



IPPSLaBeM:

# Intelligente Produktionsplanung und -steuerung für das Laser-Beam-Melting

Im Rahmen des Forschungsprojekts ‚IPPSLaBeM‘ (Intelligente Produktionsplanung und -steuerung für das Laser-Beam-Melting) entwickelt das *FIR an der RWTH Aachen* in Kooperation mit dem *Fraunhofer IAPT* ein Produktionsplanungstool für die additive Fertigung (AM). Durch einen Simulations- und KI- Ansatz soll der manuelle Aufwand zur Fertigungsplanung minimiert und die Anlagenauslastung erhöht werden. Miteinbezogen werden Expertinnen und Experten von Anlagenherstellern, Fertigungsdienstleistern und Softwareentwicklern aus der Industrie, um einen Planungsansatz für betriebliche Anwendungssysteme der PPS zu entwickeln. Nach einer Integration in die IT-Systemlandschaft anhand eines Usecase entsteht ein Leitfaden, sodass eine praktische Umsetzung in produzierenden Unternehmen selbstständig vorgenommen werden und ein Transfer der Erkenntnisse in die Wirtschaft erfolgen kann. >

IPPSLaBeM:

# Intelligent Production Planning and Control for Laser Beam Melting

As part of the ‘IPPSLaBeM’ research project (Intelligent Production Planning and Control for Laser Beam Melting), *FIR* is developing a production planning tool for additive manufacturing (AM) in collaboration with *Fraunhofer IAPT*. Using a simulation and AI approach, the manual effort for production planning shall be minimized and plant capacity utilization increased. The project involves experts from equipment manufacturers, manufacturing service providers, and software developers from industry in order to develop a planning approach for business application systems for production planning and control (PPS). After integration into the IT system landscape based on a use case, a guideline will be developed to allow the independent implementation in manufacturing companies and the transfer of findings to industry. >

Das Forschungsvorhaben ‚IPPSLaBeM‘ zielt darauf ab, einen automatisierten Lösungsansatz für betriebliche Anwendungssysteme hinsichtlich der Anforderungen aus der additiven Fertigung (AM) beim Laser-Beam-Melting (LBM) zu entwickeln. Viele produzierende Unternehmen greifen aufgrund der hohen Investition in 3D-Metall-Drucker und der Notwendigkeit speziell geschulten Personals auf AM-Dienstleister zurück, welche dadurch aufgrund der hohen Vielfalt von Fertigungsaufträgen und steigenden Kundenanfragen mit einem komplexen Planungsvorhaben konfrontiert sind.

### Laser-Beam-Melting und Produktionsplanung

Bei AM-Dienstleistern ist das pulverbettbasierte Fertigungsverfahren LBM eines der am weitesten verbreiteten additiven Verfahren. Mit diesem Verfahren können metallische Bauteile komplexer Geometrie, die mit herkömmlichen Verfahren nicht (wirtschaftlich) zu fertigen wären, hergestellt werden. Dabei wird in den sogenannten Baujobs der zu verarbeitende Werkstoff in Pulverform selektiv anhand einer zuvor definierten, in Schichten zerlegten, Bauteilgeometrie aufgeschmolzen<sup>1</sup>. Infolge der Erstarrung erfolgt eine schmelzmetallurgische Verbindung der zuvor bearbeitenden Schichten bis das Bauteil vollständig aufgebaut ist. Anschließend wird das Bauteil nachgearbeitet, um die gewünschte Oberflächenqualität erreichen zu können.

Angesichts der komplexen Zusammenhänge zwischen Baujobvorbereitung, Fertigungszeit und Nachbearbeitung liegt die durchschnittliche Maschinenauslastung derzeit in der LBM-Fertigungsindustrie bei unter 60 Prozent<sup>2</sup>. Die Zusammenstellung von Baujobs (Nesting) hängt von vielen Faktoren wie der Bauteilgeometrie und deren Kombination (Anzahl,

The IPPSLaBeM research project aims to develop an automated solution approach for business application systems to meet the additive manufacturing (AM) requirements for laser beam melting (LBM). Due to the high investment costs of 3D metal printers and the need for specially trained staff, many manufacturing companies rely on AM service providers. As a result of the high diversity of manufacturing orders and increasing customer requests, these providers are confronted with complex planning processes.

### Laser Beam Melting and Production Planning

Among AM service providers, LBM, a powder bed-based manufacturing process, is one of the most widely used additive processes. It allows to manufacture metallic components of complex geometry, which could not be produced (economically) using conventional processes. In so-called build jobs, the material to be processed is selectively melted in powder form with the help of a previously defined, layered component geometry. As a result of solidification, metallurgical bonding of the previously processed layers takes place until the component is completely built up. The component is then post-processed to achieve the desired surface quality.

