

doi.org/10.37544/1436-4980-2026-05-35
Datum der Einreichung: 15.02.2026
Datum der Annahme: 20.04.2026
Datum der Veröffentlichung: 24.06.2026

Identifikation prozessrelevanter Einflussgrößen aus spektralen Prozessleuchtsignalen

Spektrale Überwachung beim Hairpin-Schweißen

D. Merz, S. Schabel, J. Fleischer

ZUSAMMENFASSUNG In dieser Arbeit wird untersucht, ob sich definierte Einflussgrößen beim Laserschweißen von Hairpins für Elektromotoren im multispektralen Prozessleuchten abbilden lassen. Auf Basis einer strukturierten Versuchsreihe wurden die Stirnseiteengeometrie, die Laserfokusslage und der Pinwerkstoff analysiert. Die Ergebnisse zeigen eine klare Differenzierung geometrischer Variationen, einen Trend bei Fokusänderungen, jedoch keine signifikante Materialabhängigkeit.

STICHWÖRTER

Laserkontaktieren, Hairpin-Technologie, spektrale Prozessüberwachung

Identification of process-relevant influencing factors using spectral process emission signals

ABSTRACT This study investigates whether defined influencing factors in laser welding of hairpins can be represented in multispectral process emission signals. Based on a structured experimental series, end-face geometry, focal position and material were analyzed. The results show a clear differentiation of geometric variations, a trend for focus changes and no significant material dependency.

1 Einleitung und Motivation

Die Hairpin-Technologie hat sich in der industriellen Fertigung elektrischer Traktionsmotoren als dominantes Wicklungskonzept etabliert. Durch die hochautomatisierte Verarbeitung massiver Kupferflachdrähte lassen sich reproduzierbare und produktive Fertigungsprozesse realisieren. Ein zentraler Prozessschritt ist das Laserschweißen der abisolierten Leiterenden. Die Qualität dieser Kontaktierung ist entscheidend für die elektrische Funktion und die Lebensdauer des Stators, weshalb dem Schweißprozess eine besondere Bedeutung zukommt [1, 2].

Zur Überwachung des Laserschweißprozesses werden in der industriellen Praxis optische Prozessmonitoringsysteme eingesetzt, die das während des Fügens entstehende Prozessleuchten erfassen [3–5]. Konventionelle Systeme detektieren einzelne spektrale Bereiche, beispielsweise Rückreflexion, Temperatur- oder Plasmaemission [1, 6], und ermöglichen eine prozessintegrierte Bewertung im Sinne einer iO/n.i.O.-Klassifikation [7]. Mit der Verfügbarkeit hochauflösender Mehrkanalsensorik, die einen breiten Wellenlängenbereich simultan erfasst, steht jedoch ein deutlich erweitertes Spektrum an Messinformationen zur Verfügung [7, 8]. Diese Systeme liefern eine Vielzahl spektraler Zeitreihen, deren Informationsgehalt über die klassische Qualitätsbewertung hinaus bislang nur eingeschränkt untersucht wurde [3, 8].

Neben den gewählten Schweißparametern beeinflussen unterschiedliche prozess- und bauteilseitige Randbedingungen das physikalische Prozessgeschehen und damit die entstehenden Strahlungsemissionen. Hierzu zählen unter anderem der Oberflächen-

zustand der Fugestelle (Stirnflächeengeometrie), die werkstoffspezifischen Eigenschaften sowie Abweichungen in der Fokusslage. Inwieweit sich solche definierten Variationen im spektralen Prozessleuchten systematisch abbilden lassen, ist bislang nicht abschließend geklärt.

Vor diesem Hintergrund untersucht die vorliegende Arbeit das Informationspotenzial spektraler Prozessleuchtsignale beim Laserschweißen von Hairpins. Grundlage bildet eine strukturierte Versuchsreihe mit insgesamt 164 Schweißungen, in der unterschiedliche prozess- und bauteilseitige Variationen untersucht wurden. Für die hier vorgestellte Analyse wurden daraus gezielt vergleichbare Teilkollektive gebildet, um definierte Einflussgrößen wie Oberflächenzustand, Werkstoff und Fokusslage systematisch im spektralen Signalraum zu betrachten. Ziel der Arbeit ist die Untersuchung, inwieweit sich diese Einflussgrößen im durch 32 simultan erfassten Wellenlängenkanäle beschriebenen Signalraum abbilden und voneinander differenzieren lassen.

