Leitidee Ökologie als Nachhaltigkeitsdimension in Lernprozessen für zukünftige Fachkräfte in der Kunststofftechnik – Beispielhafte Lern- und Arbeitsaufgabe zur Wahl von Fertigungsparametern mit einem Augmented Reality Lernsystem

Marvin Goppold[1], Simon Kreischer[1], Maren Klatt[1], Lukas Dunsche[2], Tobias Döhring[2], Sven Tackenberg[3], Martin Frenz[1], Verena Nitsch[1]

[1]Institut für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen University, Eilfschornsteinstr. 18, 52062 Aachen

[2]Institut für Kunststoffwirtschaft, Johannes-Schuchen-Straße 4, 32657 Lemgo

[3]Labor für Industrial Engineering der Technischen Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Campusallee 12, 32657 Lemgo

Augmented Reality bietet Chancen zur lernwirksamen Nutzung in Lernprozessen der dualen Ausbildung. Die Virtualisierung von simulierten Fehlerfolgen aus Handlungsfehlern erweitert betriebliche Arbeitsprozesse der Kunststofftechnik um eine augmentierte Dimension. Üblicherweise durch Ausbildungspersonal verhinderte Fehlerkonsequenzen lassen sich damit in Lernprozessen nutzen. Der Beitrag zeigt, wie Zielkonflikte didaktischer Leitideen z.B. der Nachhaltigkeit auf Grundlage von Arbeitsanalysen einer Füllstudie beim Spritzgießen für die Ableitung von Zielstellungen und Gestaltung eines betrieblichen Ausbildungsprozesses genutzt werden. Beispielhaft werden die Zielkonflikte anhand der Kühlzeit im Produktionsprozess beschrieben. Darauf aufbauend wird eine konkrete Zielstellung des Lernprozesses diskutiert. Das didaktische Konzept eignet sich sehr gut zur Förderung reflektierte Handlungskompetenz. Es eignet sich zur Fehlerdarstellung in Augmented Reality in betrieblichen Lernprozessen. Ein Transfer auf andere technische Ausbildungsbereiche mit deren Zielkonflikten ist möglich.

1. Einleitung

1.1 Motivation

Fehler ereignen sich wie in fast allen Bereichen des Lebens auch in der Arbeit. In der betrieblichen Ausbildung stellen Fehler gute Lerngelegenheiten für Auszubildende dar, um reale Auswirkungen einer falschen Parameterauswahl beim Spritzgießen zu erleben. Gutes Ausbildungspersonal unterbindet allerdings die Auswahl kritischer Parameter, wenn gefährliche Folgen für Gesundheit, Wirtschaftlichkeit oder Umwelt drohen.

Lernmedien nutzen Augmented Reality (AR) zur Ergänzung des Lernprozesses um eine virtuelle Dimension. Durch eine Erweiterung des realen Arbeitsprozesses um eine virtuelle Dimension kann es möglich werden, folgenschwere Fehler zu Lernzwecken in einer simulierten augmentierten Realität aufzuzeigen, vgl. Abbildung 1.

Abbildung 1: Augmented Reality Lernmedium im Einsatz bei Parametereingaben an einer Spritzgießmaschine

Dieser Beitrag zeigt einen Ausschnitt der didaktischen Konzeption im Rahmen einer so motivierten Lernmedienentwicklung [1] und geht spezifisch auf den Arbeitsprozess des Spritzgießens ein, wobei ein konkreter Parameter vor den didaktischen Vorgaben diskutiert wird und daraus Lernziele abgleitet werden.

2. Didaktische Konzeption

2.1 Zielgruppe

Die Verwendung des Lernmediums ist primär für die betriebliche Ausbildung von Verfahrensmechaniker/innen für Kunststoff- und Kautschuktechnik als anerkannter Ausbildungsberuf vorgesehen [2], welche Arbeitstätigkeiten mit und an Spritzgießmaschinen ausführen [3]. Der Einsatz des Lernmediums wird für die betriebliche Ausbildung konzipiert.

