

Innovationsforum

„Hybridtechnologien – Fügetechnik für die Fertigung der Zukunft“

Abschlussbericht

erstellt für BMBF/DLR
Bonn - Berlin

vom

IGZ - Kompetenzzentrum Fügetechnik
an der SLV-Halle GmbH

Laufzeit des Projektes: 01.08.2004 bis 31.01.2005

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Hendrick Butthoff

Halle (Saale), Mai 2005

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Inhaltsverzeichnis

| | <u>Seite</u> |
|---|--------------|
| 1. Realisierung des Innovationsforums | 3 |
| 1.1. Das Projekt | 3 |
| 1.2. Wissenschaftlicher und technischer Stand | 3 |
| 1.3. Projektbeirat | 6 |
| | |
| 2. Ergebnisdarstellung | 8 |
| 2.1. Anwendungsdefizite | 8 |
| 2.2. Maßnahmenentwicklung | 9 |

1 Realisierung des Innovationsforums

1.1 Das Projekt

Am 23. und 24. November 2004 wurde das Innovationsforum

- „Hybridtechnologien – Fügechnik für die Fertigung der Zukunft“

durchgeführt.

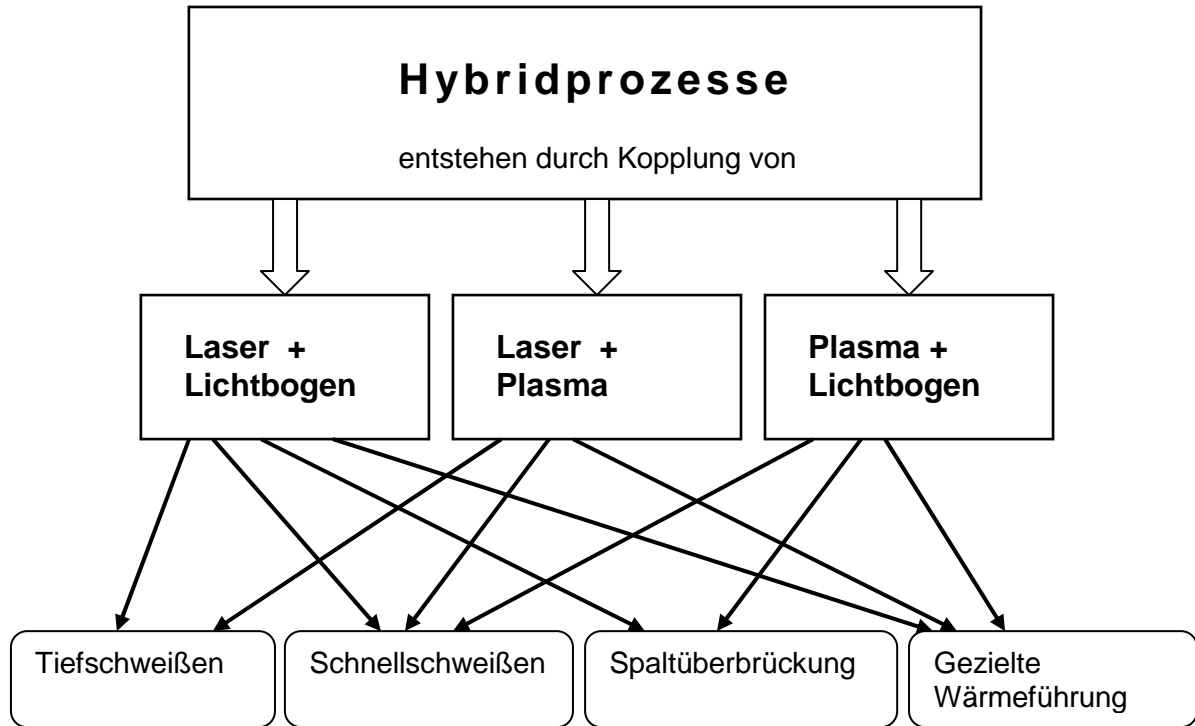
Ziel des Innovationsforums „Hybridtechnologien“ war, die bestehende Informations- und Anwendungslücke zwischen dem erreichten wissenschaftlichen Stand und der Anwendung der Technik, speziell bei KMU, zu schließen. Durch eine breitere Anwendung der Hybridtechnologie wird die Wettbewerbsfähigkeit kleinerer und mittlerer Unternehmen nachhaltig verbessert durch Nutzung von Kosteneinsparungspotenzialen, der Erschließung neuer Anwendungsmöglichkeiten sowie verbesserter Produkteigenschaften.

