unseres ENEX®-Brandschutztextils nachzuweisen.

Hierzu soll eine Labortechnik aufgebaut werden, die mit geringem Aufwand eine hohe Varianz der Prozessarchitektur und -justage sowie der Trockenverfahren (IR, Konvektion, Kontaktwärme) erlaubt. Parallel dazu wird die Beschichtungsrezeptur derart variiert, dass das Trocknungsverhalten entsprechend der gewählten Trocknungstechnik abgestimmt wird. Mit den Ergebnissen werden das Prozesslayout und -regime einer energieoptimierten Fertigung abgeleitet.

Innerhalb des Projektes werden die in den nicht-kontinuierlichen Laboruntersuchungen qualifizierten Verfahren in einer Continue-Laboranordnung oder – wenn dies mit geringerem Aufwand darstellbar ist – durch Modifikation der Produktionsanlagen der K.TEX provisorisch umgesetzt und abschließend bewertet. Hierbei wird insbesondere geprüft, ob die nicht-kontinuierliche Labortechnik geeignet ist, zukünftig als Basis für den Aufbau optimierter Produktionsprozesse genutzt zu werden.

## 1.2 Bezug zu den förderpolitischen Zielen, Notwendigkeit der Förderung

Dem übergeordneten Förderschwerpunkt die Energieeffizienz zu steigern, wurde über den Einsatz der Kombination elektrifizierter Heiztechnologien und der Erfassung messbarer Größen im Labor Rechnung getragen. Es ist damit nachweisbar ein geringerer Energieeinsatz beim Trocknen möglich. Dieser lässt sich aufgrund geringer Preise für fossile Brennstoffe noch nicht wirtschaftlich darstellen. Es sind Methoden angewandt und weiterentwickelt worden, welche die Energietransparenz in unserem Betrieb erhöhen und allgemein für KMU zugänglich sind. Damit haben wir uns die Potenziale zu einer flexibleren, elektrifizierten Energieversorgung eröffnet und einen individuellen Weg zur Reduzierung der eingesetzten Energiemenge bei gleichbleibender Produktqualität geebnet.

Mit dem Förderformat „Mikroprojekte“ wurde uns eine beschleunigte Umsetzung der Effizienzsteigerung an den eigenen Anlagen ermöglicht. Es hat uns in die Lage versetzt das unternehmerische Risiko bei einem hohen Einsatz an akademischen FuE-Mitarbeitern gering zu halten.

Der zügige Beantragungs-, Verwaltungs- und Bearbeitungsrahmen der Mikroprojekte hat sich sehr gut mit unserer „hemdsärmeligen“ und umsetzungsstarken KMU-Arbeitsweise ergänzt. Im Rahmen des Mikroprojektes gewannen wir zeitnah die Fakten, die eine Implementierung und deren mögliche Herausforderungen rechtfertigen.

## 2 Zusammenfassung mit Ergebnissen - Stand von Wissenschaft und Technik (fortlaufend) - Innovationsgrad und Neuartigkeit

Hinsichtlich des Stands der Technik zeigen unsere fortlaufenden Online-Recherchen, dass es weiterhin keine disruptiven Veränderungen in der Trockentechnologie gibt; Weder aus der FuE-Landschaft noch aus Industriebetrieben heraus. Darüber hinaus sind uns keine neuen Schutzrechte bekannt geworden. Die neuartige Trockentechnologie, die wir in diesem Projekt entwickelt haben, ist allgemein zugänglich und ist geeignet durch andere Unternehmen untersucht, bewertet und gegebenenfalls angewandt werden. Ein Transfer in die Breite der Unternehmenslandschaft ist möglich.

Der Einstieg ist technologisch niedrigschwellig und besitzt das energetische Potential den Einsatz fossiler Heizmittel durch elektrische Energie zu ersetzen. Eine wesentliche Herausforderung ist die Wirtschaftlichkeit. Durch die sehr geringen Preise für fossile Brennstoffe und den Investitionsbedarf zur Elektrifizierung ist das unternehmerische Risiko für uns als kleiner Mittelständler noch zu groß.