2.2 Didaktische Leitideen

Angelehnt an den gestaltungsorientierten Didaktikansatz wird Technik als Teil der Gesellschaft und damit Bestanteil kultureller Auseinandersetzungen und Leitideen verstanden [4]. Deshalb müssen Auszubildende befähigt werden, Technik und damit verbunden ihre Arbeit mitzugestalten. Dies ist mit Motivation zur Gestaltung, Verantwortungsbewusstsein und fachlicher Befähigung als Teile beruflicher Handlungskompetenz verbunden [5]. Dabei stehen Auszubildende immer Zielen gegenüber, welche berücksichtigt werden sollen und zu Konflikten führen, sodass eine Lösung gefunden werden muss.

In der Veröffentlichung wird nur auf eine Auswahl an Zielen Bezug genommen. Bekannte Leitideen mit ihren Unterdimensionen, die Zielkonflikte im Produktionskontext darstellen, sind die Trilemmata des Projektmanagements [6] und der Nachhaltigkeit [7].

Ökonomie im Nachhaltigkeitsdreieck lässt sich demnach nochmals in Zeit, Kosten und Qualität unterteilen. Qualität wird typischerweise im Rahmen von Standards definiert [8]. Die verlässliche Erfüllung schwer zu erreichender Qualitätsdefinitionen stellt einen zentralen Wettbewerbsvorteil des Standortes Deutschland dar [9], weshalb diese Zielstellung besonders berücksichtigt werden sollte.

Fachkräfte haben einen erheblichen Einfluss auf die Qualität durch die Wahl der Verfahrensparameter im Fertigungsprozess. Deshalb ist dies ein wichtiger Bestandteil der Ausbildung [3]. Viele Stakeholder besitzen ein generelles Interesse an hoher Qualität, aber zeitgleich nehmen weitere Zielstellungen einen hohen Stellenwert ein.

Dies lässt sich an der gesellschaftlichen Tendenz zu nachhaltigerem Handeln hinsichtlich ökologischer Auswirkungen feststellen, was beispielsweise zu einer Förderung von energieeffizienten Fertigungsprozessen in der Kunststoffindustrie führt [10, p. 6]. Dies dient dem langfristigen Schutz der Umwelt und ist Bestandteil des Ausbildungsberufsbildes der Zielgruppe [3]. Die Befähigung zur Übernahme von ökologischer Verantwortung [11] bildet ein weiteres Bildungsziel der betrachteten dualen Ausbildung ab.

2.3 Didaktische Konzeption des Lernprozesses

Die Entwicklung von Handlungskompetenz stellt ein zentrales Anliegen in der beruflichen Bildung und somit auch in der entwickelten Lern- und Arbeitsaufgabe dar [12]. Um die intendierten Zielvorstellungen vor diesem Hintergrund umzusetzen, bedarf es einer genauen Organisation von Lernprozessen und der Gestaltung von Rahmenbedingungen, in denen Lernen stattfinden kann [13]. Als Basis der entwickelten Lern- und Arbeitsaufgabe dient das Hamburger-Lehr-Lern Modell [13]. Ferner ist der Lernprozess auf Grund der Lernförderlichkeit von Handlungsfehlern [14, 15] geprägt durch einen offenen und konstruktiven Umgang mit Fehlern.

Das Ziel der Lern- und Arbeitsaufgabe besteht darin, vor der Leitidee der Nachhaltigkeit und Ökonomie einen Zielkonflikt zu lösen: Es muss ein Lernprozess gestaltet werden, in welchem gleichzeitig die Nachhaltigkeit sowie Qualität der Teile, Zeitaufwand und Kosten im Fokus stehen. Ein solcher Konflikt ist besonders lernwirksam, da dieser erfordert, dass sich die Auszubildenden bei jeder Entscheidung bewusstmachen müssen, welche Auswirkungen diese auf die unterschiedlichen Arbeitshandlungen besitzt. Schließlich müssen die Auszubildenden die Auswirkungen gegeneinander abwägen und innerhalb diesen Zielkonflikts eine Entscheidung treffen.

