

Zukunftsperspektive Dünnschichttechnologie

G. Buerke¹, A. Gerlach¹, B. Grünler², A. Schimanski², W. Seeber²
E. Bauroth, T. Först, K. Raschke, S. Pfeil¹

¹ Fachhochschule Jena, Carl-Zeiss-Promenade 2, 07745 Jena

² Arbeitsgruppe II Material innovativ Thüringen (MiT), Koordinierungsbüro MiT c/o THÜRINGEN innovativ GmbH, Mainzerhofstraße 10, 99084 Erfurt

1. Studienkonzept und Projektstruktur

Das Projekt „Zukunftsperspektive Dünnschichttechnologie“ ist entstanden in einer Projektpartnerschaft der FH Jena, betraut mit den empirische Aufgaben und zahlreichen Partnern im Bereich der Oberflächentechnik in Thüringen aus der Arbeitsgruppe II Material innovativ Thüringen (MiT)), die die fachliche Beratung zur Dünnschichttechnologie geleistet haben.

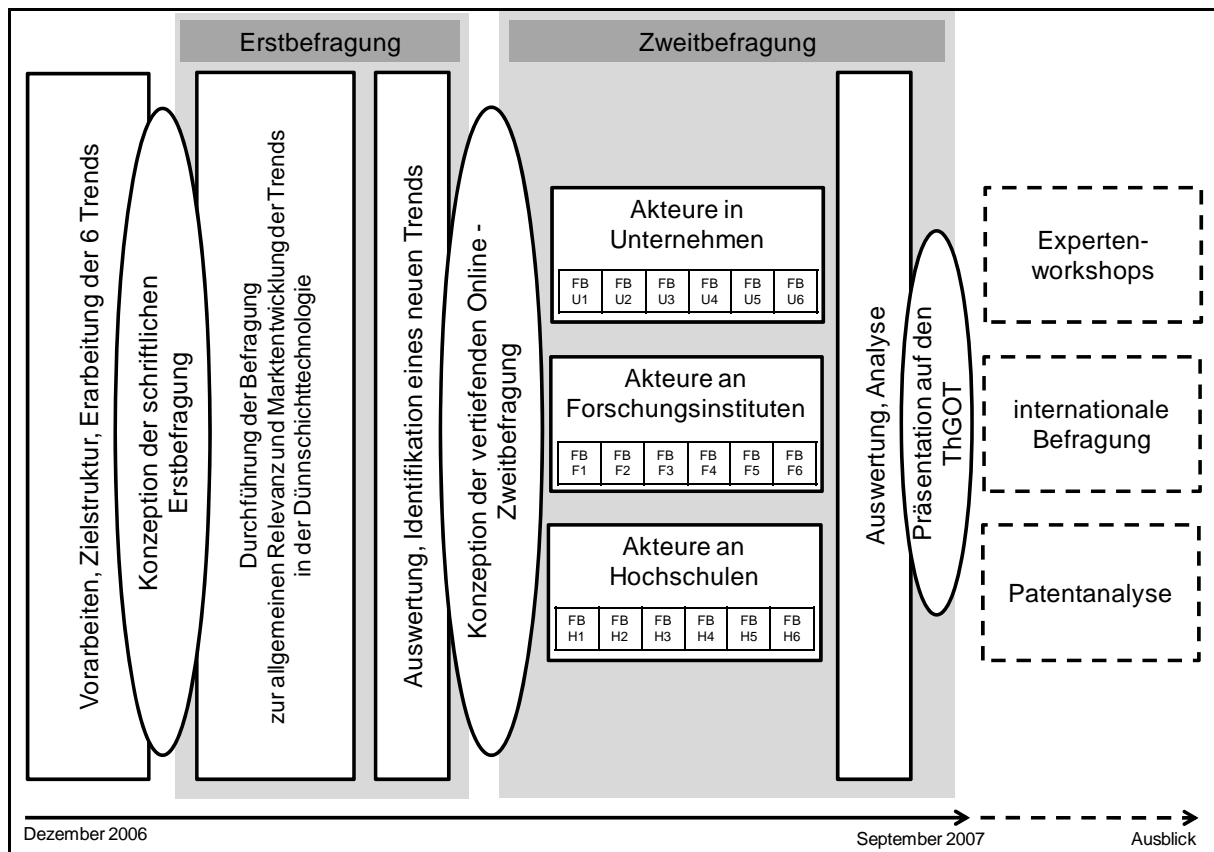


Abbildung 1: Projektstruktur

Die vorliegende Untersuchung verfolgt das Hauptziel die wesentlichen Trends der Dünnschichttechnologie für verschiedene Akteursgruppen (Unternehmen, Hochschulen und Forschungsinstitute) in Deutschland zu identifizieren und näher zu beschreiben. Die beteiligten Experten auf dem Gebiet der Dünnschichttechnologie u.a. Innovent e.V, THÜRINGEN innovativ GmbH, Arbeitsgruppe II Material innovativ Thüringen haben zunächst aus ihrer Sicht

sechs Trends definiert (siehe Abbildung 2), die in einer ersten nationalen Befragung auf ihre Relevanz und Marktentwicklung hin untersucht worden.

6 Trends in der Dünnschichttechnologie	
<p>Aktive Schichten (Photokatalyse, Selbstreinigung)</p>	<p>Anti-adhäsive Eigenschaften (leichte Entformbarkeit, leicht zu reinigende Oberflächen)</p>
<p>Funktionsschichten mit definierter Morphologie (Nutzung von strukturellen Elementen zur Eigenschaftsänderung)</p>	<p>Selbtheilende Schichten (aktive und passive Regeneration von Schichtschädigungen)</p>
<p>Schaltbare Schichten (reversible Eigenschaftsänderungen durch äußere Signale)</p>	<p>Simulation von Oberflächeneigenschaften u. Belastungszuständen einschließlich Zuverlässigkeitsabschätzungen</p>

Abbildung 2: 6 Trends der Dünnschichttechnologie

Schriftliche Erstbefragung und vertiefende Online-Befragung

In einer schriftlichen Befragung insgesamt 3350 Akteure aus Unternehmen, Vereinen, Hochschulen und Forschungsinstituten, die sich mit der Problematik Oberflächentechnik beschäftigen, aufgefordert, Stellung zu beziehen. Zur Überprüfung der Vollständigkeit der gesetzten Trends bestand die Möglichkeit weitere erwartete zentrale Entwicklungen und Schwerpunkte der Dünnschichttechnologie zu benennen. Insgesamt haben sich 280 Akteure an der Erhebung beteiligt (siehe Abbildung 3).