Davon losgelöst haben wir eine modulare Laboranlage für ein kontinuierliches Laborverfahren mit erkenntnis- und anwendungsorientierten Messmethoden entwickelt. Der modulare Aufbau ermöglicht es Kombinationen aus IR-Strahlung und Kontaktheizern in variabler Reihenfolge und Anzahl anzuordnen. Mittels der Messwerte haben wir Erkenntnisse zu qualitätskritischen und energiewirksamen Prozessparametern gewonnen und deren Nutzbarkeit nachgewiesen. Damit bieten unsere Projektergebnisse neuartige Konzepte und Werkzeuge für die Bewertung und Verbreitung energieeffizienterer Wärmeübergang beim Trocknen technischer Textilien.

Unser eigenentwickeltes Brandschutzmaterial, Markenname ENEX<sup>®</sup>, wird mittels der konventionellen Heiztechnologie in der Herstellung sehr energieintensiv produziert und verzehrt ca. 3,3 kWh/kg. Überschlägige kalorische Betrachtungen vorab ergeben, dass zur Fertigung des Materials theoretisch lediglich 0,5 kWh Trocknungswärme pro kg ausreichen. Erste „spielerische“ Vorversuche zeigten, dass ein erste Trocknungsstufe „IR-Heizen“ mit anschließender „Ruhephase“ (Transport der Wärme bzw. Feuchte aus dem Zentrum der Beschichtung an die „übergetrocknete“ Oberfläche) die abschließende Umlufttrockenzeit um ca. 70% reduzieren kann. Daraus leiteten wir ab, dass bei einer optimalen Prozessführung als realistisches Ziel ein Wärmebedarf von 0,8 kWh/kg angestrebt werden kann.

Mittels diese Aufbaus haben wir eine Trockenstrecke für ENEX<sup>®</sup> mit zwei IR- und zwei Kontakt-Heizzonen im Labor aufgebaut. Damit sind wir in der Lage eine qualitativ gute Ware mit einem spezifischen Energiebedarf von ca. 1,0 kWh/kg herzustellen. Dieser Bedarf liegt einerseits etwas über dem angestrebten Projektziel, andererseits immer noch bei nur knapp 30% spezifischen Energiebedarfs des Stands der Technik. Mittels ergänzender Versuchen sind uns auch schon weitere Potentiale zu einer noch gesteigerten Energieeffizienz bekannt. Die Anlage liefert Prozessparameter, mit denen die Effizienz der Nutzung von Energie zur Trocknung technischer Textilien, insbesondere für den Brandschutz, im Labormaßstab mess- und bewertbar ist.

## 3 Ergebnisse und Erkenntnisse entlang der geplanten Arbeitspakete

Zeitraum	Arbeitspaket (Kurzbeschreibung)
Jul 2023 – Dez 2023	(1) ENEX <sup>®</sup> -Rezepturen mit signifikant unterschiedlichen Trocknungseigenschaften  Im Labor wurden Rezepturansätze im einstelligen kg-Maßstab mit unterschiedlichen Wassergehalten angesetzt, gestrichen und getrocknet. Dabei stellte sich heraus, dass ein mineralischer, fester Hauptbestandteil der ENEX <sup>®</sup> -Rezepturen temperaturabhängig und über längere Zeiträume mit Wasser reagiert. Hieraus ergeben sich signifikante Unterschiede in den Pasten-Eigenschaften bei der Aufbereitung und Verarbeitung zu einer