Given the complex relationships between build job preparation, manufacturing time, and post-processing, the average machine utilization in the LBM manufacturing industry is currently less than 60 percent<sup>2</sup>. The composition of build jobs (nesting) depends on many factors such as component geometry and its combination (number, support structure, and distribution of components), component orientation (quality), the height of the components in the build chamber of the AM machine, and system preparation (see Figure 1). The aim of nesting is to

<sup>1</sup> s. MEINERS 1999, S. 5

<sup>2</sup> s. Zeyn 2017, S. 140

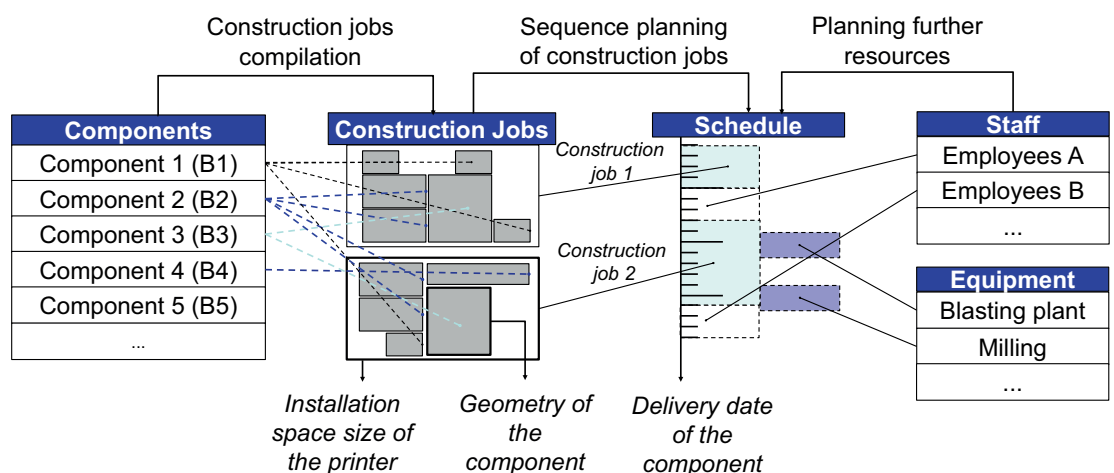
<sup>3</sup> s. Rudolph 2018, S. 29

<sup>1</sup> MEINERS 1999, p. 5

<sup>2</sup> Zeyn 2017, p. 140

<sup>3</sup> Rudolph 2018, p. 29

Figure 1: Schematic representation of dependencies in the context of build job composition (own representation)



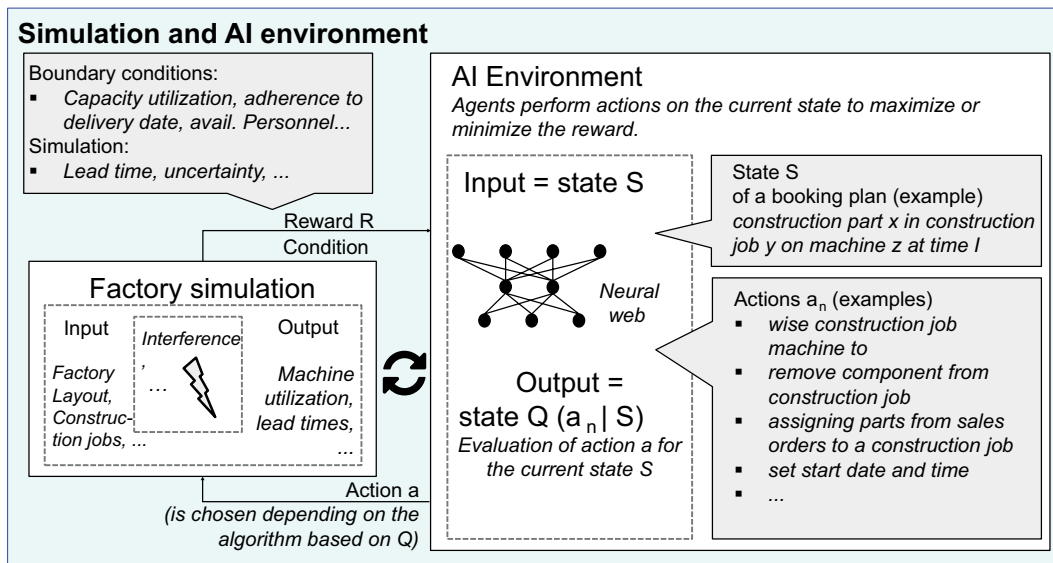


Figure 2: Conceptual representation of the simulation and AI environment (own representation)