1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Als hybride Fügeprozesse werden diejenigen bezeichnet, bei denen zwei oder mehrere Prozesse ein gemeinsames Schmelzbad ausbilden und damit zeitgleich in einer Prozesszone wirken. Bei einer seriellen Verfahrenskombination wirken hingegen beide Einzelprozesse räumlich und/oder zeitlich voneinander getrennt, so dass mindestens zwei vollständig getrennte Schmelzbäder entstehen. Bei der Kopplung der beiden Einzelprozesse wird ein neuer Prozess mit neuen Möglichkeiten geschaffen. Die beidseitigen Einflüsse der Prozesse ermöglichen dabei Synergieeffekte, die die Nachteile der Einzelprozesse für eine große Anzahl von Fügeaufgaben ausräumen.

Mittlerweile erstreckt sich die Begriffsabdeckung „Hybridtechnologien“ aber bis hin zu beispielsweise Kombinationen von Schweiß- und Klebprozessen. Die Innovation besteht in der Kopplung unterschiedlicher Verfahren unter Nutzung der jeweiligen Verfahrensvorteile bei gleichzeitiger Minimierung bzw. völliger Eliminierung der Nachteile.

Die bekanntesten Hybridprozesse sind:



V e r f a h r e n s v o r t e i l e

- Substitution von Mehr-lagen-schweißungen
- Einseitenschweißungen
- geringes Nahtvolumen
- kurze Schweißzeit
- geringer Aufwand zur Nahtvorbereitung

- Verringerung der Fertigungszeit
- Reduzierung der Streckenenergie
- reduzierte Nacharbeit