	<p>Beschichtung. Durch diese Unterschiede ist der reine Einfluss des Wassergehaltes nicht mehr zurück verfolgbar. Aus theoretischen Überlegungen wurde deutlich, dass durch eine Ergänzung bzw. Variation der Hilfsstoffe keine wesentliche Verbesserung der Eigenschaften möglich ist.</p> <p>Hieraus leiten wir 2 Herangehensweisen für den Projektverlauf ab: Erstens wird ein Modell-Experiment mit nicht-reaktiven Feststoff entwickelt und untersucht. Die Masse des verdampften, flüssigen Wassers und die entsprechende Verdampfungsleistung eines ,Heizprinzips lassen sich so noch präziser messen und bewerten. Zweitens werden der aktuelle Rezeptansatz aus der Produktion bzw. Pasten-Proben aus den Produktionsbeständen im Labor für die weitere Verfahrensentwicklung und -bewertung hinsichtlich Verarbeitbarkeit verwendet. Damit entsprechen die Vorgänge bei der Pastenaufbereitung weitgehend den Gegebenheiten in der Produktion und die Verwertbarkeit der Ergebnisse</p>
<p>Mai 2023 – Okt 2023</p>	<p>(2) Modularer Prüfstand für den Thermischen Energieeinsatz</p> <p>Für die modulare Untersuchung sind bestrichene Proben mit Geräten verschiedener Heiztechnologien getrocknet worden. Hierzu haben wir eine Heizplatte (Kontakt), ein Umluftofen (Konvektion), ein Mikrowellengerät (Strahlung) und IR-Strahler (Strahlung) zum Einsatz. An jedem Heizmodul können am Kabel die eingebrachten elektrischen Größen (z.B. Strom, Spannung und Leistung) gemessen werden. Hiermit wird der Leistungs- bzw. Energieeinsatz einer Heiztechnologie bestimmt. Referenzheizung ist der Umluftofen, weil er dem Prinzip in der Produktion am ähnlichsten ist.</p> <p>Messtechnisch wurden die Proben während des Trocknens gewogen. Unsere Annahme ist es, dass der Masseverlust ausschließlich auf das Verdampfen des Wassers zurückführbar ist. Damit können wir die geleistete Verdampfungsarbeit einer Heizung berechnen.</p> <p>Ergänzend wurden Temperaturen an verschiedenen Stellen der Probe und der Module gemessen, zur kalorischen Berechnung und energetischen Bilanzierung. Eine Messung der Temperatur innerhalb der Paste war technisch nicht möglich, so dass wir auf die Temperaturen in der Paste unterhalb der Probe und auf der Oberflächen mittelbar messen.</p> <p>Die Bestimmung der Energieeffizienz setzen wir die eingebrachte elektrische Heizenergie in Verhältnis zur geleisteten Verdampfungsarbeit. Die geleistete Verdampfungsarbeit wird mittels Gewichtsabnahme über Zeit berechnet.</p> <p>Die eingesetzten Messmethoden ermöglichen die Abschätzung von Energiebilanzen und kalorische Berechnungen, und somit des Trocknungsbedarfs.</p> <p>Als Maßnahme ergibt sich aus den Versuchen, dass zwei Heiztechnologie, Heizplatte und IR-Strahler, hinsichtlich Verdampfungsarbeit und Warenqualität am besten geeignet sind. Deshalb liegt der Fokus der folgenden „Experimentellen Untersuchung“ auf diesen Technologien.</p>
<p>Sep 2023 – Feb 2024</p>	<p>(3) Experimentelle Untersuchung</p> <p>Die zwei Heiztechnologien, Heizplatte und IR-Strahler, werden statisch untersucht. D.h., dass die Probe auf eine beheizte Waage gelegt wird. Beim Trocknen werden Leistungsaufnahme, Temperaturen und der Masseverlust aufgezeichnet.</p> <p>Dieser Aufbau ermöglicht es in Experimenten die relevanten Größen zur Erstellung von Energiebilanzen zu messen. Unterschiede in den Abläufen des Trocknungsvorgangs sind damit abbildbar und wir leiten erste</p>