Durch die Nutzung von AR-Technologie können die Auszubildenden während des Lern- und Arbeitsprozesses Erfahrungen anhand von Fehlern machen, ohne dass das Ausbildungspersonal eingreift. Kostenintensive oder gefährliche Fehlerkonsequenzen werden dabei visualisiert. Dies wird dadurch ermöglicht, dass das AR-System über verschiedene Schnittstellen und Sensoren verfügt und somit die Handlungen der Auszubildenden erfassen, bei der Detektion von folgenschweren Fehlern die Maschine stoppt und die Fehlerkonsequenzen in AR darbietet. Fahren Auszubildende beispielsweise das Werkzeug in der Spritzgießmaschine zusammen, ohne vorher die Auswerfstifte einzufahren, können diese einen kostenintensiven Schaden erzeugen. In diesem Fall erkennt das AR-System die Fehlhandlung, stoppt die reale Maschine und zeigt eine Visualisierung von den abgebrochenen Auswerferstiften. Auszubildende können somit einen Fehler begehen und die Fehlerkonsequenzen erleben, ohne dass dabei reale und kostenintensive Konsequenzen entstehen.

Zusätzlich werden die erfassten Daten für das an die Durchführung anschließende Reflexionsgespräch automatisch aufbereitet. Anhand dieser Daten kann das Ausbildungspersonal im Reflexionsgespräch exakt nachvollziehen, welche Handlungen die Auszubildenden vorgenommen haben. Dies bietet die Möglichkeit individuell auf Fehlhandlungen einzugehen und diese mit den Auszubildenden aufzuarbeiten. Hierbei sollen die Auszubildenden nicht nur darin unterstützt werden, die vielfältigen Interdependenzen der Fertigungsparameter zu verstehen. Bei dieser Reflexion wird im Sinne der Leitideen insbesondere auf die Auswirkungen der Parametereinstellungen auf ökologische und ökonomische Faktoren eingegangen.

Dafür wird es notwendig, sich mit den Arbeitsprozessen beim Spritzgießen im Detail auseinanderzusetzen, um eine lernwirksame Lern- und Arbeitsaufgabe zu gestalten. Darauf aufbauend müssen Zielkonflikte im Arbeitsprozess ermittelt und konkretisiert werden, um die didaktischen Leitideen mit dem Arbeitsprozess zu verknüpfen und konkrete Lernziele formulieren zu können.

3. Analyse eines Arbeitsprozesses

Im Rahmen von Fallerhebungen [16] hat sich in Rücksprache mit Ausbildungspersonal der Arbeitsprozess Füllstudie als potentiell geeignet ergeben. Füllstudien sind Bestandteil der Tätigkeiten von Fachkräften bei der Fertigung von Kunststoffspritzteilen. Dabei werden experimentell Grundeinstellungen von Prozessgrößen bei der Nutzung eines Werkzeugs zur Herstellung eines Spritzteils mit dem Fertigungsverfahren Spritzgießen ermittelt [10].

3.1 Ablauf der Analyse

Der Arbeitsprozess „Füllstudie an einer Spritzgießmaschine“ zeichnet sich durch eine beobachtbare ausführende Handlung aus, welche jedoch viele analysierende

und planende Teilhandlungen benötigt. Der Arbeitsprozess wird zunächst mittels Arbeitsanalysen erhoben und aufbereitet [16]. Daraus ergeben sich Informationen und Anforderungen für die konkrete Lern- und Arbeitsaufgabe, die technische Konzeption des Lernmediums sowie zu Teilhandlungen des Lern- und Arbeitsprozesses. Durch vergleichende Analyse der empirischen Erhebungen mit einer literaturbasierten Füllstudienbeschreibung [10] können die notwendigen Arbeitsschritte und damit verbundenen Prozessgrößen identifiziert werden.

3.2 Parameteridentifikation

Aus der Arbeitsprozessanalyse geht hervor, dass zuerst allgemeine Maschinengrundeinstellungen vorgenommen werden. Anschließend erfolgt die experimentelle Bestimmung weiterer verfahrensbezogener Parameter. Zwischen den Parametern kommen Abhängigkeiten vor, die berücksichtigt werden müssen. Insgesamt müssen 20 in den einzelnen Arbeitshandlungen einzustellende Parameter bestimmt werden, welche nach einer erfolgreichen Füllstudie hinsichtlich der Zielstellungen weiter optimiert werden können [17]. Wie empirische Studien [18] bei einem Transfer auf die Facharbeit zeigen, sind dabei nicht triviale Interdependenzen der Parameter zu berücksichtigen, um Anforderungen an den Arbeitsprozess sowie dessen Ergebnis zu gewährleisten.