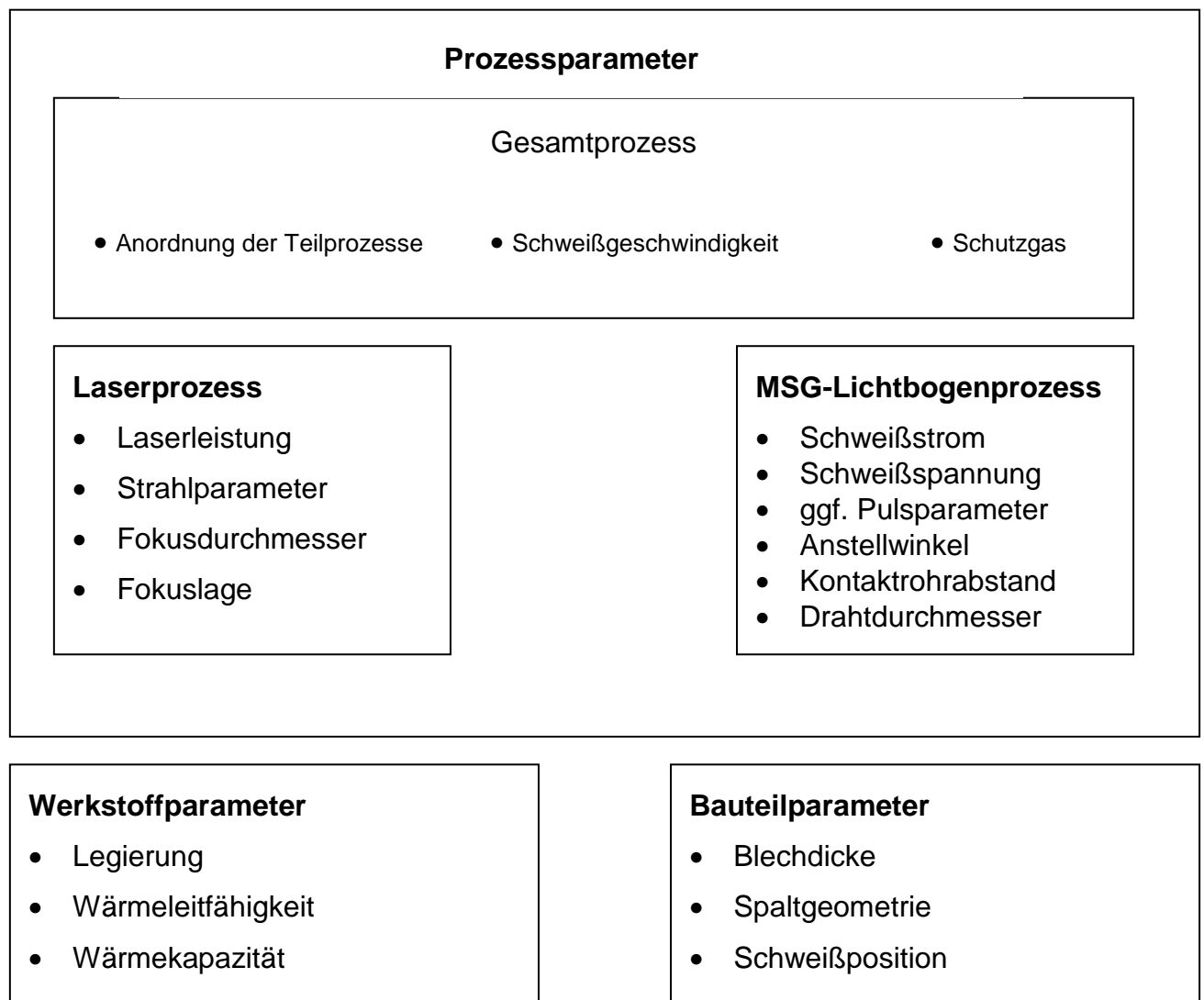
- geringerer Aufwand zur Nahtvorbereitung
- reduzierter Aufwand zur Bauteiljustage
- höhere Schweißgeschwindigkeiten

- Verarbeitung kritischer Werkstoffe möglich
- geringerer Aufwand zur Nachbearbeitung
- reduzierte Streckenenergie

Zur Nutzung der Vorteile der Hybridtechnologien sind eine Vielzahl von Parametern anwenderorientiert zu optimieren. Dabei sind die Parameter, die den Schweißprozess maßgeblich bestimmen, in Prozessparameter (Parameter des Gesamtprozesses), sowie in Werkstoff- und Bauteilparameter zu unterscheiden. Zwar sind die grundsätzlichen Zusammenhänge und Wechselwirkungen zwischen den Prozesskomponenten, also die physikalischen Merkmale, größtenteils bekannt, jedoch besteht erheblicher Forschungsbedarf hinsichtlich metallurgischer Auswirkungen auf unterschiedliche Werkstoffe, die Anwendbarkeit auf geometrische Bedingungen im Bereich der Fügestelle, adäquate Methoden zur Integration in den realen Fertigungsfluss sowie angepasster Strategien zur Qualitätssicherung. Die Lösung dieser Aufgabenstellungen ist unabdingbare Voraussetzung für eine effiziente Anwendung in der industriellen Fertigung.

Am Beispiel des Laser-MSG-Hybridschweißens wird dies beispielhaft dargestellt.

Die wesentlichen Parameter des Gesamtprozesses sind die räumliche Anordnung der beiden Teilprozesse zueinander (Winkel und Abstand zwischen Laserstrahl und Lichtbogen), die Schweißgeschwindigkeit sowie das Prozess- bzw. Schutzgas (Menge, Zusammensetzung, Art der Zufuhr).