2 Stand der Technik

Die Qualitätssicherung bei der Kontaktierung von Hairpin-Wicklungen für elektrische Traktionsmotoren stellt aufgrund der hohen Anzahl an Schweißstellen und der anspruchsvollen Materialeigenschaften von Kupfer besondere Anforderungen an die Prozessüberwachung. Nachgelagerte Prüfverfahren wie Röntgen-Computertomographie (CT) oder metallographische Schliffbilder liefern detaillierte Einblicke in innere Nahtdefekte, sind jedoch für eine 100 %-Inline-Prüfung im Produktionstakt häufig zu zeit- und kostenintensiv [2]. Entsprechend fokussiert sich der Stand

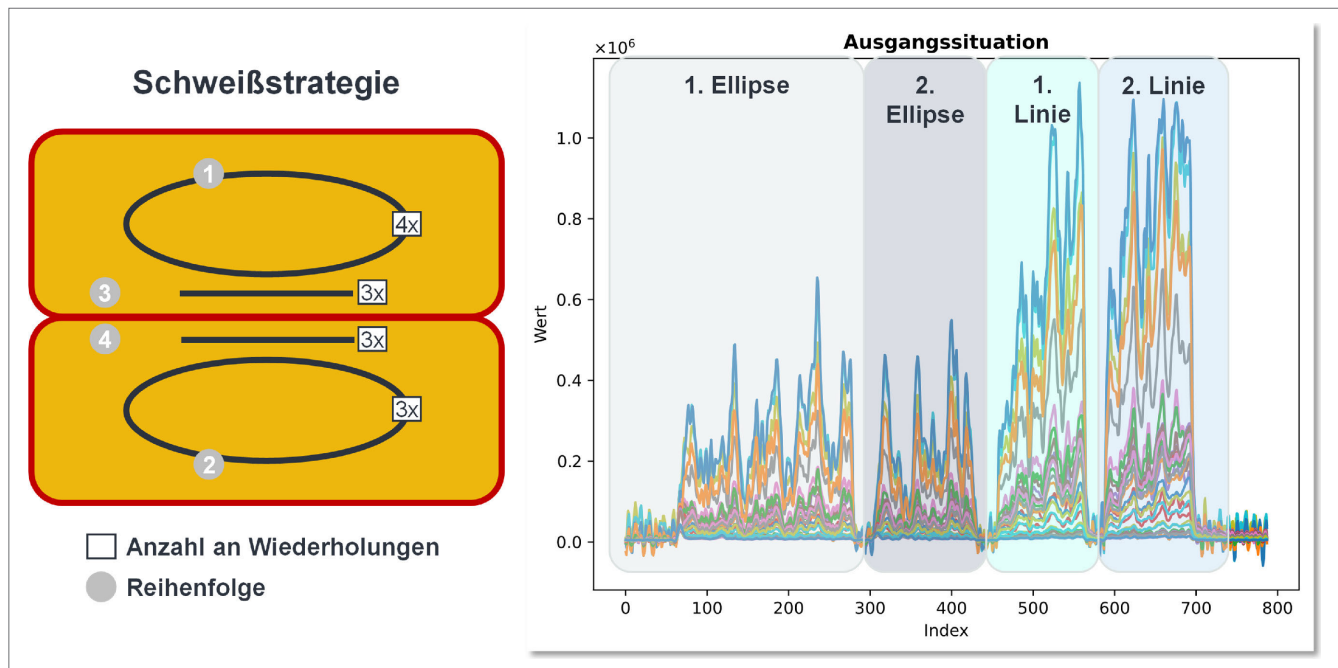


Bild 1. Schweißstrategie (links) und Rohsignale mit Zuordnung der Prozessphasen (rechts). Grafik: wbk/KIT

der Technik auf prozessbegleitende Sensorsysteme, die die während des Schweißens entstehenden elektromagnetischen Emissionen in Echtzeit erfassen [5]. Im Vergleich zu bildgebenden Verfahren bieten integrale optische Sensoren eine deutlich höhere zeitliche Auflösung, was insbesondere für die dynamischen Wechselwirkungen beim Laserschweißen von Vorteil ist [5].

Als industrieller Standard haben sich koaxial in die Schweißoptik integrierte Photodiodensysteme etabliert. Diese trennen die Prozessstrahlung in wenige breitbandige Spektralbereiche, typischerweise einen Kanal für die Rückreflexion (R), einen für das sichtbare Prozessleuchten (VIS/P) sowie einen für die thermische Infrarotstrahlung (NIR/T) [9]. Die resultierenden integralen Signale reagieren empfindlich auf Prozessinstabilitäten. Grabmann *et al.* zeigten beispielsweise, dass Variationen des Fokusabstandes zu charakteristischen Änderungen der VIS- und NIR-Signale führen, da sich Wechselwirkungszone und Dampfkapillare entsprechend verändern [10]. Ebenso können Spaltbildung oder Fehlpositionierungen der Fügepartner in den Signalverläufen erkennbar werden, da sie Wärmeleitung und Kapillardynamik beeinflussen. Omlor *et al.* sowie Heilmeyer *et al.* konnten auf Basis von Photodiodensignalen Abweichungen wie Spaltbildung, Fehlpositionierung, Fokusslage, Oberflächenkontamination und variationsbedingte Änderungen der Abisolierqualität klassifizieren, teilweise in Kombination mit akustischen Messgrößen [4, 6].