Ein Dilemma hinsichtlich der in Kapitel 2 beschriebenen Zieldimensionen Qualität und Ökologie kann bei der Wahl verschiedener Parameter beobachtet werden. Dazu wird zunächst keine weiteren Zieldimensionen betrachtet, um die Komplexität der Beispieldarstellung gering zu halten und im folgenden Unterkapitel ein Beispiel erläutert.

3.3 Ableitung eines Zielkonflikts

Als ausgewählter Parameter dient die Kühlzeit, welche die Zeitspanne von der Abkühlung bis zur Erreichung von ausreichend Formstabilität des Spritzteils umfasst [17]. Ein Fehler bezogen auf die Qualität des Spritzteils kann durch äußere Belastungen wie Auswerferstifte oder Stöße beim Entformvorgang entstehen, wenn die erforderliche Kühlzeit unterschritten wird, was materialwissenschaftlich durch temperaturabhängige Größen wie die Zugfestigkeit [19] oder der Schubmodul erklärbar ist [20]. Fehlerfolgen durch dauerhafte Verformungen des Spritzteils bedeuten Produktionsausschuss, was negativen Einfluss auf alle Zielstellungen hat.

Aus ökologischer Perspektive ist die Kühlzeit eng mit dem Energiebedarf des Produktionsprozesses verbunden [21, 22]. Dies bedeutet, dass der Energiebedarf mit der Länge der Kühlzeit ansteigt, da u.a. statische Kräfte auf das Werkzeug aufgebracht werden müssen und sich die Gesamtzykluszeit der laufenden Maschinen verlängert. Dabei wird mit längerer Kühlzeit auch kumuliert mehr Leerlaufleistung benötigt, die nicht wertschöpfend umgesetzt werden kann, sodass hier die ökologische Bilanz verschlechtert wird.

Es gilt beim beschriebenen Dilemma, ein Optimum zwischen zu kurzer und zu langer Kühlzeit als Kompromiss aus Ökologie und Qualität im Arbeitsprozess sowie bezogen auf das Handlungsergebnis zu finden. Die bereits eingeführte Zeitdimension ist aus wirtschaftlicher Hinsicht von großer Bedeutung, da die ausbringbare Stückzahl mit einer längeren Kühlzeit sinkt. Dies ist eine wichtige wirtschaftliche Kenngröße, welche der Qualitätsdimension entgegensteht.

4. Didaktische Diskussion

Der dargelegte Parameter Kühlzeit im Arbeitsprozess Füllstudie an einer Spritzgießmaschine ist sehr gut geeignet, um im Lernprozess verschiedene Kompetenzen zu fördern. Der Parameter eignet sich besonders, um die folgende Beschreibung als Erkenntnisziel in den Lernprozess einzubinden.

Zur Ermittlung der erforderlichen Kühlzeit vor dem Hintergrund der genannten Leitideen, sollen die Auszubildenden von den Möglichkeiten der Simulationstechnik [10] Gebrauch machen. Liegen keine Lösungen aus Simulationen vor, besteht die Möglichkeit, Näherungsformeln basierend auf den geometrischen Voraussetzungen oder Diagramme zur Ermittlung der Kühlzeit genutzt zu nutzen [17]. Mathematische Problembeschreibungen verdeutlichen, dass das Zusammenwirken verschiedener Parameter, aber auch, dass deren jeweiliger Einfluss auf die Kühlzeit sehr genau beschrieben werden kann. Unter der Annahme mittlerer Masse-, Werkzeug- und Entformungstemperaturen kann die erforderliche Kühlzeit auch grafisch als Funktion der Wandstärke dargestellt werden [17].

Die Auszubildenden lernen durch den Zielkonflikt in einer entsprechenden Lern- und Arbeitsaufgabe insbesondere, dass die einzelnen Parameter unterschiedliche Anforderungen an den Fertigungsprozess stellen: Während sich zu kurze Kühlzeiten negativ auf die Qualität der Spritzteile auswirken können, sind zu lange Kühlzeiten aus Gründen der ökologischen Nachhaltigkeit zu vermeiden. Eine zu lang eingestellte Kühlzeit ist im Vergleich zu einer zu kurzen Kühlzeit weniger problematisch für den Anfahrvorgang [23], sollte jedoch mit Blick auf die didaktische Leitidee der ökologischen Nachhaltigkeit vermieden werden. Da die Kühlzeit unter Verwendung von Formeln lediglich näherungsweise ermittelt wird, ist diese im Rahmen der Füllstudie bei Bedarf anzupassen [10]. Die Fachkraft muss aufgrund dieser gegenläufigen Beziehung einen geeigneten Wert ermitteln, der beide Aspekte berücksichtigt.