Der Teilprozess Laserschweißen wird maßgeblich durch die verfügbare Laserleistung sowie die Strahlparameter (Fokusbereich, Rayleighlänge) und die Fokussierung bestimmt. Der Teilprozess MSG-Lichtbogenschweißen hingegen ist hauptsächlich durch die nur in gewissen Grenzen sinnvoll frei wählbaren Parameter Schweißspannung, Drahtvorschubgeschwindigkeit (Schweißstrom), im Falle des Impulslichtbogens die Pulsparameter, wie z. B. Frequenz, sowie den Anstellwinkel des Brenners (stechend/schleppend) und den Kontaktrohrabstand gekennzeichnet.

Alle diese Parameter bzw. ihre Einstellbereiche können, da sie sich in ihrer Wirkung in erheblichem Maße beeinflussen, im Rahmen der Ermittlung geeigneter Prozessfenster nicht unabhängig voneinander gewählt werden.

So bewirkt der Laserstrahl einen zusätzlichen Energieeintrag in den Gesamtprozess, der im Gegensatz zum MSG-Schweißen nicht an die Einbringung von Zusatzwerkstoff gebunden ist. Dies gewährleistet eine höhere Prozessstabilität, die im Dünnblechbereich Schweißgeschwindigkeiten ermöglicht, die mit dem MSG-Prozess bei weitem nicht erreichbar sind. Voraussetzung hierfür ist ein Anteil der Laserleistung am Gesamtenergieeintrag, der in möglichst großer Nähe zum Lichtbogenanteil liegen sollte. Bei Prozessgeschwindigkeiten, die in der Größenordnung von denen beim Lichtbogenschweißen liegen, wird durch den zusätzlichen Energieeintrag eine Einschweißtiefe erreicht, die ein Mehrfaches der Einbrandtiefe durch den Lichtbogen betragen kann.

1.3 Projektbeirat

Nach Anschluss der umfangreichen Recherchen zum aktuellen wissenschaftlichen Stand der Technik, Anwendungstrends und Geräteangeboten wurden die Know-how-Träger zu Besprechungen und Workshops eingeladen mit der Zielsetzung der Erarbeitung von Themenschwerpunkten für das Innovationsforum.

Potenzielle Anwender wurden durch einen Flyer auf das geplante Vorhaben hingewiesen; ein beigefügtes Umfrageblatt diente im Vorfeld der Evaluierung der Interessenslage hinsichtlich der verschiedenen Hybridtechnologien und der erwarteten Effekte.

Zur Durchführung und Begleitung des Innovationsforums „Hybridtechnologien“ wurde ein Projektbeirat gebildet. Der Projektbeirat setzte sich zusammen aus:

Herrn Dr. Andrick, IHK Halle-Dessau,
Herrn Dipl.-Ing. Karsten Freytag, Stahlbau Dessau GmbH & Co. KG,
Herrn Dipl.-Ing. Detlef Pescheck, Handwerkskammer Halle (Saale),
Herrn Dr.-Ing. Frank Riedel, IFS / TU Chemnitz,
Herrn Dipl.-Ing. René Schasse, Stahlbau Magdeburg GmbH,
Herrn Dr. Egon Preuß, IHK Bildungszentrum Halle-Dessau GmbH,
Frau Mushack, MWA Sachsen-Anhalt
Herrn Blechschmidt, Amt für Wirtschaftsförderung Stadt Halle

Entsprechend den Recherchen zum Anwendungsstand und Anwendungstrends wurden potentielle Interessenten und Experten aus den Branchen Maschinenbau, Behälterbau, Stahlbau, Fahrzeugindustrie etc. zur Veranstaltung des Innovationsforums eingeladen. Postalisch wurden über 700 Einladungen versandt, eine direkte Anmeldung war auch über die Internetseiten des IGZ-Fügetechnik möglich. Insgesamt konnten mehr als 120 Experten und Interessenten aus der Bundesrepublik Deutschland, Bulgarien, Polen und Österreich zu der zweitägigen Veranstaltung in Halle/Saale begrüßt werden.