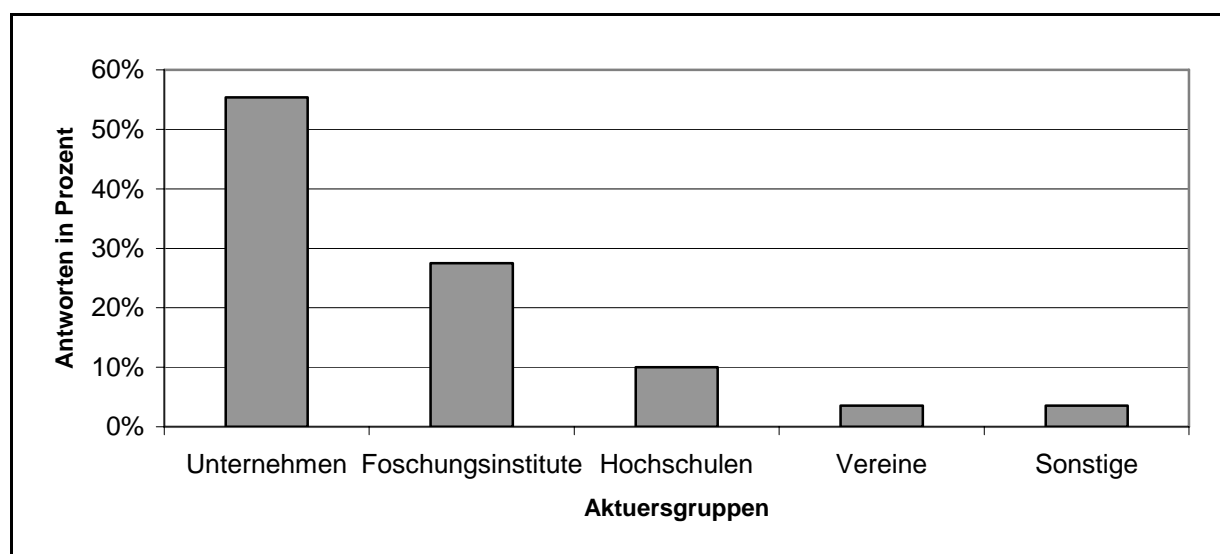


Abbildung 3: Verteilung des Rücklaufes über die Akteursgruppen

Quelle: Erstbefragung, n=280

Die Auswertung der Erstbefragung ergab einen neuen bislang nicht gesetzten Trend: „hybride Schichten“. Mittels der Erstbefragung war es möglich Experten für die einzelnen Trends zu identifizieren, die in die vertiefende Befragung (Zweitbefragung) einbezogen worden. Die Definition erfolgte mittels der Bedeutung jedes einzelnen Trends für den Tätigkeitsbereich des Akteurs. Eine „hohe“ und „sehr hohe“ Bedeutung wurde für die Einstufung der Experten und später für den Versand von insgesamt 18 verschiedenen Online-Fragebögen an die Akteure in den drei Akteursgruppen Unternehmen, Hochschulen und Forschungsinstituten zugrunde gelegt. Die Zweitbefragung sollte neben Informationen zu Kundensegmenten, F&E, Investitionsverhalten, Verfahren, Materialien und Hemmnissen vertiefende Aussagen zu den einzelnen Trends liefern.

99 Akteure haben den umfangreichen Online-Fragebogen bis Anfang August 2007 beantwortet. Weitere 19 Experten, die mindestens zwei Trends benannt haben, die eine hohe bis sehr hohe Bedeutung für ihren eigenen Tätigkeitsbereich besitzen, gaben darüber hinaus Antworten zu weiteren Trends.

2. Kernergebnisse der Erstbefragung

Die Erstbefragung stellte sechs zukünftige Schwerpunkte innerhalb der Dünnschichttechnologie zur Diskussion (siehe oben Abbildung 2). Die Abbildung 4 verdeutlicht, wie viele Akteure bei den jeweiligen Trends eine „hohe“ bzw. „sehr hohe“ Bedeutung für den eigenen Tätigkeitsbereich angegeben haben.

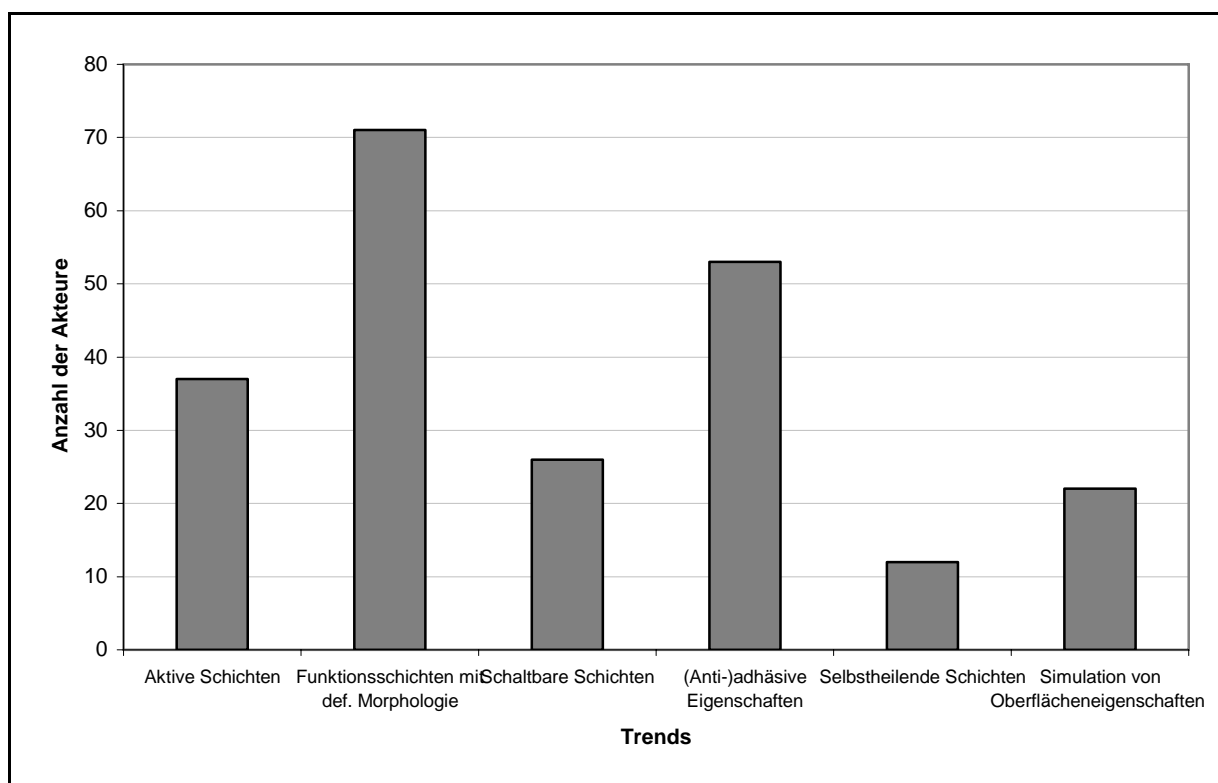


Abbildung 4: Hohe und sehr hohe Bedeutung für den eigenen Tätigkeitsbereich (Übersicht)
 Quelle: Erstbefragung, n=211 (Mehrfachantworten möglich)

Hier ist zu erkennen, dass „Funktionsschichten mit definierter Morphologie“ und „(Anti-) adhäsive Eigenschaften“ eine besonders wichtige Rolle bei den unterschiedlichen Akteuren zu spielen.