Die univariate Betrachtung eines isolierten Parameters im komplexen Zusammenhang eines Fertigungsverfahrens mit nichtlinearen Parameterabhängigkeiten kann nur als Beispiel und Ausgangslage oder Reflexionsaufgabe für die zu durchlaufenden Lernprozesse in der betrieblichen Ausbildung dienen. Die dabei erlangten Erkenntnisse müssen im Verlauf der Ausbildung fortlau-

fend erweitert und hinterfragt werden, um ein die Realität abbildendes Verständnis vom Fertigungsprozess Spritzgießen zu erlangen.

5. Fazit

Ein offener und konstruktiver Umgang mit Fehlern und Fehlentscheidungen eignet sich vor allem dann, wenn man sich in Dilemma-Situationen befindet, in welchem mehrere Ziele verfolgt werden sollen, die im Konflikt zueinanderstehen. Gerade noch unerfahrene Auszubildende können im Rahmen einer Füllstudie im Fertigungsverfahren Spritzgießen durch das AR-System neue Erfahrungen machen. Das dargelegte Lernkonzept eignet sich, um Verfahrensgrößen verantwortlich zu wählen, ohne dabei einzelne Zieldimensionen unbewusst zu vernachlässigen. Dies ist verkürzt an der Beispielgröße Kühlzeit hinsichtlich ökonomischer und ökologischer Ziele dargelegt worden. Aufgrund der Adressierung von Zielkonflikten ist ein Transfer auf weitere technische Ausbildungsbereiche mit vielfältigen Zieldimensionen denkbar, die auch weniger komplex ausfallen, als die Parameterabhängigkeiten im Spritzgießen. Das vorgestellte Beispiel eignet sich auch sehr gut, um Zielkonflikte der Nachhaltigkeit auf verschiedenen gesellschaftlichen Ebenen zu adressieren und eine reflektierte Handlungskompetenz in der Ausbildungsphase zu fördern, etwa an weiteren Lernorten wie Berufskollegs.

Danksagung

Der Beitrag entstammt dem Projekt „FeDiNAR – Fehler didaktisch nutzbar machen mit AR“. Es wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Fachprogramms „Digitale Medien in der beruflichen Bildung“ gefördert und vom DLR Projektträger unter den FKZ 01PV18005A betreut.

Literaturverzeichnis

[1] A. Atanasyan, D. Kobelt, M. Goppold, T. Cichon, and M. Schluse, “The FeDiNAR Project: Using Augmented Reality to Turn Mistakes into Learning Opportunities,” in *Springer Series on Cultural Computing, Augmented Reality in Education: A New Technology for Teaching and Learning*, V. Geroimenko, Ed.: Springer, 2020, pp. 71–86.

[2] Bundesinstitut für Berufsbildung, “Bekanntmachung des Verzeichnisses der anerkannten Ausbildungsberufe und des Verzeichnisses der zuständigen Stellen nach § 90 Absatz 3 Nummer 3 des Berufsbildungsgesetzes (BBiG) vom 23. März 2005 (BGBl. I S. 931),” Bundesinstitut für Berufsbildung, 2020.

[3] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, “Verordnung über die Berufsausbildung zum Verfahrensmechanikern für Kunststoff- und Kautschuktechnik und zur Verfahrensmechanikerin für Kunststoff- und Kautschuktechnik: KStoffVerfMAusbV 2012,” *Bundesgesetzblatt I*, vol. 64, no. 23, pp. 1168–1200, 2012.

[4] F. Rauner, “Zur Konstitution einer neuen Bildungsidee: "Befähigung zur Technikgestaltung",” in *Forschungsreihe des Forschungsschwerpunkts "Arbeit und Bildung"*, vol. 6, *Ende der Aufklärung?: Zur Aktualität einer Theorie der Bildung*, R. Drechsel, Ed., Bremen: Univ, 1987, pp. 266–297.