Aus möglichen fünfzig Referaten von qualifizierten Referenten und Experten erfolgte in weiteren Workshops und in Abstimmung mit dem Projektbeirat eine endgültige Festlegung des Programms. Neben dem Stand der Wissenschaft bestimmte die aus der durchgeführten Befragung ermittelte Interessenslage der Unternehmen die thematische Zusammensetzung in entscheidendem Maß.

Die Tagungsveranstaltung am 23. und 24. November beinhaltete insgesamt 14 Vorträge zu unterschiedlichsten Aspekten der derzeit bekannten Hybridfügetechnologien.

Themen und Referenten:

A. Pittner, J. Ji, P. Seyffarth, Rostock, D. Weiß, Kopenhagen

Vorhersage der Nahtgeometrie beim Laser-MSG-Hybridschweißen durch verknüpfte mathematische und empirische Modelle.

C. Paul, Haiger

Technologieorientierte Anlagen und Ausrüstungen zum MSG-Laserstrahl-Hybridschweißen

W. Rath, Hamburg

Strahlquellen für Hybridanwendungen

W. Krassau, A. Frevel, Hamburg; F. Fischer, Koblenz

Optische Technologien – Perspektiven für KMU und Handwerk

C. Thomy, M. Schilf, T. Seefeld, F. Vollertsen, Bremen

Grundlagen und Einsatzpotentiale des Laser MSG-Hybridschweißens anhand von Beispielen für die industrielle Fertigung

B. Kessler, Gaggenau-Bad Rotenfels

Prozessüberwachung beim Laserhybridschweißen

W. Wendler, Görlitz

MSG-Laserhybridschweißen – Erste Anwendungen und Erfahrungen im Schienenfahrzeugbau

H. Herold, M. Zinke, M. Karpenko, Magdeburg

Einsatz der Nd:YAG-Laser-WIG-Hybridtechnik zum Schweißen hochkorrosionsbeständiger Ni-Basislegierungen und Sonderedelstähle

K. Stelling, M. Lammers, H. Schobbert, Berlin

Nd:YAG-Laser-Plasma-Hybridschweißen mit Zusatzwerkstoffen

K. Husch, Chemnitz

Plasma-MIG-Schweißen – Entwicklungsstand und Anwendungspotenzial

J. Kallich, F. Liebrecht, Dresden

Hybridfügen in der Blechteilefertigung

A. Kromholz, R. Schäuble, M. Busch, Halle

Herstellung, Bewertung und Auslegung von Fraserverbundkunststoff-Metall-Fügeverbindungen

J. Ude, Barleben

MAHREG Automotive – Das Netzwerk der Automobilzulieferer Sachsen-Anhalts als Technologiepartner der Unternehmen.

E. Koleva, G. Mladenov, Sofia

Prognoses of the EB weld geometry on the base of thermal model and/or statistical data analysis

2 Ergebnisdarstellung

2.1 Anwendungsdefizite

Die thematischen Schwerpunkte von besonderem Anwenderinteresse lagen bei der Darstellung der wichtigsten Prozessparameter der Hybridschweißtechnologien, wobei festzustellen ist, dass die größten Anwendungspotentiale bei solchen Hybridprozessen liegt, die als eine Prozesskomponente den Laserstrahlprozess beinhalten.

Die Hauptmerkmale des Laserprozesses bestehen zum einen in einer extrem konzentrierten Energiezufuhr und zum anderen in der Tatsache, dass dieser Energieeintrag nicht zwangsläufig mit einem zusätzlichen Materialeintrag gekoppelt ist. Hierdurch entsteht eine breite Palette von Möglichkeiten zur gezielten Einflussnahme auf die Nahtausbildung und deren Eigenschaften unter beanspruchungs- und werkstofftechnischen Gesichtspunkten.