	<p>Prozessparameter für den modularen Prüfstand aus AP (4). Anhand der Auswertung der Bilanzen bestätigt sich das Potential mittels elektrifizierten Trocknens mit geringeren Energieeinsatz eine gute Produktqualität erreichbar ist.</p> <p>Im Laborversuch mit einer Heizplatte erreichen wir mit produkttypischen Auflagemassen ein anwendungsrelevante Trockenheit in der Ware unter Einsatz einer spezifischen Wärmeenergie von ca. 0,30 bis 0,35 kWh/kg. Das entspricht einem Zehntel der aktuellen Energieeinsätze in der Produktion und übertrifft damit unsere Erwartungen.</p> <p>Mittels IR-Strahler messen wir im Laborversuch den Einsatz einer spezifischen Wärmeenergie von ca. 0,42 bis 0,69 kWh/kg. Damit ermöglicht auch IR-Strahlung eine anwendungsgerechte Trocknung mit geringerem Energieeinsatz verglichen zum Stand der Technik. Der Wirkungsgrad aus wirksamer zu eingesetzter Energie ist beim IR mit ca. 25% geringer gegenüber dem Wirkungsgrad der HPs mit ca. 50%.</p> <p>Ein Modell-Experiment wurde entwickelt, mit dem sich für die zwei Heizprinzipien die Parameter und deren Werte abschätzen lassen. Bei Heizplatten wird Temperatur und Wärmemenge durch den elektrischen Strom gesteuert. Bei IR-Strahlern werden diese Größen durch Strom und den Abstand zum Trockengut bestimmt.</p> <p>Beide Prinzipien leiten die Wärmeenergie einseitig, also IR-Strahler von oben oder Heizplatte von unten. Es zeigt sich, dass bei den hohen Auflagen der Beschichtung, mit denen wir typischerweise produzieren, ein steiler Temperaturgradient im Trockengut entsteht. Damit im Produkt eine Überhitzung vermieden und eine gleichmäßig gute Qualität erreicht wird, definieren wir. Dass die IR-Strahler von oben und die Heizplatten von unten betrieben werden. Das Potential der Technologien wurde gezeigt und energetische Vorgänge abgebildet.</p> <p>Im Rahmen der Experiment wurden verschiedene Pastentrezepte gemischt. Es zeigt sich, dass im mit der aktuellen Laborausstattung das Verhältnis Wasser/Feststoff im Wesentlichen den Trocknungsverlauf bestimmt.</p> <p>Der experimentelle Aufbau ermöglicht uns die Prozessparameter auf die Beschaffenheit einer Pasten hin rezeptspezifisch optimal einzustellen. Damit ist es uns möglich anhand von Energiebilanzen, Kalorik die Potentialanalysen und Parameterstudien durchzuführen. Dadurch, dass Heizprinzipien und Wärmeübergang abbildbar und messbar sind können neue und bestehende Rezepte energetisch bewertet und effizienter gestaltet werden.</p>
Nov 2023 – Apr 2024	<p>(4) Umsetzung und Bilanzierung einer verbesserten Heizanordnung</p> <p>Zur Skalierung zu einer kontinuierlichen Technologie wurden die Heizmodule aus dem Labor auf einem erweiterten Pilotaufbau mit einer Warenabzugs- und einer Beschichtungseinheit gebaut. Damit lässt sich der Trockenprozess kontinuierlich fahren und beurteilen.</p> <p>Die Übertragung aus dem diskontinuierlichen Laboraufbau zu einem kontinuierlichen Pilotprozess ist erfolgreich. Damit lassen sich die Parameter und Bilanzen realitätsnäher bestimmen. Die Beheizungsmodule des Aufbaus können alternierend und simultan genutzt werden.</p> <p>Mittels diese Aufbaus haben wurde eine Trockenstrecke für ENEX<sup>®</sup> mit zwei IR- und zwei Kontakt-Heizzonen im Labor umgesetzt. Damit sind wir in der Lage eine qualitativ gute Ware mit einem spezifischen Energiebedarf von ca. 1,0 kWh/kg herzustellen. Dieser Bedarf liegt einerseits etwas über dem</p>

	<p>angestrebten Projektziel, andererseits immer noch bei nur knapp 30% spezifischen Energiebedarfs des Stands der Technik.</p> <p>Eine zukünftige Umsetzung im Produktionsmaßstab bedeutete, dass wir mittels elektrifizierter Trocknung keine fossilen Brennstoffe für diese Produkte nutzen müssten. Darüber hinaus ist der Nachweis erbracht, dass unsere Produkte unter reduzierten Energieeinsatz mit guter Qualität herstellbar sind. Dennoch steht ein hoher Preis für elektrischen Strom dem niedrigen Preis für Heizöl gegenüber. Vor diesem Hintergrund ist eine Umstellung auf elektrischen Strom für uns noch nicht wirtschaftlich darstellbar.</p>
--	---

## 4 Verhältnismäßigkeit der Projektarbeiten und Arbeitsplan

Sämtlich Projektarbeiten waren verhältnismäßig und ergebnisorientiert im Einklang mit der Vorkalkulation. Aufgrund der breiten und tiefen Expertise innerhalb unseres Unternehmens war eine Zusammenarbeit mit anderen Stellen nicht notwendig. Die akademischen Mitarbeiter sind gemäß ihrer Qualifikationen eingesetzt worden. AP (1) und (3) erforderten den Einsatz unseres Chemikers bei der Pastenaufbereitung und -bewertung. Alle weiteren fachliche Tätigkeiten, insbesondere Verfahrensentwicklungen und energetischen Betrachtungen wurden durch von unserer Ingenieure durchgeführt. Darüber hinaus war Unterstützung durch unser technisches Personal während der gesamten Laufzeit notwendig, zur praktischen Umsetzung der Laboranlage mit Blick auf eine sichere Ausstattung, Handhabung und Wartung. Ergänzende Angaben zur Verhältnismäßigkeit sind in den zahlenmäßigen Nachweisen zu finden.

