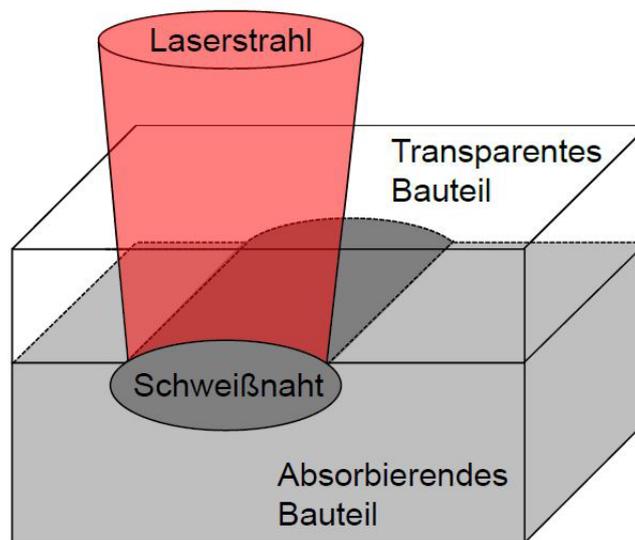




Theresa Arndt, M.Sc.

Entwicklung von Scale Up-Regeln für das quasisimultane Laserdurchstrahlschweißen von Thermoplasten

Am Ende der Wertschöpfungskette stellt das Fügen verschiedener Komponenten einen zentralen Punkt zur Umsetzung einzelner Kunststoffbauteile dar. Dabei ermöglichen Kunststoffschweißverfahren eine mediendichte Verbindung bei gleichzeitig geringen Produktionskosten und Zykluszeiten. Eines dieser Verfahren stellt das Laserdurchstrahlschweißen dar, wobei ein lasertransparentes und ein -absorbierendes Bauteil unter Druck in Kontakt miteinander stehen. Während ein Laserstrahl das transparente Bauteil mit einem geringen Energieverlust passiert, wird die Energie des Lasers im absorbierenden Bauteil in Wärme umgesetzt. Aufgrund des Kontaktes in der Fügezone wird das transparente Bauteil durch Wärmeleitung erwärmt und die Schweißnaht gebildet.



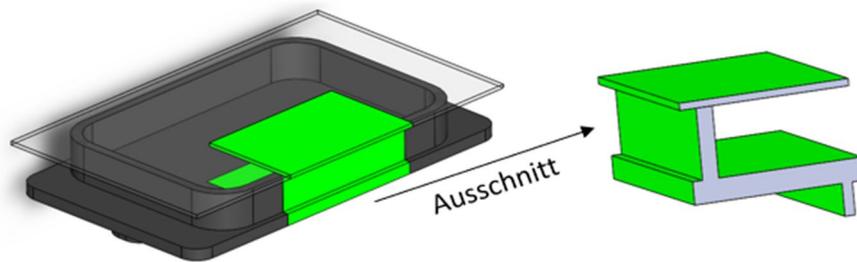
Prinzipielle Darstellung des Laserdurchstrahlschweißens

Bisherige wissenschaftliche Untersuchungen zu diesem Schweißverfahren zielen hauptsächlich auf kleine Schweißnähte ab. Hier kann die Korrelation zwischen den einzelnen Prozessparametern der Schweißnahttemperatur und den mechanischen Eigenschaften der Schweißnaht bislang gut charakterisiert werden. Die Prozessparameter werden dabei anhand der Streckenenergie beschrieben. Diese wissenschaftlichen Untersuchungen können jedoch nur beim Konturschweißen angewandt werden, da bekanntlich beim Quasisimultan- (QSS) und Simultanschweißen weitere Einflussgrößen wirken. Aufgrund des simultanen Aufschmelzvorgangs entsteht in der kompletten Fügezone ein Quetschfluss. Der dadurch

einhergehende Energieverlust wird in der Streckenenergie nicht berücksichtigt und diese verliert somit ihre Aussagekraft. Zusätzlich wird das Schweißergebnis erheblich durch weitere Einflüsse wie die Laserbahnlänge und -breite beeinflusst. Da diese Einflüsse noch nicht ausreichend untersucht wurden, ist eine Übertragung der Ergebnisse von kleinen Schweißnähten auf komplexe Bauteile nicht möglich.