Von hohem Anwenderinteresse waren Informationen speziell über

- Erzielung großer Einschweißstiefen an dicken Blechen ohne zusätzliche Fugenvorbereitung bei gleichzeitig hoher Toleranzverträglichkeit des Hybridprozesses,
- Realisierung sehr hoher Schweißgeschwindigkeiten im Dünnblechbereich bei gleichzeitig verbesserter Spaltüberbrückbarkeit gegenüber reinen Strahlschweißprozessen,
- gezielte Wärmeführung für thermisch empfindliche Werkstoffe bei gleichzeitiger variabler Nahtformmodellierung.

Festgestellt wurde, dass zur erhöhten Anwendung der Hybridtechnologien

- gerätetechnische Entwicklungen teilweise (z. B. einsatzfähige Schweißköpfe, Handling etc.) erst seit ein paar Jahren angeboten werden,
- stetige Verbesserung der Strahlquellen (Leistung, Strahlqualität, Robustheit) die Anwendung ermöglicht,
- Mustertechnologien entwicklungsseitig verfügbar sind.

Trotz dieser Entwicklungen behindern den Einsatz der Hybridtechnologien:

- Know-how-Defizite bei potentiellen Anwendern
- Nur Insellösungen zur Integration in das fertigungstechnische Umfeld vorhanden
- Keine verbindlichen Bewertungskriterien (Regelwerk, Qualitätssicherung)

- Defizite bei prozessangepassten Gestaltungsstrategien
- Keine angepassten Qualifizierungsstandards

Defizite

- beim Anwendungs-Know-how
- bei gerätetechnischem Angebot

sowie Möglichkeiten zur Behebung dieser Defizite bestimmten die Diskussion der Teilnehmer des Innovationsforums.

2.2 Maßnahmenentwicklung

Die Etablierung einer „Plattform Hochleistungs- und Schweißprozesse“ wurde mit folgenden Inhalten andiskutiert:

- **Plattform „Hochleistungs-Schweißprozesse“**

Einen besonderen „Erkenntnisgewinn“ für die Teilnehmer war der Einsatz der Hybridtechnologie zum Schweißen „größerer Blechdicken“, dem so genannten Tiefschweißen. Die Interessenslage ist erklärbar aus den elementaren wirtschaftlichen Vorteilen. Insgesamt 13 Unternehmen hatten den Wunsch an weiterem Wissenstransfer geäußert. Dies bezieht sich vor allem auf Werkstofffragen und entsprechende Verfahren, d. h. anwendungsspezifische optimale Parameterkombination und entsprechende Gerätekonfiguration sowie wirtschaftliche Gesichtspunkte. Im Mittelpunkt stand die Bewertung der Effekte, welche durch den Einsatz von Hybridprozessen auf die gesamte Fertigungskette entstehen. Dabei standen die derzeit in den Unternehmen eingesetzten konventionellen Schweißprozesse ebenso zur Diskussion wie notwendige Voraussetzungen zum Einsatz von Hybridprozessen. Diese Voraussetzungen betreffen nicht nur wirtschaftliche Faktoren (Investitionen in Prozess- und Maschinenteknik), sondern auch Aspekte der Arbeitssicherheit (Schutz gegen Laserstrahlung) bis hin zur Anwendung innovativer Konstruktionsmethoden, um die Leistungspotenziale in vollem Umfang zur Wirkung bringen zu können.

Als mögliche Ausprägungsformen der Plattform „Hochleistungs-Schweißprozesse“ werden aktuell folgende Varianten mit interessierten Unternehmen konfiguriert:

a) Produktionsnetzwerk:

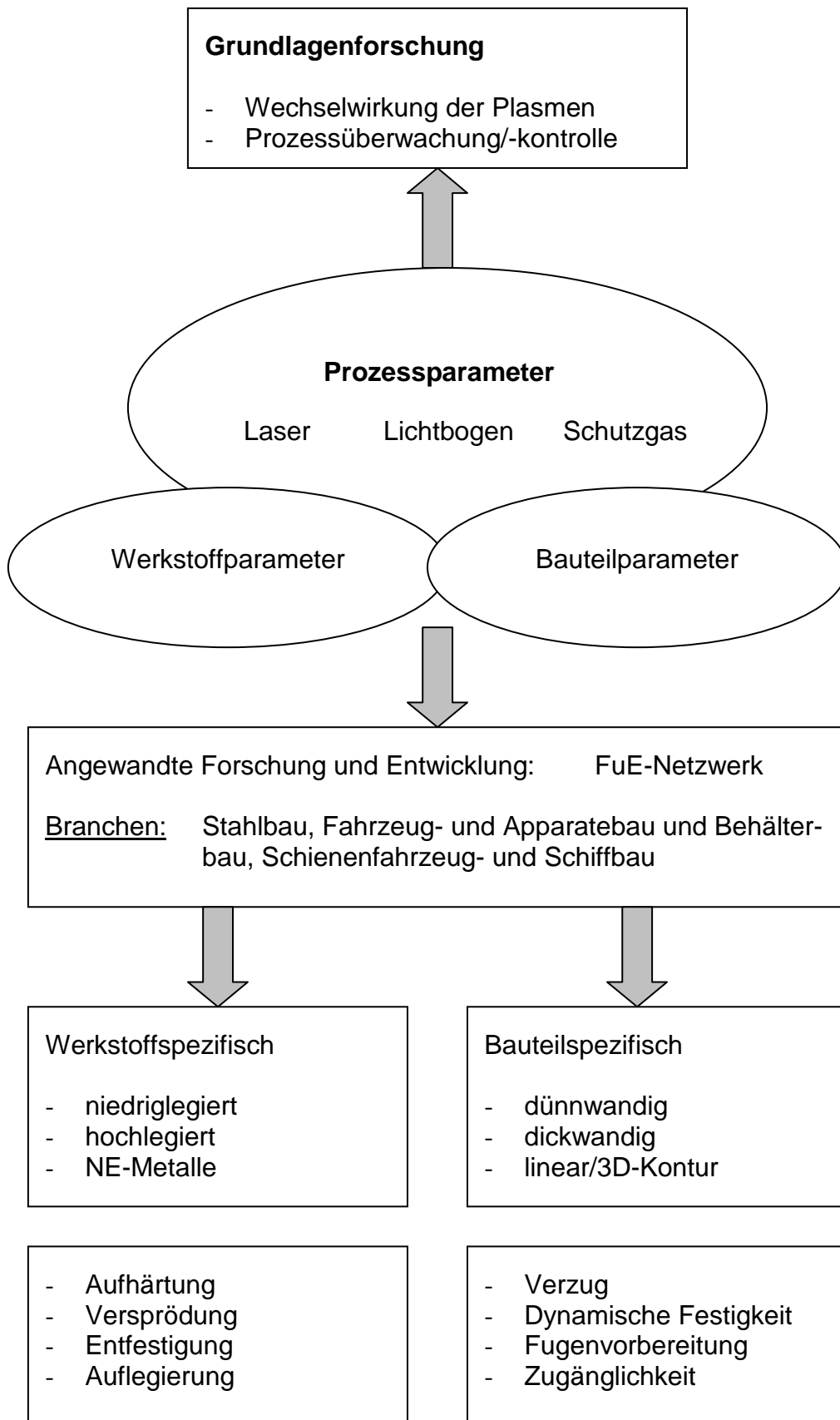
Auf dem Markt werden zurzeit keine erprobten Anlagen angeboten. Ausgewählte Unternehmen sind jedoch an einer verstärkten Anwendung der Hybridtechnologie interessiert. Überprüft wird, inwieweit die interessierten Anwender gemeinsam eine Anlage, die zu konzipieren ist, anwerben und gemeinsam betreiben.