		2023								2024			
AP		Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr
(1)	ENEX-Rezepturen mit signifikant unterschiedlichen Trocknungseigenschaften												
(2)	Modulare Prüfstand für den Thermischen Energieeinsatz												
(3)	Experimentelle Untersuchung												
(4)	Umsetzung und Bilanzierung einer verbesserten Heizanordnung												
MA	Vorkalkulierter Anteil der Wochenarbeitszeit am FuE-Projekt												
1	Dr. rer. nat. (chem.)			0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2		
2	Dr.-Ing. (GF)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
3	Dr.-Ing.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
4	Technischer Leiter	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
5	Betriebsschlosser	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
6	Elektriker	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

## 5 Fortgeschriebener Verwertungsplan

### 5.1 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Eine wesentliche Herausforderung aktuell ist der wirtschaftliche Betrieb einer elektrifizierten Trocknung. Durch die sehr geringen Preise für fossile Brennstoffe und den Investitionsbedarf zur Elektrifizierung ist das unternehmerische Risiko einer innerbetrieblichen Umsetzung im Produktionsmaßstab für uns als kleiner Mittelständler noch zu groß.

Unseren Laboraufbau stellen wir gern für interessierte Menschen zur Demonstration zur Verfügung bzw. böten Besichtigungen bei uns vor Ort an. Das unternehmerische Risiko einer Umsetzung in einen produktionsnäheren Maßstab muss durch geeignete Förderinstrumente und Verbundpartner gemindert werden. Beispielhaft wäre, ein Kooperationsprojekt mit einem

Unternehmen aus dem Maschinen- und Anlagenbau zum Bau einer vorwettbewerblichen Demonstrationsanlage, inklusive PV-Eigenstromerzeugung durchzuführen.

## 5.2 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende

Eine Ausarbeitung der Ergebnisse für eine wissenschaftliche Veröffentlichung ist aktuell nicht geplant. Aktuell bieten wir potenziellen Kunden bei den laufenden Anfragen die Möglichkeit eines Vorversuchs zur Herstellung von Produktmustern an.

Eine Verbreitung erfolgt z.B. durch Veröffentlichungen der Ergebnisse in einschlägigen Fachmedien, auf Fachkonferenzen und proaktives Ansprechen innerhalb unseres Branchennetzwerks. Wir erwarten dadurch eine Anregung bei Kunden und Wettbewerbern in der Branche hin zu „grüneren“ technischen Textilien. Im Idealfall wird auch eine verbesserte Produktqualität erreicht.

Auf Anfrage präsentieren wir unsere Vorgehensweise und Ergebnisse aus dem Projekt gerne einem interessierten Publikum. Ziel wäre es andere Unternehmen anzuregen einen ähnlichen Weg in Richtung Elektrifizierung zu gehen.

## 5.3 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Die eigenfinanzierte und verantwortliche Nutzung der entwickelten Technik in Labor hat einen Wert für uns hinsichtlich der Produktion und Rezeptgestaltung für textile Brandschutzmaterialien. Es ist eine Saldierung/Bilanzierung der Energien und Beurteilung der Produktqualität möglich. Damit sind Untersuchungen für eine effizientere Herstellung bestehender Produkte oder repräsentative Vorversuche gemäß Kundenanfragen durchgeführt werden. Es sind nun die Herstellung von Produktmustern, validierte Quantifizierungen der Energieeinsparung und Abschätzungen der wirtschaftlichen Vorteile für Produzent und Kunden möglich.

Aus wissenschaftlich-wirtschaftlicher Sicht sind zukünftig weiter die möglichen Zusammenhänge zwischen Mengen und Art der Zutaten einer Pastenrezeptur und der Verarbeitbarkeit, der Produktqualität und des Energieverbrauchs von Interesse. Grundlegend ermöglicht uns die Laboranlage Beschichtungsversuche mit höherer Probenzahl unter definierten Bedingungen in Mengen herzustellen, die für breitangelegte Anwendungsversuche geeignet sind.