Zur Erhöhung der Informationsdichte rücken zunehmend spektral höher aufgelöste Ansätze in den Fokus. Während klassische Spektrometer eine sehr feine spektrale Auflösung bieten, sind diese für hochdynamische Schweißprozesse häufig zu träge. Multispektrale Sensorsysteme stellen hier einen Kompromiss dar, indem sie das Prozessleuchten in eine größere Anzahl diskreter Kanäle, beispielsweise im sichtbaren und nahinfraroten Bereich, unterteilen [7]. Franz *et al.* und Brüggengjürgen *et al.* untersuchten den Einsatz solcher Systeme beim Kupferschweißen. Die feinere spektrale Unterteilung ermöglichte die Identifikation von Wellen-

längenbereichen, die besonders empfindlich auf Spritzerbildung oder Instabilitäten der Dampfkapillare reagieren [7, 8]. Der Vergleich mit Hochgeschwindigkeits-Röntgenaufnahmen zeigte, dass spezifische spektrale Signaturen mit der Dynamik der Kapillare und der Porenentstehung korrelieren. Auch Baader *et al.* bestätigen grundsätzlich die Eignung des Prozessleuchtens zur Qualitätsüberwachung beim Hairpin-Schweißen, weisen jedoch auf die Herausforderungen bei der Etablierung robuster Signal-Fehler-Korrelationen hin [3].

Trotz dieser Fortschritte dominieren in der industriellen Anwendung weiterhin breitbandige, integrierende Sensorsysteme mit begrenzter spektraler Selektivität. In einer früheren Arbeit wurde eine strukturierte Pipeline zur Analyse von Photodiodensignalen beim Laserschweißen von Batterieableitertabs vorgestellt [11]. Die vorliegende Untersuchung überträgt diesen Ansatz auf die Verarbeitung hochdimensionaler multispektraler Sensordaten im Kontext des Hairpin-Laserschweißens.

3 Versuchsaufbau und Datengrundlage

Die Untersuchungen wurden an Flachdrähten aus Kupfer mit einem rechteckigen Querschnitt von 3,97 mm $\times$ 1,65 mm durchgeführt. Im abisolierten Bereich wurden die Stirnseiten mittels Laser gefügt. Zum Einsatz kam eine „TruDisk 6001“ mit einer Wellenlänge von 1030 nm in Kombination mit einer PFO 33/2 Schweißoptik von Trumpf. Verfahrenweg, Laserleistung und Vorschubgeschwindigkeit blieben für alle betrachteten Proben unverändert.

Zur Erfassung des Prozessleuchtens wurde der multispektrale Sensor 4D TWO der Firma 4D Photonics eingesetzt. Das System detektiert 32 diskrete Wellenlängenkanäle im Bereich von 317 bis 1877 nm bei einer Abtastrate von 6 kHz. Damit steht ein hochdimensionaler spektraler Signalraum als Datengrundlage zur Verfügung. Bild 1 zeigt links die angewandte Schweißstrategie auf den Pins und rechts ein zugehöriges ungefiltertes Sensorsignal mit allen 32 Kanälen. Die einzelnen Prozessabschnitte sind im