Damit würde ein Anwendungsengpass überwunden. Die konzeptionelle Auslegung (Leistungsparameter) wird im Rahmen von geplanten Arbeitssitzungen erstellt. Inwieweit eine entsprechend konfigurierte Anlage Basis für weitere Projekte werden kann, ist noch zu überprüfen.

b) FuE-Netzwerk:

Unter Nutzung vorhandener „Laboranlagen“ sind gezielt multilaterale Entwicklungsarbeiten durchzuführen im Sinne von Erwerb von „Basis-Know-how“, wobei bauteilspezifische und werkstoffspezifische Parameter im Mittelpunkt stehen. Eine entsprechende Arbeitsgruppe, bestehend aus wirtschaftsnaher Forschung und industriellen Anwendern, wird die Inhalte des „Basis-Know-how“ festlegen.

Eine erste Struktur enthält die folgende Graphik:



Weitere zukunftsweisende Ansätze bzw. Ergebnisse sind:

- **Internationalisierung**

Bulgarien

Zwischen dem bulgarischen Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnologie und dem IGZ-Fügetechnik wurde anlässlich des Innovationsforums eine Kooperationsvereinbarung zur künftigen Gestaltung des Technologie- und Know-how-Transfers unterzeichnet.

Polen

Mit dem Institut für Schweißtechnik in Gliwice wird der Dialog zur Gestaltung vertraglicher Beziehungen mit dem IGZ-Fügetechnik geführt. Das hohe Interesse polnischer Unternehmen am Transfer innovativer Fügetechnologien wurde durch die Teilnahme am Innovationsforum dokumentiert.

Vorgesehen ist die Konzipierung von Transfertagen im Rahmen der Außenwirtschaftstage der IHK Halle-Dessau. Erste Gespräche haben hierzu stattgefunden.

- **Vor-Ort-Sensibilisierung**

Potentielle Anwender der Hybridtechnologie sollten im Rahmen einer „Vor-Ort-Überprüfung und Sensibilisierung zur Auswahl und des wirtschaftlichen Einsatzes der Hybridtechnologie“ gezielt angesprochen und informiert werden. Lösungsbedarf besteht z.B. bei folgenden Aufgabenstellungen:

- Vollständiger Profilanschluss bei der Herstellung orthotroper Platten zur Verbesserung der dynamischen Festigkeit (Stahlbau Magdeburg)
- Dynamische Festigkeit von hybridgeschweißten Untergestellstrukturen (Bombardier Transportation, Werk Görlitz)
- Anwendung des Hybridschweißens zur Realisierung restspaltfreier Schweißungen (Vollanschluss) bei verringerter Fugenvorbereitung (Schiffsbau)
- Hybridschweißen von Behältern aus hochlegierten Stählen mit freier Wurzelformung (Behälterbau)
- Hybridschweißen komplexer Bauteile mit verringerten Eigenspannungen (FAM Magdeburg)
- Ermittlung von Grenzblechdicken beim Hybridschweißen großvolumiger Bauteile

- **Zulassungen im Schienenfahrzeugbau**

Angesichts des Interesses von Unternehmen aus dem Schienenfahrzeugbau am Einsatz von Hybridtechnologien wurden neben technischen Gesichtspunkten auch Fragen der Zulassung und Bewertung solcher Schweißnähte betrachtet. Grundlagen waren vorliegende Prüfergebnisse geschweißter Verbindungen, die die Voraussetzung für die zu erlangenden Zulassungen im Bereich der Deutschen Bahn darstellen. Weiterhin ist es erforderlich, dass Hybridtechnologien Eingang in gültige Normen und Regelwerke finden. Diesen Prozess versucht

das IGZ in größtmöglichem Maße zu beschleunigen, beispielsweise in Zusammenarbeit mit der SLV Halle im Rahmen der Erstellung entsprechender Merkblätter und Richtlinien.

- **Zielgruppe Handwerk**

Entsprechend den dokumentierten Informationsdefiziten im Handwerk ist das IGZ-Fügetechnik intensiv bemüht, in Kooperation z. B. mit dem VDI-TZ, HPI und dem Land Sachsen-Anhalt sowie der Handwerkskammer und der Metallbauinnung geeignete Qualifizierungsmaßnahmen zu entwickeln. Erste Kontakte wurden aufgenommen.