Die Analyse der 211 auswertungsrelevanten Antworten - also aller mit hoher Relevanz eines Trends im eigenen Tätigkeitsbereich - im Rahmen dieser Befragung ergab, dass in jedem der sechs Trends sowie in nahezu allen möglichen Kombinationen Akteure tätig sind. Tabelle 1 verdeutlicht die Breite der Interessengebiete der Akteure, indem alle Trendkombinationen mit bis zu zwei angegebenen Trends dargestellt sind. Darüber hinaus haben 55 Akteure angegeben, dass drei und mehr Trends für sie eine hohe Relevanz aufweisen. Innerhalb der Auswertungen konnten 46 Trendkombinationen ermittelt werden. Zur Verdeutlichung der Tabelle 1 können folgende Beispiele gebildet werden:

- für den Fall der Beschäftigung mit lediglich einem einzelnen Trend kann man exemplarisch die „Funktionsschichten mit definierter Morphologie“ anführen, den 30 Befragte angegeben haben.
- für 16 Akteure waren sowohl „Funktionsschichten mit definierter Morphologie“ als auch „(Anti-)adhäsiven Eigenschaften“ für den eigenen Tätigkeitsbereich relevant.

	Aktive Schichten	Funktionsschichten mit definierter Morphologie	Schaltbare Schichten	(Anti-) adhäsive Eigenschaften	Selbsteilende Schichten	Simulation v. Oberflächeneigenschaften und Belastungszuständen
Einzelner Trend	14	30	14	19	3	7
Kombination aus zwei Trends						
Aktive Schichten		12	1	9	1	0
Funktionsschichten mit definierter Morphologie	12		4	16	1	8
Schaltbare Schichten	1	4		2	4	1
(Anti-)adhäsive Eigenschaften	9	16	2		2	5
Selbsteilende Schichten	1	1	4	2		1
Simulation von Oberflächeneigenschaften und Belastungszuständen	0	8	1	5	1	
Summe aus Kombinationen und einzelnen Trends	37	71	26	53	12	22

Tabelle 1: Anzahl der Akteure mit hoher und sehr hoher Bedeutung für den eigenen Tätigkeitsbereich (nach Trend)
Quelle: Erstbefragung

Das Kombinationsspektrum erstreckt sich über alle drei wesentlichen Akteursgruppen - Unternehmen, Forschungsinstitute und Hochschulen. Verknüpft man die Trendkombinationen mit den Akteursgruppen, ergeben sich 79 Varianten.

Trendrelevanz in einzelnen Branchen

Bei der Frage nach der Bedeutung für den eigenen Tätigkeitsbereich konnten die befragten Experten zwischen „Gar keine“, „Gering“, „Hoch“ und „Sehr hoch“ wählen. Abbildung 5 zeigt für die antwortenden Unternehmen auf, welche Trends in Abhängigkeit von der Branche als wichtig erachtet werden. Die teilnehmenden Unternehmen lassen sich folgenden Branchen zuordnen:

Feinmechanik/ Elektrotechnik	17 Unternehmen
Glas	16 Unternehmen
Gummi-/Kunststoffwaren	16 Unternehmen
Optik	14 Unternehmen
Metallbearbeitung/-erzeugnisse/Maschinenbau	11 Unternehmen
Medizintechnik	9 Unternehmen
Chemische Erzeugnisse/Pharmazie	9 Unternehmen
Werkzeugtechnologie	5 Unternehmen
Keramik	5 Unternehmen
Textil	4 Unternehmen
Automobilindustrie	4 Unternehmen
Baumaterialien	2 Unternehmen
Energieversorgung	1 Unternehmen
Sonstige	20 Unternehmen

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden für die grafische Darstellung aus den fünf Branchen mit den meisten Akteuren lediglich diejenigen ausgewählt, bei denen sich ein oder zwei Trends als dominierend herausstellten.

Besonders auffällig ist, dass im Bereich „Metallbearbeitung /Metallerzeugnisse /Maschinenbau“ und „Optik“ der Trendbereich der „(Anti-)adhäsiven Eigenschaften“ von hoher Wichtigkeit ist. Für die unter den Befragten am stärksten vertretene Branche „Feinmechanik/Elektrotechnik“ sind „Schaltbare Schichten“ am bedeutendsten. Eine hohe Bedeutung wird auch den „Funktionsschichten mit definierter Morphologie“ im Bereich „Metallbearbeitung/Metallerzeugnisse/Maschinenbau“ zugemessen.

