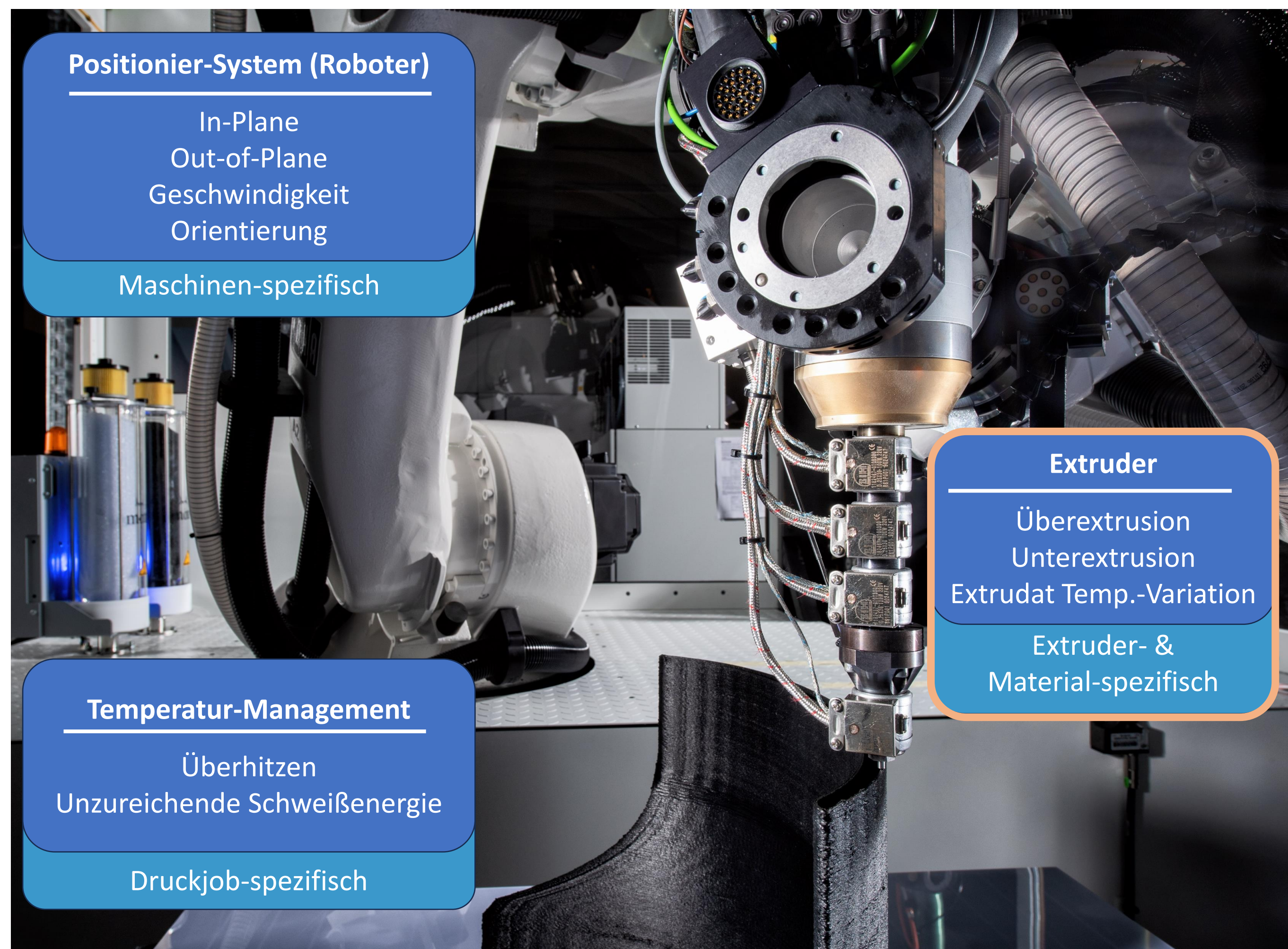


Uncertainty Quantification für Robotic Screw Extrusion AM – Bewertung der Prozessfähigkeit mittels zeitlich hochaufgelöster Daten