[5] R. Bader, “Entwicklung beruflicher Handlungskompetenz durch Verstehen: Ein Beitrag zum systemtheoretischen Ansatz in der Technikdidaktik,” *Die berufsbildende Schule*, vol. 43, 7-8, pp. 441–458, 1991.

[6] R. Atkinson, “Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria,” *International Journal of Project Management*, vol. 17, no. 6, pp. 337–342, 1999.

[7] Deutscher Bundestag, “Abschlußbericht der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt - Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung": Konzept Nachhaltigkeit Vom Leitbild zur Umsetzung,” Drucksache 13/11200, Bonn, 1998.

[8] *Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe*, DIN EN ISO 9000, DIN e.V., Berlin, 2015.

[9] F. Johannaber and W. Michaeli, *Handbuch Spritzgießen*. München: Carl Hanser Verlag, 2004.

[10] A. Schötz, *Abmusterung von Spritzgießwerkzeugen: Strukturierte und analytische Vorgehensweise,* 3rd ed. München: Hanser, 2019.

[11] Kultusministerkonferenz, “Rahmenvereinbarung über die Berufsschule: Beschluss-Nr. 323,” Berlin, 2019.

[12] Kultusministerkonferenz, “Verfahrensmechaniker für Kunststoff- und Kautschuktechnik/ Verfahrensmechanikerin für Kunststoff- und Kautschuktechnik,” Kultusministerkonferenz, Mar. 2012.

[13] P. T. Tramm and N. Naeve, “Auf dem Weg zum selbstorganisierten Lernen – Die systematische Förderung der Selbstorganisationsfähigkeit über die curriculare Gestaltung komplexer Lehr-Lern-Arrangements,” *bwp@*, no. 13, 2007.

[14] A. A. Cattaneo and E. Boldrini, “Learning from errors in dual vocational education: video-enhanced instructional strategies,” *Journal of Workplace Learning*, vol. 29, no. 5, pp. 357–373, 2017, doi: 10.1108/JWL-01-2017-0006.

[15] J. Bauer and R. H. Mulder, “Modelling learning from errors in daily work,” *Learn Health Soc Care*, vol. 6, no. 3, pp. 121–133, 2007, doi: 10.1111/j.1473-6861.2007.00150.x.

[16] M. Goppold, L. Nobis, M. Frenz, and V. Nitsch, “Erhebung und Modellierung von Arbeitsprozessen in der metall- und elektrotechnischen Ausbildung als Basis einer didaktischen Konzeption „Lernen mit Fehlern in einer AR angereicherten Lernumgebung“,” in *Digitaler Wandel, digitale Arbeit, digitaler Mensch?*, Berlin, 2020, B.17.1.

[17] Demag Plastics Group, *Spritzgießen - kurz und bündig,* 5th ed. Schwaig: Demag Ergotech GmbH, 2004.

[18] R. Schiffers, K. Morik, A. S. Struchtrup, P.-J. Honysz, and J. Wortberg, “Anomaly detection in injection molding process data based on unsupervised learning,” *Zeitschrift Kunststofftechnik/Journal of Plastics Technology*, vol. 2018, no. 1, pp. 301–347, 2018, doi: 10.3139/O999.02052018.

[19] C. Bonten, *Kunststofftechnik: Einführung und Grundlagen,* 3rd ed., 2020.

[20] E. Baur, G. Harsch, and M. Moneke, *Werkstoff-Führer Kunststoffe: Eigenschaften - Prüfungen - Kennwerte,* 11th ed., 2019.

[21] I. Meekers, P. Refalo, and A. Rochman, “Analysis of Process Parameters affecting Energy Consumption in Plastic Injection Moulding,” *Procedia CIRP*, vol. 69, pp. 342–347, 2018, doi: 10.1016/j.procir.2017.11.042.

[22] J. B. Tranter, P. Refalo, and A. Rochman, “Towards sustainable injection molding of ABS plastic products,” *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 29, pp. 399–406, 2017, doi: 10.1016/j.jmapro.2017.08.015.

[23] C. Jaroschek, *Spritzgießen für Praktiker,* 4th ed. München: Hanser Carl, 2019.