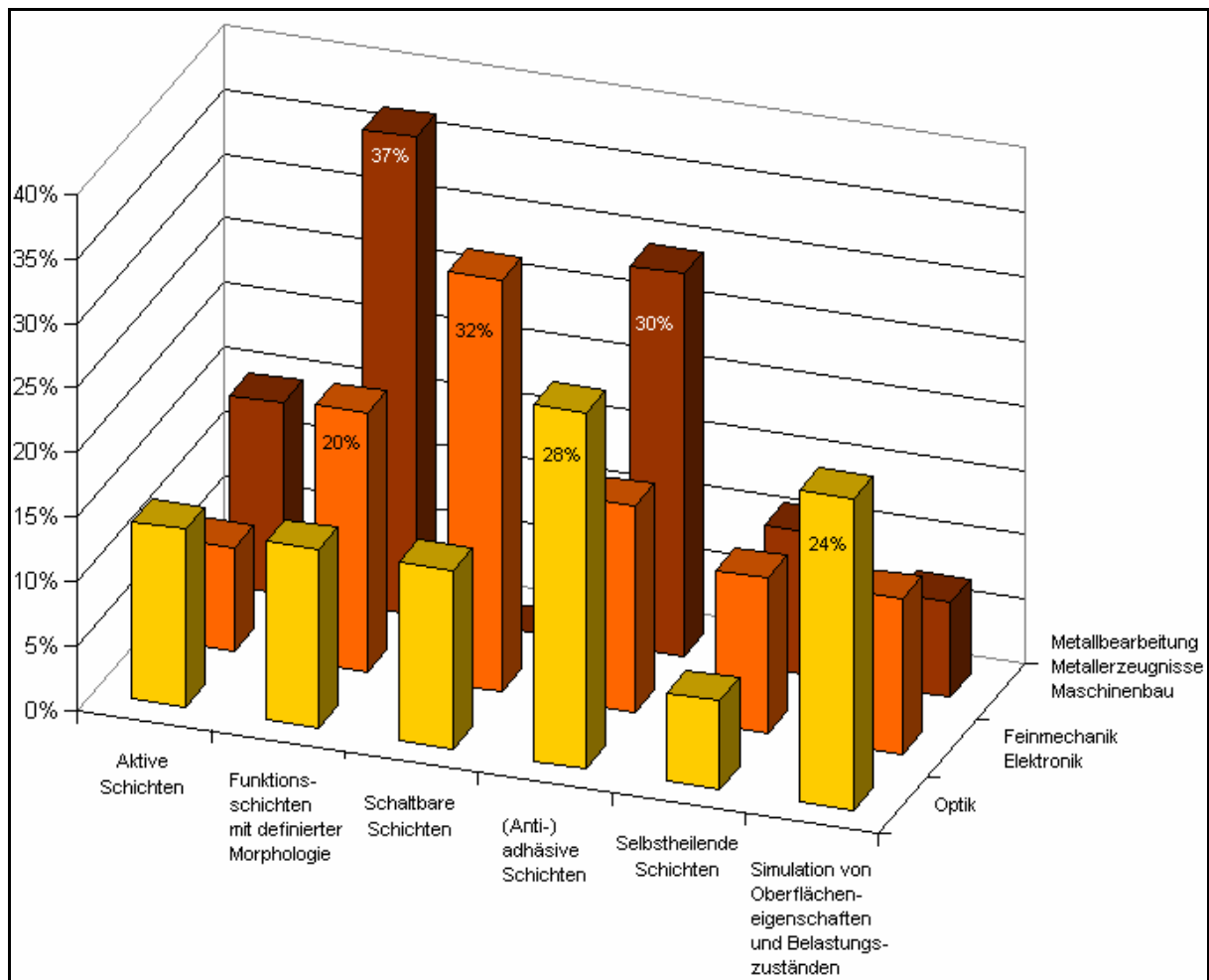


Abbildung 5: Bedeutung für den eigenen Tätigkeitsbereich in Abhängigkeit von der Branche
 Quelle: Erstbefragung, n=42 (Mehrfachantworten möglich)

Marktentwicklung

Bei der Beurteilung der Entwicklung des Marktes für jeden einzelnen Trend konnten sich die Befragten auf einer Skala mit den Ausprägungsmerkmalen „Sehr langsam“, „Kontinuierlich“, „Rasch“ und „Sehr dynamisch“ entscheiden. In der Gesamtbetrachtung über alle Akteursgruppen wurde die Marktentwicklung für alle Trends grundsätzlich als „Rasch“ eingeschätzt. Lediglich die Trendbereiche der „Schaltbaren Schichten“ und der „Simulation von Oberflächeneigenschaften und Belastungszuständen“ wurden mit „Kontinuierlich“ weniger dynamisch beurteilt.

Grundsätzlich bewegen sich die Beurteilungen der Unternehmer im Bereich „Kontinuierlich“ bis „Rasch“ und die Einschätzungen von Hochschulen sowie Forschungsinstituten eher bei „Rasch“ bis „Sehr dynamisch“ (vgl. hierzu Abbildung 6).

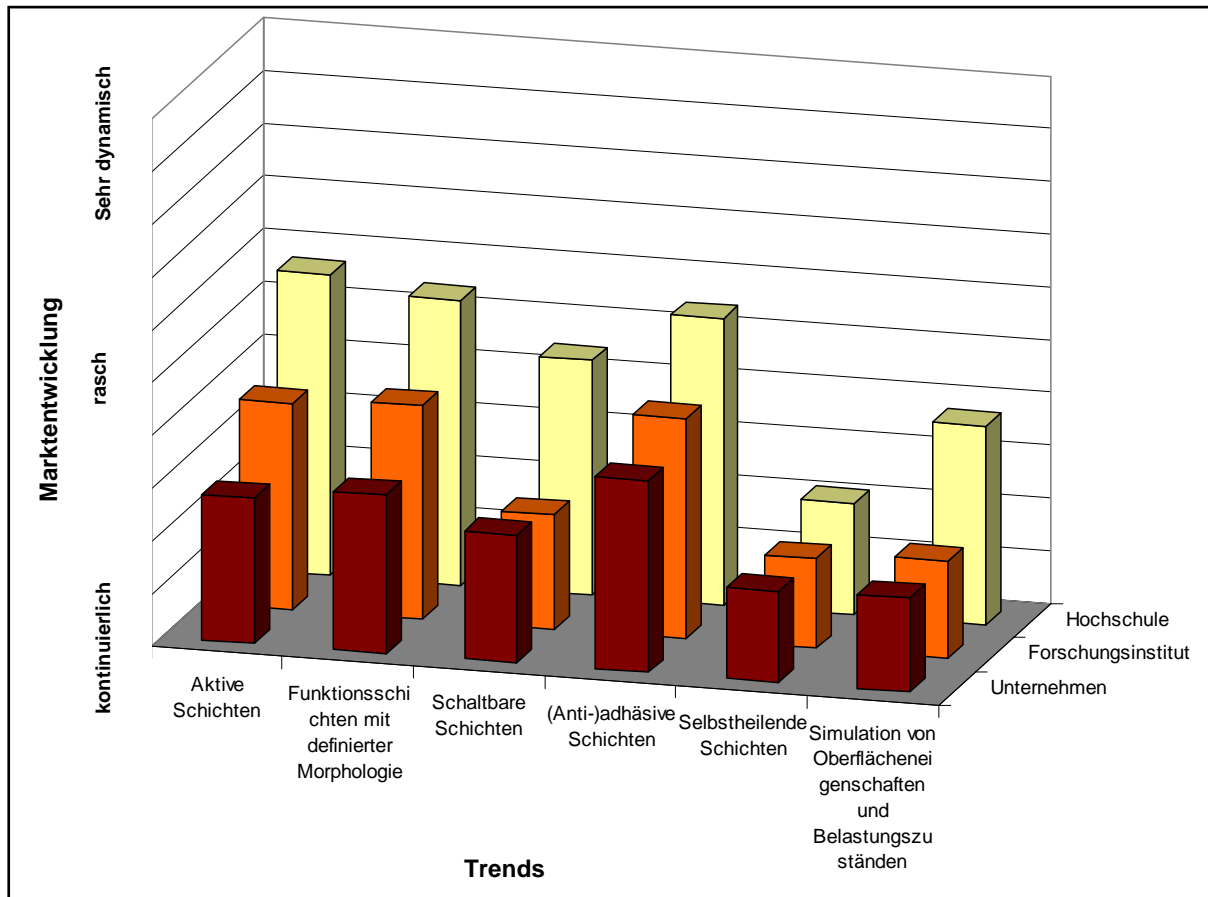


Abbildung 6: Markteinschätzung der verschiedenen Akteursgruppen
Quelle: Erstbefragung, n=260 (Mehrfachantworten möglich)

Zu einzelnen Trends gab es im Rahmen einer offenen Frage zahlreiche inhaltliche Hinweise. Diese bildeten letztlich Grundlage und Schwerpunkt der vertiefenden Befragung. Außerdem konnte auf Grund der Nennungen ein siebter Trend - die „Hybriden Schichten“ - identifiziert werden. Die angegebenen inhaltlichen Hinweise ergaben folgende Untertrends, die in Tabelle 2 im Überblick abgebildet sind:¹