Stützstruktur und Verteilung der Bauteile), der Bauteil-Orientierung (Qualität), der Höhe der Bauteile im Bauraum der AM-Maschine und der Anlagenvorbereitung ab (s. Figure 1, S. 86). Ziel des Nestings ist also die optimale Verteilung einer größtmöglichen Anzahl von Bauteilen in der Baukammer der Anlage. Bei AM steht daher die Baujobzusammenstellung in direktem Zusammenhang mit den Bauteilkosten und der benötigten Fertigungszeit<sup>3</sup>. Gleichzeitig müssen AM-Dienstleister insbesondere oftmals hohe zeitliche Restriktionen der Fertigung berücksichtigen. Darüber hinaus verschärft der hohe Anteil an Einzelteilfertigungen die Problemstellung. Fertigungsbaujobs weisen folglich einen hohen Individualisierungsgrad auf, wodurch eine voraussichtlich geplante Maschinenauslastung manuell unzureichend bemessen werden kann.

Eine manuelle Planung erfordert bedeutenden personellen Aufwand, weshalb großes Interesse an einem automatisierten Planungsansatz zur Kostenreduktion besteht. Zudem kann durch eine automatisierte Planung innerhalb von Sekunden auf veränderte Rahmenbedingungen wie Anlagenstörungen oder spontane Eilaufträge reagiert werden<sup>4</sup>. Die bestehende unzureichende Prozess- und Anlagenstabilität führt dazu, dass Baujobs abrechnen oder die Fertigungsqualität unzureichend ist. Daher ist eine dynamische Baujobplanung zur schnellen und flexiblen Reaktion auf sich ändernde Rahmenbedingungen erforderlich.

## Anforderungen der additiven Fertigung

Klassische Produktionsplanungssysteme können aufgrund der spezifischen Anforderungen der additiven Produktions-

optimalerweise die größte mögliche Anzahl von Komponenten in der Baukammer des Systems. In AM, ist die Zusammensetzung der Bauaufträge direkt mit den Kosten und der benötigten Fertigungszeit<sup>3</sup>. Zur gleichen Zeit, AM-Anbieter sind insbesondere mit hohen Fertigungszeitrestriktionen konfrontiert. Außerdem, der hohe Anteil an Einzelteilfertigung verschärft das Problem. Folglich, Bauaufträge sind durch einen hohen Grad an Individualisierung, was bedeutet, dass die Maschinenauslastung nur unzureichend manuell geplant werden kann.

Manuelle Planung erfordert erheblichen Personalaufwand und ist die Ursache für ein großes Interesse an einer automatisierten Planungsansatz, der die Kosten senkt. Außerdem, eine automatisierte Planung ermöglicht es, innerhalb von Sekunden auf sich verändernde Rahmenbedingungen wie Anlagenstörungen oder unerwartete Eilaufträge zu reagieren<sup>4</sup>. Die bestehende unzureichende Prozess- und Anlagenstabilität führt dazu, dass Bauaufträge nicht abgerechnet werden können oder die Fertigungsqualität unzureichend ist. Daher ist eine dynamische Bauauftragsplanung für eine schnelle und flexible Reaktion auf sich verändernde Rahmenbedingungen erforderlich.

## Requirements of Additive Manufacturing

Wegen der spezifischen Anforderungen der additiven Produktionstechnologien (z. B. Produktion in Bauaufträgen, Abhängigkeit der Produktionzeit von der spezifischen Bauauftragszusammensetzung, Einfluss auf die Nachbearbeitung), können traditionelle Produktionssysteme nicht effizient von AM-Anbietern genutzt werden. Obwohl einige Softwarelösungen speziell für den AM-Markt entwickelt wurden, sind diese oft nur für dedizierte Lösungen für einzelne Teilprobleme (z. B. Analyse der Drückbarkeit,