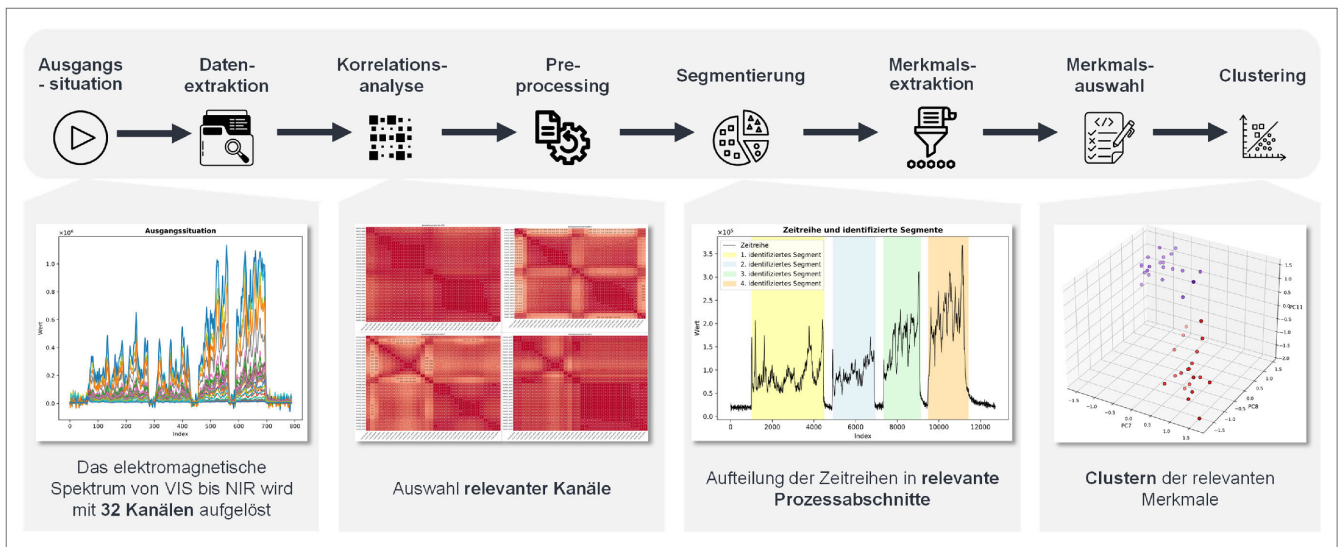


Bild 2. Datenpipeline Grafik: wbk/KIT

Signal markiert, sodass die zeitliche Zuordnung zwischen der Schweißbewegung und dem spektralen Verlauf ersichtlich wird.

Im Rahmen der Analyse wurden drei Einflussgrößen getrennt betrachtet: der Werkstoff, die Geometrie der Stirnseite des abisolierten Flachdrahtes sowie die Fokusslage des Laserstrahls. Ziel war es jeweils zu prüfen, ob sich die definierten Variationen im spektralen Prozessleuchten unterscheiden lassen. Für den Vergleich der Werkstoffe wurden jeweils zehn Proben aus Cu-ETP (Electrolytic Tough Pitch, elektrolytisch raffiniertes, sauerstoffhaltiges Kupfer) und zehn Proben aus Cu-OF (Oxygen-Free Copper, hochreines, sauerstoffarmes Kupfer) ausgewertet. Die Stirnseitenform wurde in zwei Ausführungen betrachtet. Neben einer flachen Geometrie wurde eine dachförmige Stirnseite untersucht, wie sie typischerweise infolge des Trennprozesses entsteht, mit jeweils zwanzig Proben. Die Fokusslage wurde in drei Zuständen untersucht. Neben zehn Referenzschweißungen mit nominaler Fokusslage von 0 mm wurden jeweils zehn Proben mit einer Defokussierung von -2 mm (in das Bauteil) sowie +2 mm (oberhalb des Bauteils) untersucht.

4 Methodisches Vorgehen zur Signalanalyse

Ausgangspunkt der Analyse waren die 32 simultan erfassten spektralen Zeitreihen des Sensors. Jede dieser Zeitreihen repräsentiert einen diskreten Wellenlängenbereich des Prozessleuchtens und bildet damit einen Ausschnitt des spektralen Emissionsverhaltens während des Schweißvorgangs ab.

Würden sämtliche mögliche Differenz- und Verhältnisbildungen zwischen diesen 32 Kanälen berücksichtigt, entstünden bereits 496 Differenzkanäle und 496 Verhältniszeitreihen. Insgesamt würden daraus über 1000 Zeitreihen pro Schweißung resultieren. Erfolgt zusätzlich eine Segmentierung entlang der Schweißstrategie und anschließend eine automatisierte Merkmalsextraktion, würde sich die Anzahl der zu berechnenden Merkmale weiter drastisch erhöhen. Die resultierende Merkmalsanzahl läge im sechs- bis siebenstelligen Bereich.

Ein Großteil dieser Merkmale wäre jedoch redundant, da viele der ursprünglichen spektralen Kanäle sehr stark miteinander korrelieren. Zur quantitativen Bewertung dieser Zusammenhänge

wurde daher für jede Schweißung eine Korrelationsmatrix der 32 spektralen Kanäle berechnet. Bild 2 zeigt exemplarisch vier dieser Matrizen. Es sind charakteristische Blockstrukturen erkennbar, die auf Gruppen stark korrelierender Wellenlängenbereiche hinweisen. Mehrere Kanäle liefern damit nahezu identische Signalverläufe und tragen keine zusätzlichen unabhängigen Informationsanteile bei. Auf Basis dieser Korrelationsanalyse wurde eine gezielte Vorauswahl repräsentativer spektraler Kanäle vorgenommen. Ziel war es, redundante Informationsanteile zu reduzieren und gleichzeitig unterschiedliche spektrale Bereiche abzudecken. Von den ursprünglich 32 Kanälen wurden 12 Basiskanäle für die weitere Analyse ausgewählt. Ergänzend wurden aus definierten Kanalkombinationen Differenz- und Verhältniszeitreihen gebildet, um relative Intensitätsänderungen zwischen ausgewählten spektralen Bereichen zu erfassen. Diese Relativgrößen ermöglichen eine robustere Beschreibung spektraler Verschiebungen, unabhängig von absoluten Intensitätsschwankungen. Insgesamt wurden 22 Differenz- und 22 Verhältniszeitreihen berechnet. Zusammen mit den 12 Basiskanälen gingen damit 56 Zeitreihen pro Schweißung in die weitere Analyse ein.