¹ Verdichtet und formuliert durch die Arbeitsgruppe II MIT (Material innovativ Thüringen) → 15 Mitglieder, u.a. Vertreter von Unternehmen, Forschungsinstituten und Netzwerken, Gründung: 2006

<u>Aktive Schichten (Trend 1)</u>	<u>Funktionsschichten mit definierter Morphologie (Trend 2)</u>
<ul style="list-style-type: none"> - Anwendung in der Präzisionsoptik - Großflächenbeschichtung (Architektur, Folie, Display) - Biofunktionale Schichten - Druckbare Schichten - Tribologische Schichten - Schichten für Hochtemperatureinsatz 	<ul style="list-style-type: none"> - Besonders temperaturresistente Oberflächen - Heterogene Katalyse - Nanostrukturierte Funktions-schichten - Tribologische Schutzschichten (Reibung/Verschleiß/Senkung/Luftwiderstand) - Verknüpfung von Funktionalität in der Beschichtung - Kompositschichten
<u>Schaltbare Schichten (Trend 3)</u>	<u>(Anti-)adhäsive Schichten (Trend 4)</u>
<ul style="list-style-type: none"> - Funktions-/Nanoschichten für die Sensorik - Schichten mit Formgedächtnis - Schichten mit schaltbaren Farbänderungen/Reflektionseigenschaften - Intelligente Informationsspeicher/ Filter - Wirkstoff-„Release“-Schichten 	<ul style="list-style-type: none"> - Adhäsives Verhalten - (Anti-)adhäsives Verhalten - Kleben und die Vorbereitung hierfür - Kombinationsschichten unterschiedlicher Werkstoffe - Verschleißreduzierung von Klebschichten - Thermische Belastbarkeit - Möglichkeiten der Entschichtung
<u>Selbsteilende Schichten (Trend 5)</u>	<u>Simulation von Oberflächeneigenschaften und Belastungszuständen (Trend 6)</u>
<ul style="list-style-type: none"> - Korrosions-/Oxidationsschichten - Regenerativer Kratzschutz - Langzeitstabilität selbstheilender Schichten - Bestimmung Belastungsgrenzen - Selbstheilende Schichten für „Einmal-Produkt/Anwendungen“ - Nanopartikelschichten 	<ul style="list-style-type: none"> - Struktur-Eigenschaftsbeziehungen → mechanische Parameter (E-Modul, Härte) - Struktur-Eigenschaftsbeziehungen → opto/elektronische Parameter (Absorption, Reflektion, Leitfähigkeit) - Struktur-Eigenschaftsbeziehungen → chemische Parameter (Korrosionsstabilität) - Kratzfestigkeit - Bauteilfestigkeit (generell) - Oberflächenfunktionalisierung auf Basis neuartiger Ansätze

Tabelle 2: Trends und die dazugehörigen Untertrends

3. Ausgewählte Resultate der vertiefenden Befragung

Die 99 Akteure, die ihren Online-Fragebogen (in Abhängigkeit von dem/den für sie relevanten Trends) mit rund 40 Fragen beantwortet haben, kommen überwiegend aus dem Unternehmensbereich (Unternehmen 65 %, Forschungsinstitute und Hochschulen 35 %). Insofern ergibt sich ein gutes Spiegelbild der für die Industrie und Wissenschaft jeweils besonders wichtigen Fragestellungen und Aktivitäten.

Aktivität im Bereich Dünnschichttechnologie

Die Analyse des Einstiegszeitpunktes im Bereich Dünnschichttechnologie ergab, dass den Unternehmen zunächst eine Vorreiterrolle oblag. Während bereits 1939 erste Unternehmen

ihre Tätigkeit im Bereich Dünnschichttechnologie begannen, stiegen Forschungsinstitute und Hochschulen erst in den 50er und 60er Jahren ein. Zwei Einstiegswellen in den 90er Jahren sowie zu Beginn des neuen Jahrtausends können als Ursache dafür angeführt werden, dass 75% der antwortenden Akteure 15 Jahre und weniger im Bereich der Dünnschichttechnologie tätig sind.

Mit Ausnahme der Jahre 1991 bis 1995, als kurzzeitig mehr Forschungsinstitute als Unternehmen im Bereich der dünnen Schichten tätig waren, übersteigt die Zahl der tätigen Unternehmen stets die der Forschungsinstitute und Hochschulen. Anzunehmen ist, dass Mitte der 90er Jahre die Ergebnisse der Forschungsinstitute in den Unternehmen umgesetzt werden konnten, da – wie in Abbildung 7 ersichtlich – in diesem Zeitraum die Zahl der aktiven Unternehmen sprunghaft anstieg.

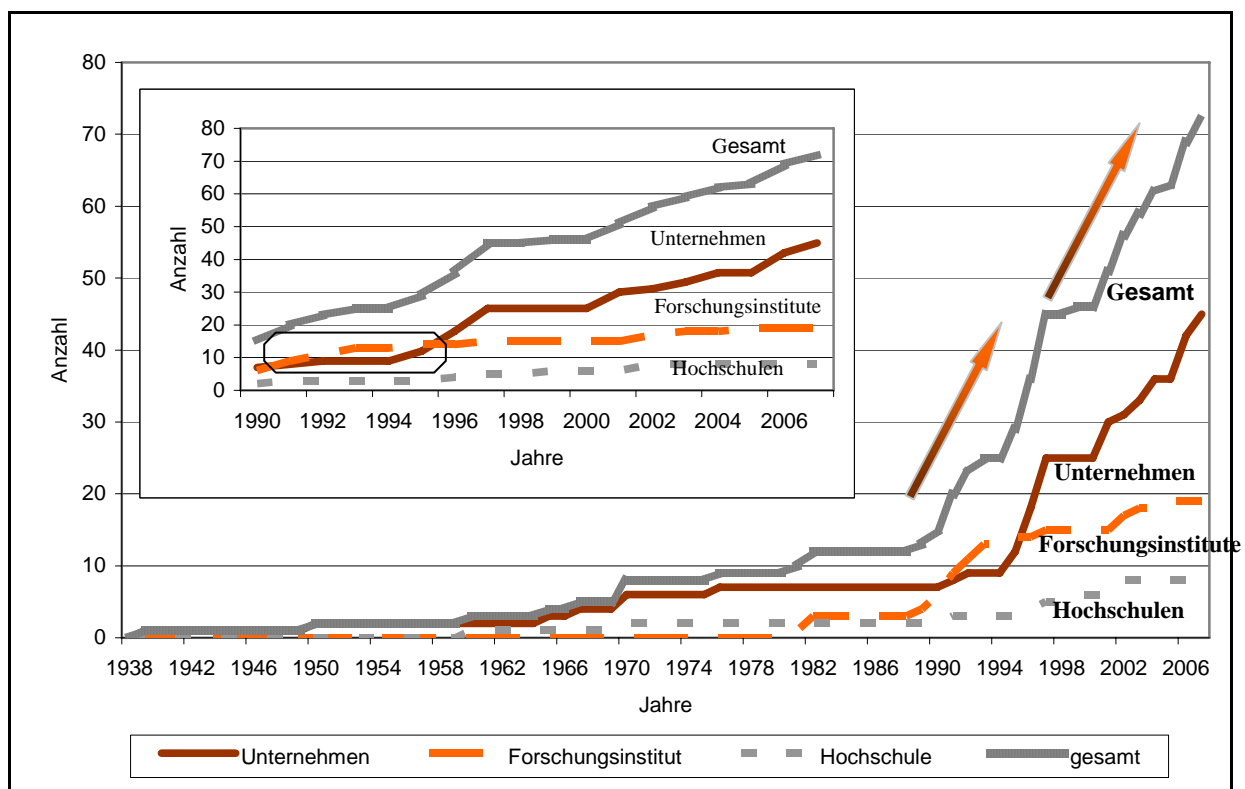


Abbildung 7: Anzahl der im Bereich Dünnschichttechnologie tätigen Akteure
Quelle: Zweitbefragung, n=72