<sup>3</sup>s. ZEYN 2017, S. 114 – 130

<sup>4</sup> ZEYN 2017, p. 114 – 130

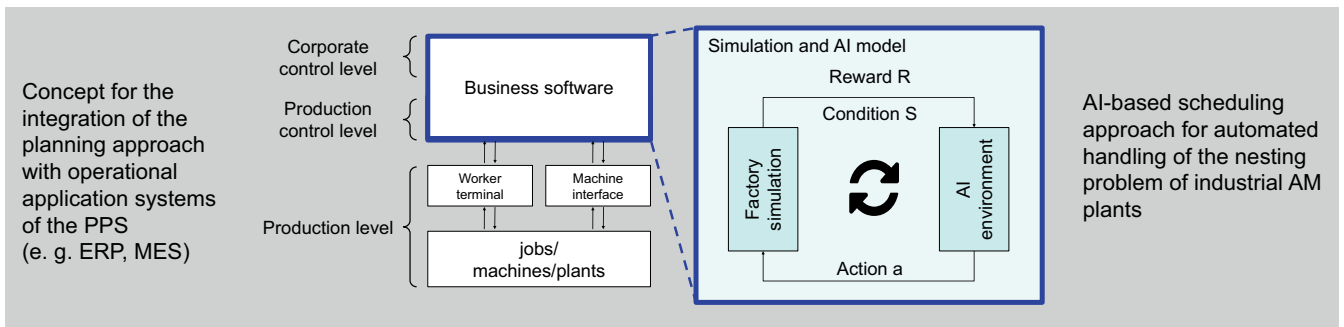


Figure 3: Aim of the research project (own presentation)

technologien (u. a. Fertigung in Baujobs, Abhängigkeit der Produktionszeit von konkreter Baujobzusammensetzung, Auswirkungen auf Nachbearbeitungsprozesse) nicht zielgerichtet bei AM-Dienstleistern angewendet werden. Zwar existieren bereits einige Softwarelösungen, welche speziell für den Markt der AM entwickelt wurden, allerdings bieten diese oftmals nur dedizierte Lösungen einzelner Teilprobleme (z. B. Analyse der Druckfähigkeit, Vorbereitung der Baujobs durch Datenaufbereitungsfunktionen). Eine ganzheitliche Produktionsplanung unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Ressourcen und mit dem Ziel der konkreten Baujobzusammenstellung erfolgt bisher nicht.

### Lösungsansatz des Forschungsvorhaben

Im Rahmen des Forschungsvorhabens soll daher eine Simulation anhand eines Usecase erstellt und ein KI-basierter Ansatz entwickelt werden (s. Figure 2), um den manuellen Aufwand der Fertigungsplanung zu minimieren und die Anlagenauslastung durch eine Verringerung von Stillstandszeiten zu erhöhen. Dadurch wird ein Beitrag zur durchgängigen Automatisierung und zur weiteren Industrialisierung der AM-Prozesskette geleistet, indem eine Reduktion des Produktionsplanungsaufwands, eine Steigerung der Maschinenauslastung und die Reduktion der Herstellkosten erfolgt.

In einem Kick-off-Treffen am 23.06.2022 wurden mit 18 Partnern aus der Industrie virtuell und vor Ort in den Gebäuden des FIR an der RWTH Aachen im Cluster Smart Logistik Erwartungen, Erfahrungen mit Produktionsplanung in AM und Herausforderungen des Forschungsvorhabens aufgenommen. In einem anschließenden Workshop wurden vom FIR und dem Fraunhofer IAPT ein standardisierter Fragebogen zur Anforderungsaufnahme entwickelt. Der Fragebogen soll nachfolgend in Interviews mit den Industriepartnern aus dem projektbegleitenden Ausschuss zur Anforderungsaufnahme genutzt werden. Während der Interviews sollen auch die existierenden Auftragsabwicklungsprozesse bei AM-Dienstleistern aufgenommen und analysiert werden. Spezifisch werden die Einfluss- und Störgrößen untersucht. Ziel ist es,

preparation of build jobs using data preparation functions). Holistic production planning that takes the available resources into account and allows to determine the specific build job composition is not available yet.

### Solution Approach of the Present Research Project

Within the scope of the research project, a simulation is to be created based on a use case and an AI-based approach is to be developed (see Figure 2) in order to minimize the manual effort of production planning and to increase plant utilization by reducing downtimes. This will contribute to end-to-end automation and further industrialization of the AM process chain by reducing production planning effort, increasing machine utilization, and reducing manufacturing costs.

In a kick-off meeting on June 23, 2022, expectations, experiences with AM production planning, and challenges of the research project were discussed and compiled in a hybrid format (online and on-site) with 18 partners from industry at the Smart Logistics Cluster in the buildings of FIR at RWTH Aachen University. In a subsequent workshop, FIR and Fraunhofer IAPT developed a standardized questionnaire for requirements assessment. The questionnaire will subsequently be used in interviews with industrial partners in the project-supervising committee for the purpose or requirements assessment. During the interviews, the order handling processes currently in place at AM service providers will also be identified and analyzed. Specifically, the influencing and disturbing variables will be examined. The aim is to find out via the expert interviews which target functions AM service providers pursue for production planning. Based on the requirements analysis and additional market analyses, a use case will then be selected, with the help of which the simulation will be build and the AI-based planning tool developed (see Figure 3).