Die reduzierten Zeitreihen wurden anschließend gemäß den in Bild 1 dargestellten Prozessabschnitten segmentiert. Neben den einzelnen Segmenten wurde zusätzlich jeweils die vollständige Zeitreihe berücksichtigt, um sowohl lokale als auch globale Signalcharakteristika erfassen zu können. Für jede Zeitreihe und jedes Segment wurde im nächsten Schritt eine automatisierte Merkmalsextraktion mit der Bibliothek tsfresh [12] durchgeführt. Dabei wurden statistische und frequenzbasierte Kennwerte berechnet, die unterschiedliche Aspekte des Signalverlaufs beschreiben. Die extrahierten Merkmale wurden anschließend unter Berücksichtigung der jeweils betrachteten Einflussgröße statistisch selektiert. Ziel war es, diejenigen Merkmale zu identifizieren, die einen signifikanten Zusammenhang mit der untersuchten Variation aufweisen und damit zur Differenzierung im spektralen Signalraum beitragen. Da auch nach der Selektion noch lineare Abhängigkeiten zwischen einzelnen signifikanten Merkmalen bestanden, wurde zur weiteren Verdichtung eine Hauptkomponentenanalyse durchgeführt. Insgesamt ergaben sich 85 Hauptkomponenten, die 95 % der Gesamtvarianz erklären. Die anschließende Auswertung und Visualisierung erfolgte auf Basis dieser trans-