Prognostizierte Umsatzentwicklung

Sowohl die prognostizierte Umsatzentwicklung für den Dünnschichtbereich (+74%), als auch der Gesamtumsatz (+24%) der antwortenden Unternehmen weisen hohe Steigerungsraten in den nächsten drei bis fünf Jahren auf. Auf Grund des überproportionalen Wachstums des Umsatzes im Bereich Dünnschichttechnologie steigt dessen Bedeutung am Gesamtumsatz bei den antwortenden Unternehmen von 17% auf 23%.

Wichtige Substratmaterialien

Die Substratmaterialien werden in Abbildung 8 in Abhängigkeit von der Häufigkeit der Nennung in drei Gruppen eingeteilt:

Gruppe 1 Mehr als 29 Akteure, für die das betreffende Substrat aktuell von Bedeutung ist

Gruppe 2 16-29 Akteure, für die das betreffende Substrat aktuell von Bedeutung ist

Gruppe 3 0-15 Akteure, für die das betreffende Substrat aktuell von Bedeutung ist

Es wird deutlich, dass ausschliesslich die Substratmaterialien „Metall“ und „Glas“, die momentan eine sehr hohe Bedeutung aufweisen, zukünftig als leicht rückläufig eingeschätzt werden. Die Bedeutung des Substratmaterials „Metall“ sinkt um 4%, die des Substratmaterials „Glas“ um 10%. Dennoch bleiben diese beiden Substratmaterialien neben „Kunststoff“ auch in Zukunft die mit Abstand wichtigsten Substrate.

Für die Bereiche „Fasern“, „Textil“ und „Holz“, denen nach Einschätzung der Experten heute lediglich eine untergeordnete Bedeutung zukommt, werden in den kommenden Jahren hohe Steigerungsraten erwartet.

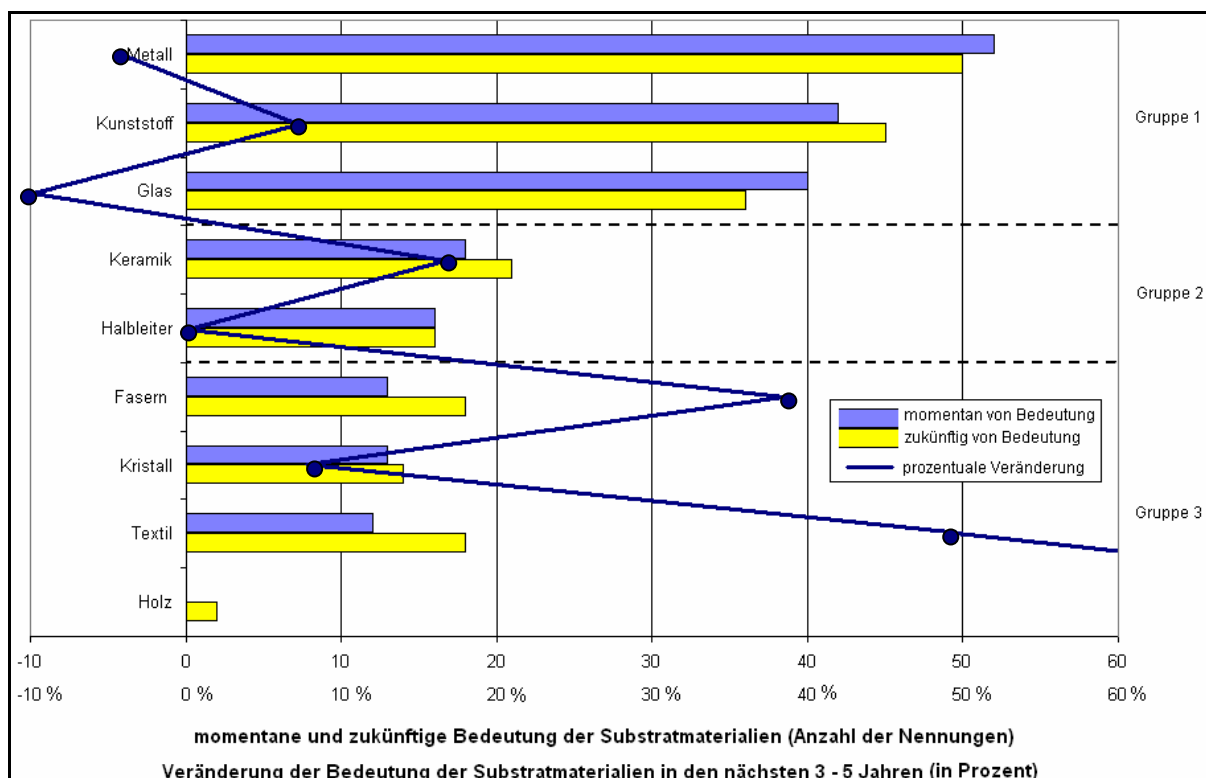


Abbildung 8: Substratmaterialien im Wandel

Quelle: Zweitbefragung, n=99 (Mehrfachnennungen zugelassen)

In Abbildung 9 ist die Anzahl derjenigen Akteure verdeutlicht, die angegeben haben nur „momentan“ (Aussteiger) bzw. nur „zukünftig“ (Einsteiger in 3-5 Jahren) bestimmte Substratmaterialien zu verwenden. Besonders mit den Materialien „Fasern“, „Kunststoffe“ und „Textil“ werden sich zukünftig immer mehr Akteure beschäftigen.