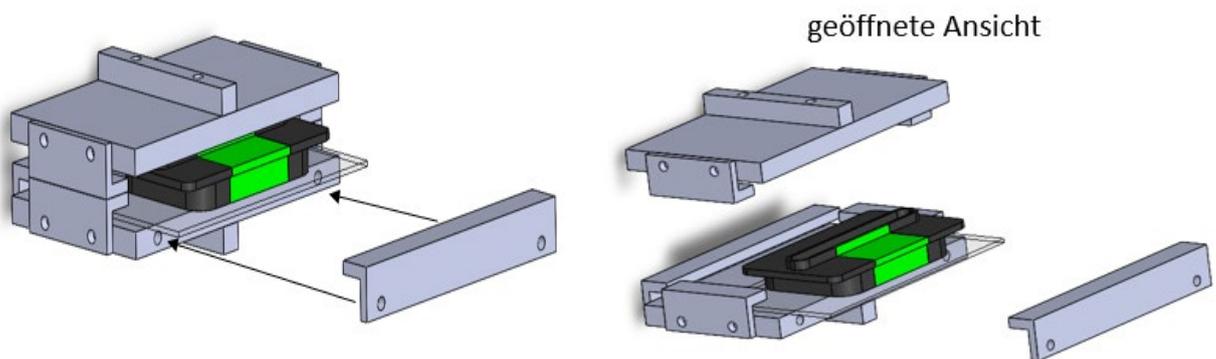
Ziel dieses Forschungsprojektes sind Scale Up-Regeln für das quasisimultane Laserdurchstrahlschweißen von Thermoplasten, die es ermöglichen, optimale Prozessparameter durch einfache Labortests auf Realbauteile zu übertragen. Es wurden zwei unterschiedliche Bauteilgeometrien gewählt, um ein Up- und Down- Scale zu ermöglichen und dafür entsprechende Regeln aufstellen zu können. Diese weisen jeweils eine geschlossene Kontur auf, welche zum Aufschweißen einer jeweiligen Platte als Deckel gedacht ist. Zurzeit müssen die Prozessparameter für jedes neue Bauteil individuell bestimmt werden. Um die dabei entstehenden Übertragungsprobleme zu verhindern, findet dies auf den Produktionsanlagen statt, während die Produktion unterbrochen wird und hohe Kosten entstehen. Eine direkte Übertragung der optimalen Prozessparameter aus Laboruntersuchungen würde somit zahlreiche Vorteile (Kosten- und Zeiteinsparung) mit sich bringen und gleichzeitig den Einsatz des quasisimultanen Laserdurchstrahlschweißens in einem größerem Anwendungsspektrum ermöglichen.

Um diese hohen Prozesskosten für die Bestimmung der optimalen Prozessparameter zu verhindern, wurde zunächst ein FEM-Modell eines Teilstückes der größeren Bauteilgeometrie erstellt. Der verwendete Ausschnitt wird in der folgenden Abbildung dargestellt. Anhand von Materialkennwerten ist eine exakte Analyse des Verhaltens während des Schweißprozesses, aber auch beim Zugversuch möglich. Die Kennwerte, für die verschiedenen Materialien beim Schweißvorgang, bestehend aus der Dichte, der Leitfähigkeit, der spezifischen Wärmekapazität und der latenten Wärme wurden anhand von Untersuchungen ermittelt. Der E-Modul und die Poissonzahl für den Zugversuch wurden den jeweiligen Materialdatenblättern entnommen und mit den anderen Kennwerten in das Simulationsprogramm eingepflegt. Die Simulation ermöglicht die Untersuchung der Temperaturentwicklung in der Schweißnaht sowie das Fließen des Materials und simuliert weiterhin den folgenden Zugversuch zur Ermittlung der Schweißnahtfestigkeit. Da beim Laserdurchstrahlschweißen lasertransparente und -absorbierende Materialien zwingend erforderlich sind, werden die Probekörper aus den schwarz eingefärbten und damit laserabsorbierenden Materialien Polybutylenterephthalat mit einem Glasfaseranteil von 20 % (PBT GF20) und Polycarbonat-Acrylnitril-Butadien-Styrol (PC/ABS) gefertigt. Die als Deckel aufgeschweißten Platten werden aus den lasertransparenten Materialien Polybutylenterephthalat ebenfalls mit einem Glasfaseranteil von 20 % (PBT GF20 LUX), Polymethylmethacrylat (PMMA) und Polycarbonat (PC) hergestellt.



Darstellung des Ausschnitts der großen Bauteilgeometrie für das thermo-mechanische FEM-Modell

Zur Validierung der Ergebnisse aus der Simulation wird sowohl der Schweißprozess als auch der Zugversuch parallel experimentell durchgeführt. Dazu wurden zunächst Bauteile mithilfe einer speziellen Spannvorrichtung in einem nicht gepulsten Lasersystem verschweißt und in der nachfolgenden Zugvorrichtung gezogen.



Darstellung der Zugvorrichtung für den großen Probekörper

Die Ergebnisse aus den Teiluntersuchungen werden miteinander verglichen und die Prüfvorrichtungen optimiert, um vergleichbare Werte zu erhalten. Die experimentellen und simulativen Ergebnisse werden hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften der Schweißnaht (Schweißnahtfestigkeit) für unterschiedliche Schweißnahtgeometrien und Prozessparametereinstellungen untersucht. Die Analyse wird unter Berücksichtigung der Parametereinflüsse wie Schweißnahtlänge, -breite und Laserauftreffwinkel auf die Schweißnahttemperaturen durchgeführt. Die Anpassung der Streckenenergie für die Geometrieigenschaften Länge (L), Breite (B) und Winkel (φ) der Schweißnaht wird in mithilfe der folgenden Gleichung berücksichtigt.

$$\frac{E_s}{E_{s,0}} = \left(\frac{L}{L_0}\right)^{\alpha_1}; \quad \frac{E_s}{E_{s,0}} = \left(\frac{B}{B_0}\right)^{\alpha_2}; \quad \frac{E_s}{E_{s,0}} = \left(\frac{\varphi}{\varphi_0}\right)^{\alpha_3}$$

Es werden dimensionslose Scale Up-Exponenten bestimmt, mit denen eine Übertragung der Ergebnisse von kleinen Schweißnähten auf komplexe Bauteile ermöglicht und der Einsatz des quasisimultanen Laserdurchstrahlschweißens vereinfacht wird.

Danksagung

Wir danken der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) (IGF-Nr. 20335 N) für die finanzielle Förderung der Arbeiten, die aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) erfolgt. Zudem bedanken wir uns für die Unterstützung der Unternehmen aus dem projektbegleitenden Ausschuss.