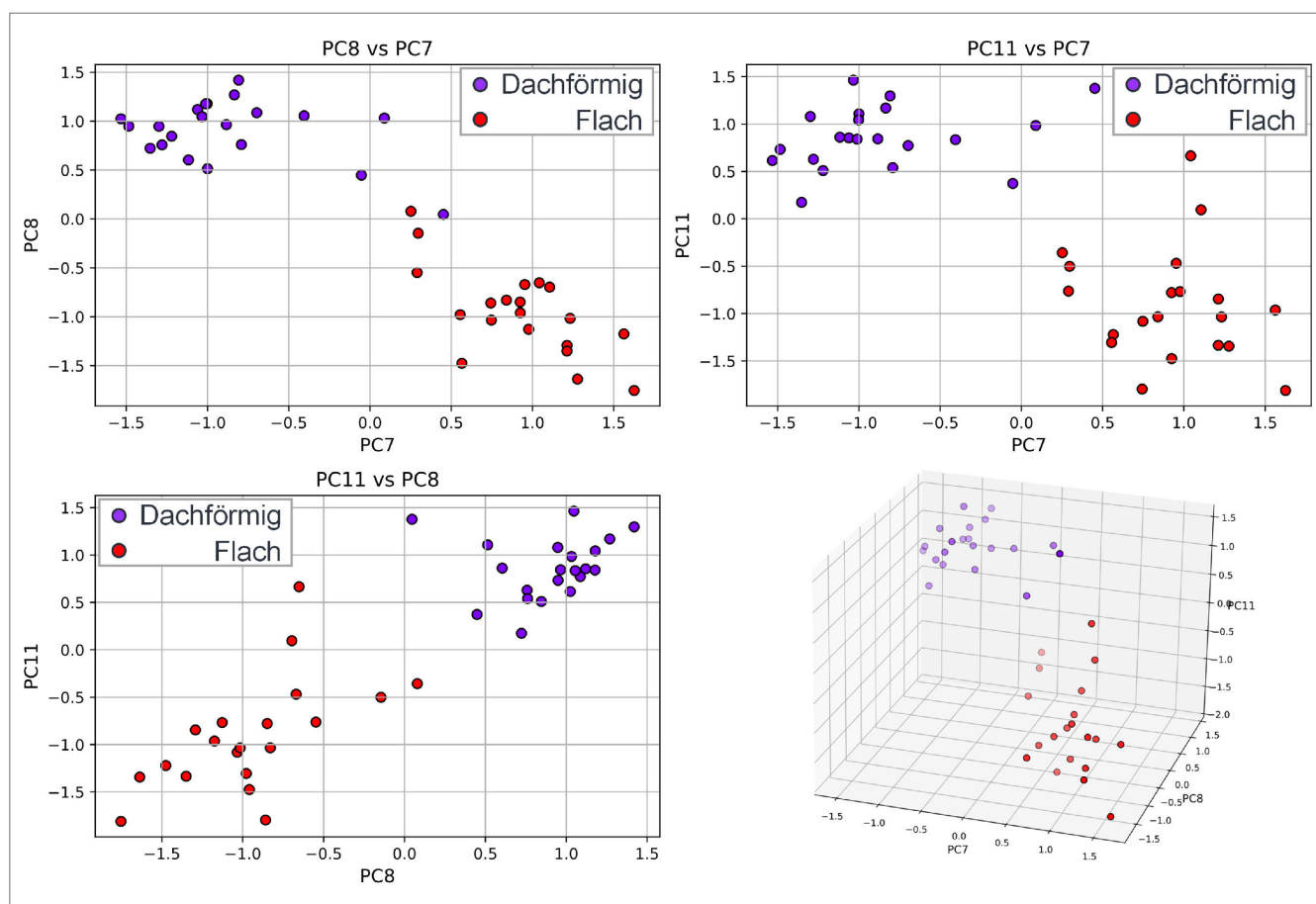


Bild 3. Zweidimensionale Projektionen (oben links, oben rechts, unten links) sowie dreidimensionale Darstellung (unten rechts) der Hauptkomponenten PC7, PC8 und PC11 für flache und dachförmige Stirnseitengeometrien. Grafik: wbk/KIT

formierten, orthogonalen Komponenten, um die Differenzierbarkeit der betrachteten Einflussgrößen systematisch zu untersuchen.

5 Ergebnisse

5.1 Einfluss der Stirnseitenform

Für die Variation der Stirnseitengeometrie wurden insgesamt zehn signifikante Hauptkomponenten (Principal Components, PC) identifiziert. Die PC sind im Rahmen der Hauptkomponentenanalyse gebildete, zueinander unkorrelierte Linearkombinationen der selektierten Merkmale und beschreiben die dominierenden Varianzrichtungen im transformierten Merkmalsraum.

Zur Visualisierung der Differenzierbarkeit sind in **Bild 3** exemplarisch drei dieser Hauptkomponenten dargestellt (PC7, PC8 und PC11), da sie eine besonders anschauliche Separation zwischen flacher und dachförmiger Stirnseite zeigen. Die Abbildung enthält drei zweidimensionale Projektionen der Komponentenpaare (oben links, oben rechts und unten links). Unten rechts ist zusätzlich eine dreidimensionale Projektion der Kombination aus PC7, PC8 und PC11 dargestellt.

In allen Darstellungen bilden sich klar unterscheidbare Bereiche im Merkmalsraum aus. Die Proben mit flacher und dachförmiger Stirnseite sind visuell deutlich voneinander separiert. Die gezeigten Komponenten sind repräsentativ für die insgesamt identifizierten signifikanten Merkmale und verdeutlichen, dass

sich die geometrische Variation der Fügestelle konsistent im spektralen Signalraum abbilden lässt.

5.2 Einfluss der Fokusslage

Für die Variation der Fokusslage wurden drei signifikante PC identifiziert. Abbildung 4 zeigt die Projektionen der Komponenten PC3, PC5 und PC7. In der Darstellung entspricht 0 mm der nominalen Fokusslage. Ein Wert von -2 mm entspricht einer Defokussierung in das Bauteil, während +2 mm eine Defokussierung oberhalb des Bauteils beschreibt. Die oberen Darstellungen zeigen zweidimensionale Projektionen der jeweiligen Komponentenpaare, unten rechts ist eine dreidimensionale Projektion dargestellt. In den zweidimensionalen Projektionen ist eine systematische Verschiebung entlang einzelner Hauptkomponenten erkennbar. Zwischen der nominalen Fokusslage und den beiden Defokussierungszuständen zeigt sich ein klarer Trend im Merkmalsraum. Die Punktwolken überlappen sich jedoch teilweise, sodass keine vollständig trennscharfe Separation vorliegt.

5.3 Einfluss des Werkstoffs

Für den Vergleich der Werkstoffe Cu-ETP und Cu-OF konnten im Rahmen der Merkmalsselektion keine signifikanten Hauptkomponenten identifiziert werden. Die extrahierten Merkmale zeigten keinen statistisch belastbaren Zusammenhang mit der Materialvariation. Eine Darstellung im transformierten Merk-