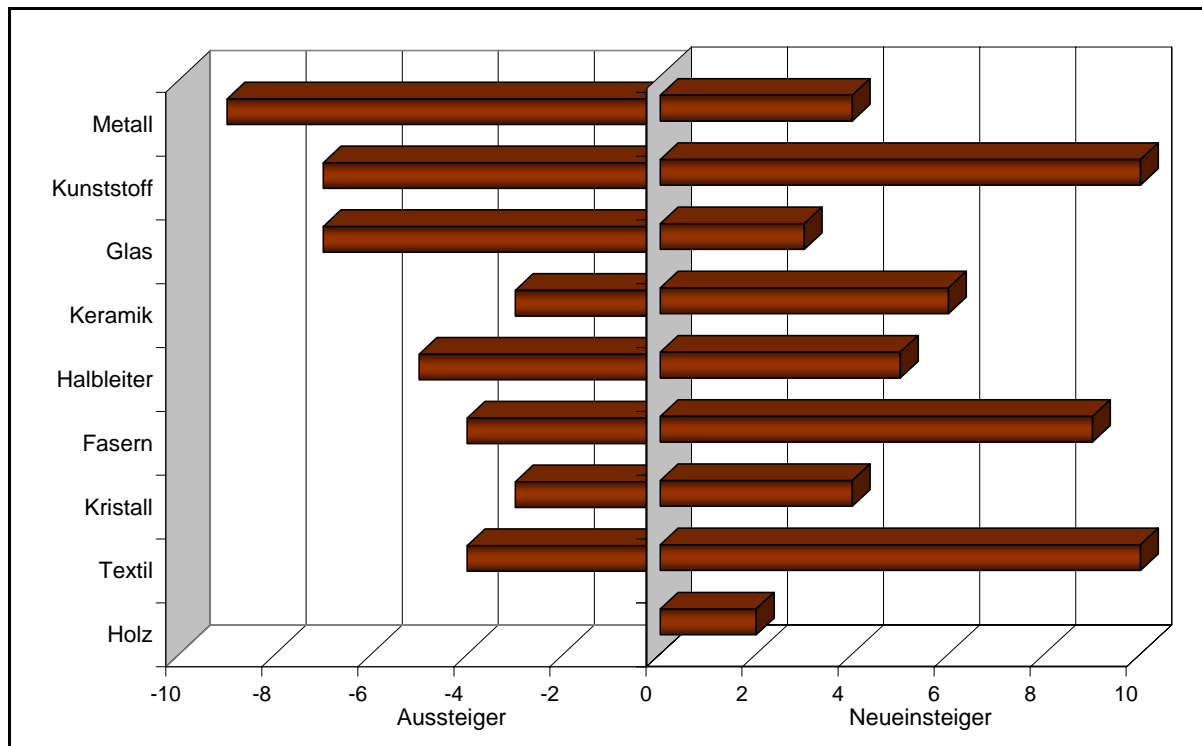


Abbildung 9: Gegenüberstellung der Aussteiger und Einsteiger bezogen auf die Substratmaterialien

Quelle: Zweitbefragung, n=99 (Mehrfachnennungen zugelassen)

Funktionsschichten mit definierter Morphologie - ein wichtiger Zukunftstrend

Im Folgenden werden ausgewählte Erkenntnisse der vertiefenden Online-Befragung am Beispiel des besonders relevanten Trends „Funktionsschichten mit definierter Morphologie“ (vgl. Abbildung 4) verdeutlicht:

Abbildung 10 verdeutlicht, wie die befragten Unternehmen die Untertrends der „Funktionsschichten mit definierter Morphologie“ hinsichtlich der „Marktentwicklung“ (Ordinate) sowie der „Bedeutung für den eigenen Tätigkeitsbereich“ (Abszisse) einschätzen. Deutlich sichtbar ist, dass „Heterogene Katalyse“ als unbedeutender Teilbereich in einem stagnierenden Markt angesehen wird. „Tribologische Schutzschichten“, „Kompositschichten“ und „Verknüpfung von Funktionalitäten in der Beschichtung“ sind die Bereiche mit denen sich die Unternehmen beschäftigen. Die größten Marktsprünge werden den Themen „Verknüpfung von Funktionalitäten in der Beschichtung“, „Nanostrukturierte Funktionsschichten“, „Besonders temperaturresistente Oberflächen“ und „Tribologischen Schutzschichten“ zugeschrieben.

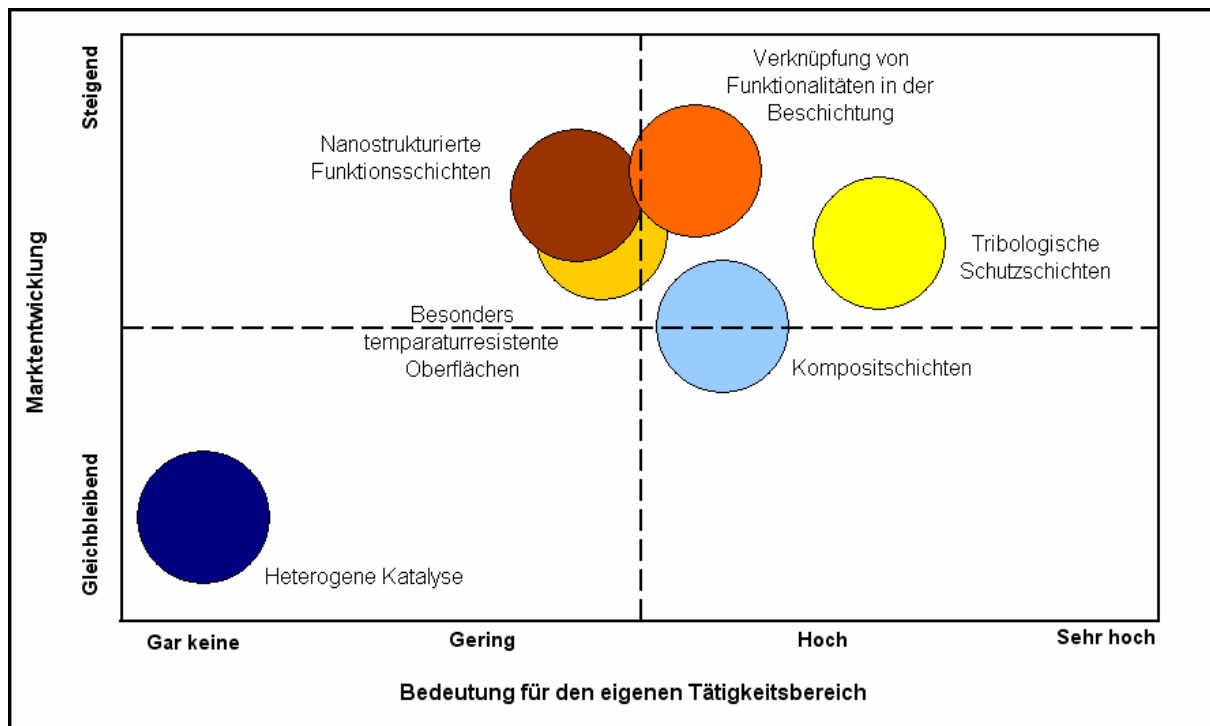


Abbildung 10: Bewertung der Untertrends zu "Funktionsschichten mit definierter Morphologie" aus Sicht der Unternehmen

Quelle: Zweitbefragung, n=35 (Mehrfachnennungen zugelassen)

Besonderheit: Zu einer weiteren frage gaben alle antwortenden Unternehmen gaben an, dass der Trendbereich der „Funktionsschichten mit definierter Morphologie“ aktuell lediglich Forschungsthema bzw. ein Bereich zur Programmabrundung darstellt. Dahingegen wird übereinstimmend in Zukunft das Potential zur Serien- bzw. Massenfertigung gesehen.