The successful translation of the results into practical application requires a high flexibility of the solution to be developed; the aim is to allow easy integration into existing

bei den Gesprächen mit Expert:innen herauszufinden, welche Zielfunktionen AM-Dienstleister für die Produktionsplanung verfolgen. Mit der Anforderungsaufnahme und zusätzlichen Marktanalysen soll anschließend ein Usecase ausgewählt werden, anhand dessen die Simulation aufgebaut und das KI-basierte Planungstool entwickelt wird (s. Figure 3, S. 80).

Für den erfolgreichen Transfer der Ergebnisse ist eine große Flexibilität der zu entwickelnden Lösung wichtig, um eine einfache Integration in die bestehende IT-Landschaft von KMU zu ermöglichen. In einem intensiven Austausch mit den assoziierten Industriepartnern werden über die Projektlaufzeit die Ergebnisse kontinuierlich von der Industrie validiert. Dadurch werden Gestaltungsempfehlungen abgeleitet und abschließend in einem Leitfaden für AM-Dienstleister überführt, sodass eine praktische Umsetzung für produzierende Unternehmen selbstständig vorgenommen werden kann. Das Projekt hat eine Laufzeit von zwei Jahren (Anfang Juni 2022 bis Ende Mai 2024). Weitere Informationen finden Sie auf der Internetseite des Projekts: [ippslabem.fir.de](http://ippslabem.fir.de)

gd · ee3

IT landscapes of SMEs. In an intensive exchange with associated industry partners, the results will be continuously validated by industry in the course of the project. Design recommendations will be derived and finally transferred into a guideline for AM service providers, so that an independent implementation can be carried out by manufacturing companies.

gd · ee3

Literatur:

MEINERS, W.: Direktes selektives Laser Sintern einkomponentiger metallischer Werkstoffe. Shaker, Aachen 1999. – Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 1999.

RUDOLPH, J.-P.: Cloudbasierte Potentialschließung in der additiven Fertigung. Springer Vieweg, Berlin [u. a.] 2018. – Zugl.: Hamburg, Techn. Univ., Diss., 2018.

WOHLERS, T.; CAMPBELL, I.; CAFFREY, T.; DIEGEL, O.; KOWEN, J.: Wohlers Report 2018: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry. Annual Worldwide Progress Report, Wohlers Associates, Fort Collins (CO) 2018.

ZEYN, H.: Industrialisierung der Additiven Fertigung: Digitalisierte Prozesskette – von der Entwicklung bis zum einsetzbaren Artikel. VDE Verlag, Berlin [u. a.] 2017.



The project has a duration of two years (June 2022 through May 2024).  
For further information, please contact me.

**Project Title:** IPPSLaBeM – Intelligent Production Planning and Control for Laser Beam Melting

**Funding/Promoters:** Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)); Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e. V. (AiF)

**Associated Partners:** 3YOURMIND GmbH; iXbrain GmbH; AMFG; APWORKS GmbH; AUTHENTISE; INPECA GmbH | BÖLLINGER GROUP; Center Connected Industry; DFA Demonstrationsfabrik Aachen GmbH; DUALIS GmbH IT Solution; enesty gmbh; EOS GmbH; Flux MES GmbH; GKN Powder Metallurgy Engineering GMBH; H & H Gesellschaft für Engineering und Prototypenbau mbH; Hexagon Metrology GmbH; LIGHTWAY GmbH; OC Oerlikon Management AG; PROTIQ GmbH; PSI Automotive & Industry GmbH; Rapidobject GmbH

**Associated Partners:** Fraunhofer-Einrichtung für Additive Produktionstechnologien IAPT

The IGF project 22460 N of the research association FIR e. V. at RWTH Aachen University is funded by the Federal Ministry of Economics and Climate Protection (BMWK) via the AiF within the framework of the program for the promotion of joint Industrial Research (IGF) on the basis of a resolution of the German Bundestag.

**Website:** [ippslabem.fir.de](http://ippslabem.fir.de)



Antoine Gaillard, M.Eng.  
Project Manager  
Department Production Management  
FIR e. V. at RWTH Aachen University  
Phone: +49 241 47705-412  
Email: [Antoine.Gaillard@fir.rwth-aachen.de](mailto:Antoine.Gaillard@fir.rwth-aachen.de)

Supported by:



on the basis of a decision  
by the German Bundestag