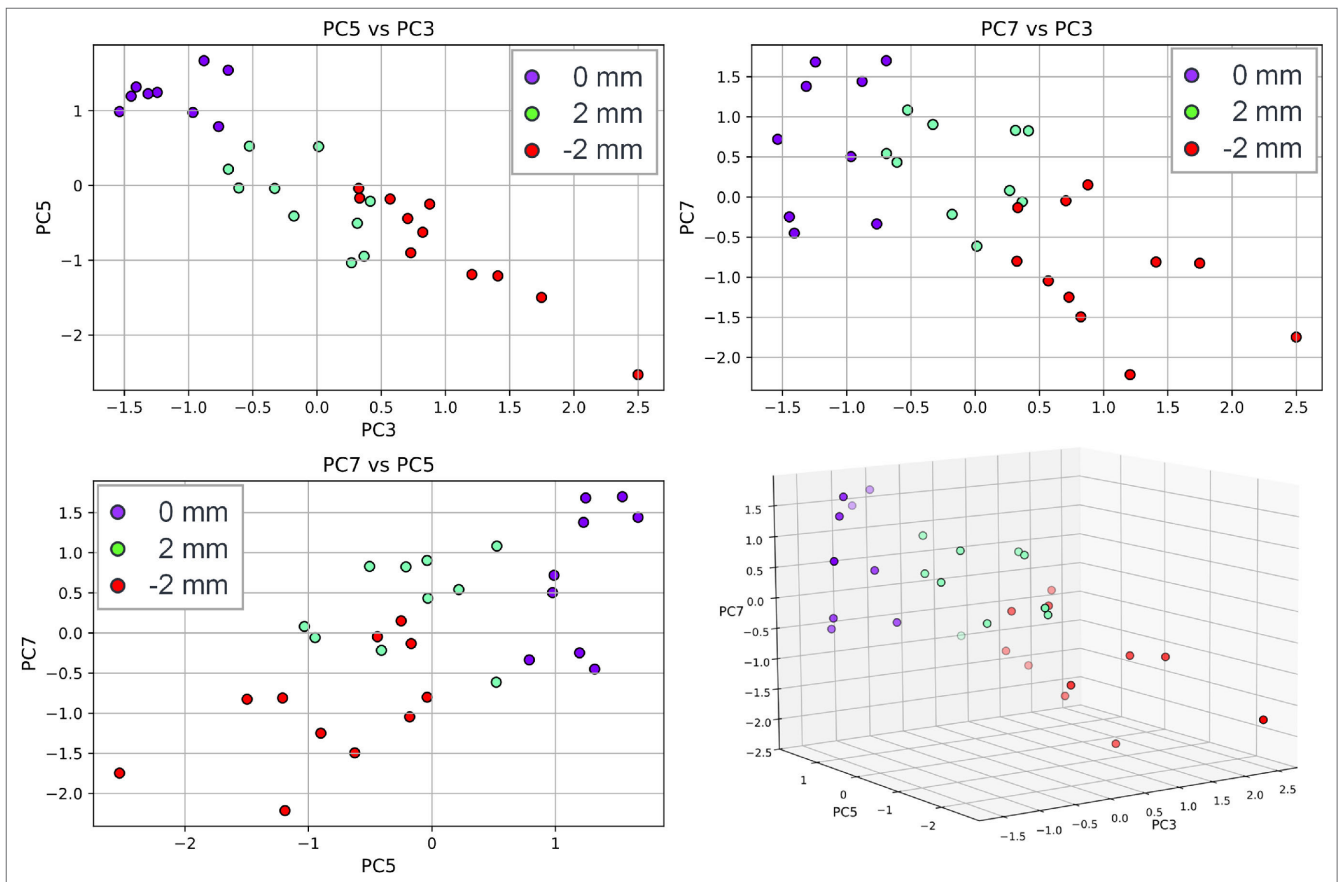


Bild 4. Zweidimensionale Projektionen (oben links, oben rechts, unten links) sowie dreidimensionale Darstellung (unten rechts) der Hauptkomponenten PC3, PC5 und PC7 für verschiedene Fokusslagen. Grafik: wbk/KIT

malsraum ergab entsprechend keine erkennbare Differenzierung zwischen den beiden Werkstoffen. Die Punktverteilungen überlappten vollständig, sodass keine systematische Separation festgestellt werden konnte. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass sich die Unterschiede zwischen Cu-ETP und Cu-OF unter den gewählten Prozessbedingungen im spektralen Prozessleuchten nicht signifikant widerspiegeln.

6 Fazit

Die vorliegende Arbeit untersucht das Informationspotenzial multispektraler Prozessleuchtsignale beim Laserschweißen von Hairpins. Ziel war es zu analysieren, ob sich definierte prozess- und bauteilseitige Einflussgrößen im spektralen Signalraum systematisch abbilden und differenzieren lassen. Die Ergebnisse zeigen, dass nicht jede Variation im spektralen Emissionsverhalten gleichermaßen erkennbar ist. Während sich für die Werkstoffvariation zwischen Cu-ETP und Cu-OF keine eindeutige Differenzierung feststellen ließ, konnte die Geometrie der Stirnseitenform im Merkmalsraum klar abgebildet werden. Die Variation der Fokusslage führte zu einer erkennbaren, jedoch nicht vollständig trennscharfen Verschiebung im Signalraum.

Damit bestätigen die Ergebnisse grundsätzlich das Potenzial hochauflösender multispektraler Sensorik für eine weiterführende Prozessanalyse über die klassische i.O./n.i.O.-Bewertung hinaus. Gleichzeitig wird deutlich, dass die Ableitung robuster und allgemeingültiger Zusammenhänge zwischen spektralen Signaturen und spezifischen Prozesszuständen weiterhin anspruchsvoll

bleibt. Diese Beobachtung steht im Einklang mit bisherigen Arbeiten, die trotz der grundsätzlichen Eignung des Prozessleuchtens auf die Herausforderungen bei der Etablierung stabiler Signal-Zustands-Korrelationen hinweisen.