Abbildung 11 verdeutlicht die Bedeutung der Untertrends zu "Funktionsschichten mit definierter Morphologie" für die einzelnen Akteursgruppen. Dabei sind die Untertrends entlang der Ordinatenachse aufsteigend nach dem von den Experten eingeschätzten Marktwachstum geordnet; die Abszissenachse gibt die Bedeutung für den eigenen Tätigkeitsbereich in einer Rangfolge an.

Es ist festzustellen, dass die Untertrends mit dem höchsten Marktwachstum für die Forschungsinstitute und Hochschulen ebenfalls die höchste Bedeutung aufweisen. Die Unternehmen hingegen schätzen den Trend mit dem höchsten Marktwachstum („Nanostrukturierte Funktionsschichten“) für ihren eigenen Tätigkeitsbereich als derzeit gering (keine Nennung) ein.

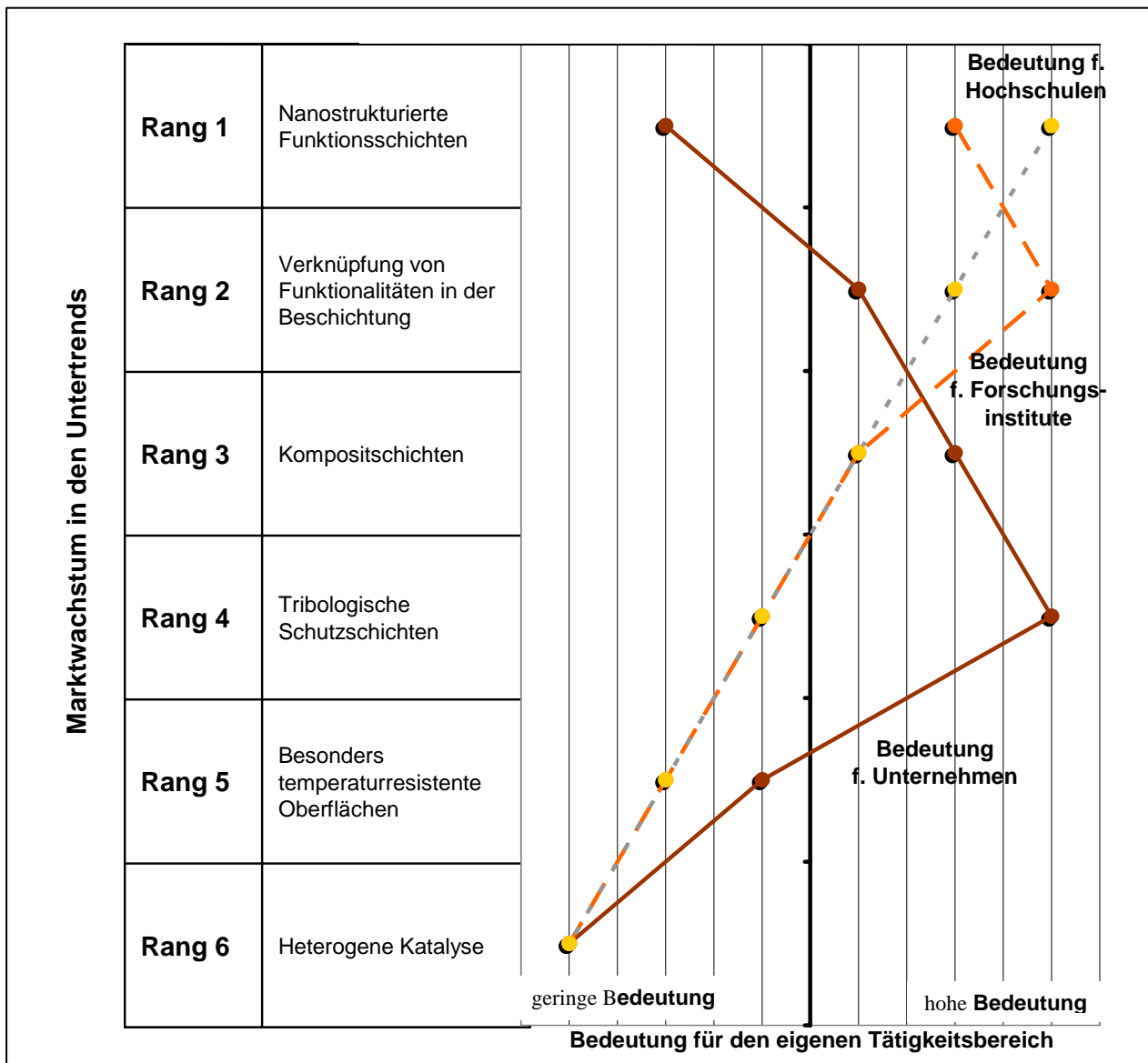


Abbildung 11: Bedeutung der Untertrends zu "Funktionsschichten mit definierter Morphologie" in Abhängigkeit von der Marktentwicklung in den nächsten 3-5 Jahren und der Akteursgruppe
 Quelle: Zweitbefragung, n=35 (Mehrfachnennungen zugelassen)

Die Überführungszeit zwischen Forschung und Produktion („time to market“) wird von den Unternehmen mit durchschnittlich zwei Jahren wesentlich kürzer eingeschätzt, als von den forschenden Einrichtungen (Mittelwert: 4 Jahre, Modalwert: 5 Jahre).

4. Ausblick

Durch die vorliegende Studie sind zu den einzelnen Trends im Bereich der Dünnschichttechnologie zahlreiche vertiefende Informationen generiert worden.

Das Projekt sieht im weiteren Verlauf die Durchführung von Expertenworkshops vor, in denen sämtliche gewonnenen Materialien diskutiert und interpretiert werden sollen. Rund

50% der teilnehmenden Akteure der Zweitstudie sind an einem aktiven Austausch interessiert. Ob eher eine branchen- oder dem technologieorientierte Zusammensetzung der Akteure für die Workshops vorzunehmen ist, wird in den nächsten Wochen in der Arbeitsgruppe II Material innovativ Thüringen (MiT) diskutiert werden.

Weiterhin könnte eine Patentrecherche Aufschlüsse über die zukünftige Entwicklung der Dünnschichttechnologie und deren wesentliche Akteure liefern. Entsprechende Schlagworte sollen in den Expertenworkshops bei einem Brainstorming zu zusammengetragen werden.

Schließlich stellen die Ergebnisse eine gute Ausgangsbasis für eine internationale Befragung dar. Ob eine derartige Befragung eine reine Expertenbefragung an Hochschulen und Forschungsinstituten und / oder eine Unternehmensbefragung sein sollte, kann an dieser Stelle offen bleiben.