Die vorgestellte Analysepipeline bietet eine strukturierte Grundlage für die Verarbeitung hochdimensionaler Sensordaten und ermöglicht eine differenzierte Betrachtung ausgewählter Einflussgrößen. Für eine industrielle Anwendung sind jedoch weiterführende Untersuchungen hinsichtlich Robustheit, Reproduzierbarkeit und Übertragbarkeit auf variierende Prozessbedingungen erforderlich.

FÖRDERHINWEIS

Die Autoren dieses Beitrags danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, der Europäischen Union und dem Projektträger VDI Technologiezentrum GmbH für die Förderung des Forschungsvorhabens „Agile Produktionssysteme und modulare Produktbaukästen für elektrische Traktionsmotoren – AgiloDrive2“ (Förderkennzeichen 13IK003H) sowie den beteiligten Partnern für die Unterstützung im Projekt.

Literatur

- [1] Gläsel, T.: Prozessketten zum Laserstrahlschweißen von flachleiterbasierten Formspulenwicklungen für automobile Traktionsantriebe. Erlangen: FAU University Press 2020
- [2] Omlor, M.: Laserstrahlschweißen von Kupferflachleitern: Methoden zur Prozessoptimierung und -überwachung. Aachen: Shaker Verlag 2024
- [3] Baader, M.; Raffin, T.; Risch, F.; Franke, J.: Quality Monitoring in Laser Welding of Rectangular Copper Wires for Traction Drives Using a Broadband Process Light Sensor. In: 2025 IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC). Houston, TX, USA: IEEE 2025, S. 1196–1203
- [4] Omlor, M.; Reith, J.; Breitbarth, A.; Hake, C. B.; Dilger, K.: Inline Process Monitoring of Hairpin Welding Using Optical and Acoustic Quality Metrics. In: 2022 12th International Electric Drives Production Conference (EDPC). o. O.: IEEE 2022, S. 1–8
- [5] Stavridis, J.; Papacharalampopoulos, A.; Stavropoulos, P.: Quality assessment in laser welding: A critical review. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 94 (2018) 5–8, S. 1825–1847
- [6] Heilmeyer, J.; Kick, M. K.; Grabmann, S.; Muschol, T.; Schlicht, F.; von Hundelshausen, F.; von Ribbeck, H.-G.; Weiss, T.; Zäh, M. F.: Inline failure detection in laser beam welding of battery cells: Acoustic and spectral emission analysis for quality monitoring. Journal of Laser Applications 36 (2024) 2, 022007
- [7] Franz, C.; Hollatz, S.; Burchwald, O.; Spurk, C.; Hummel, M.; Olowinsky, A.; Reinheimer, E.; Hagenlocher, C.; Beckmann, F.; Moosmann, J.: Multi-spectral Monitoring Data in Correlation with X-ray Videography during Laser Welding of Hairpins. In: 13th CIRP Conference on Photonic Technologies. o. O.: o. V. 2024
- [8] Brüggengjürgen, J.; Spurk, C.; Hummel, M.; Franz, C.; Häusler, A.; Olowinsky, A.; Beckmann, F.; Moosmann, J.: Analyzing multispectral emission and synchrotron data to evaluate the quality of laser welds on copper. Journal of Laser Applications 36 (2024) 3, 032032
- [9] Omlor, M.; Reith, J.; Steffen, F.; Schwarz, J.; Dilger, K.: Inline quality assurance of hairpin welding using a machine learning approach based on photodiode signals and images. Journal of Laser Applications 37 (2025) 3, 032022
- [10] Grabmann, S.; Harst, F.; Bernauer, C.; Weiss, T.; Zäh, M. F.: Analysis of photodiode signals for monitoring the laser beam welding process of cell-internal contacts in lithium-ion batteries. Optics & Laser Technology 175 (2024), 110730
- [11] Merz, D.; Gerlitz, E.; Kaiser, J.-P.; Fleischer, J.: Anomalieerkennung bei der Li-Ionen-Zellkontaktierung: Innovative Anomalieerkennung im Laserschweißen: Eine Pipeline basierend auf der Analyse von Strahlungsemissionen und maschinellem Lernen. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 118 (2023) 11, S. 790–794
- [12] Christ, M.; Braun, N.; Neuffer, J.; Kempa-Liehr, A. W.: Time Series Feature Extraction on basis of Scalable Hypothesis tests (tsfresh – A Python package). Neurocomputing 307 (2018), S. 72–77

David Merz, M.Sc. Sebastian Schabel, M.Sc. Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer 

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
wbk Institut für Produktionstechnik
Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe
www.wbk.kit.edu

LIZENZ



Dieser Fachaufsatz steht unter der Lizenz Creative Commons
Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)