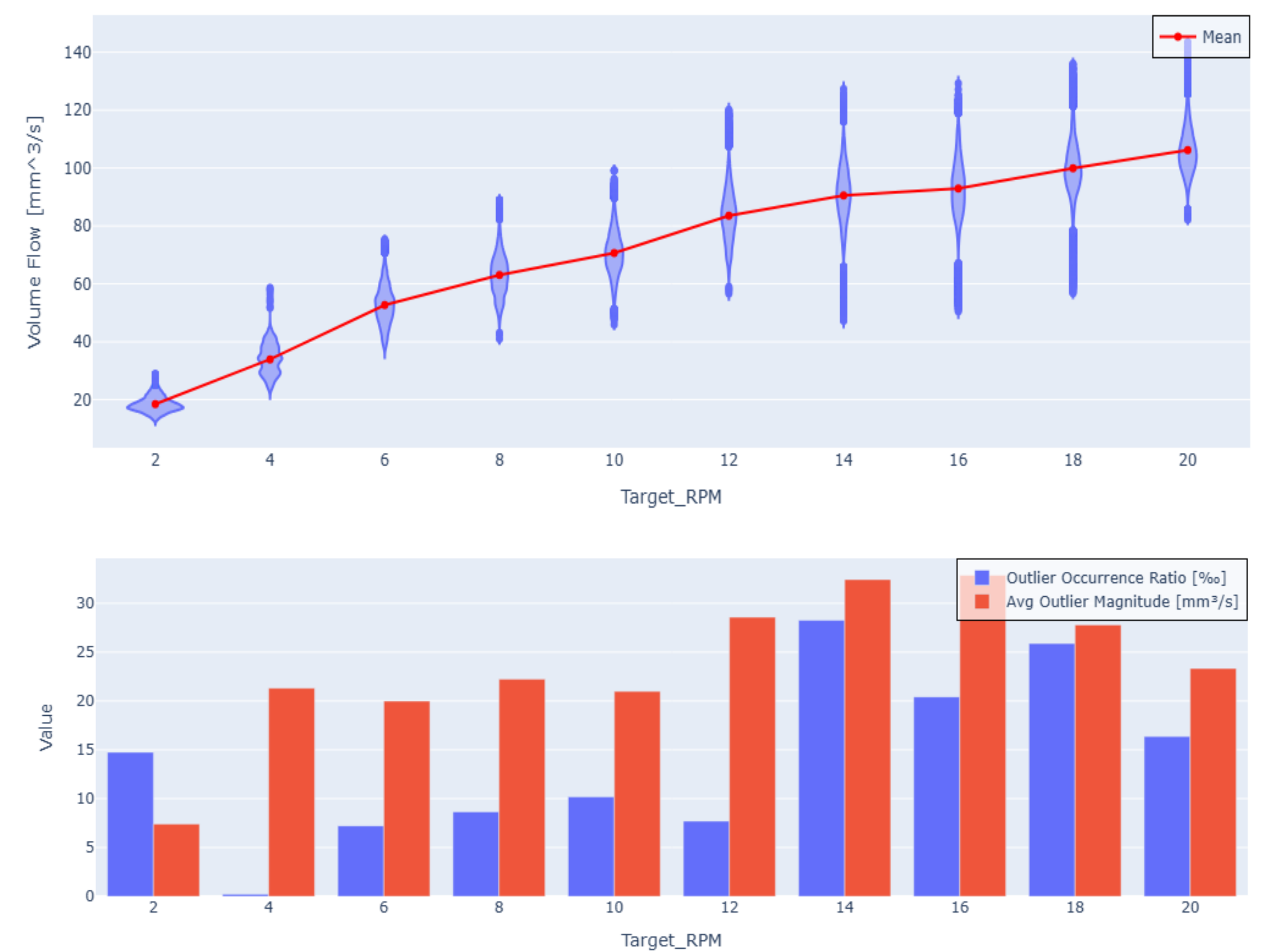
Nicolas Unger*¹

¹Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Fahrzeugkonzepte Stuttgart

*nicolas.unger@dlr.de



Fehlerbilder im Robotic SEAM Prozess nach Teilsystem: Auftretensweisen und Abhängigkeiten



Quantifizierung der Prozessvariabilität: Verteilung des Volumenstroms (oben) sowie Betrachtung von Ausreißern in Form der Auftretensrate und Größe (unten) jeweils in Abhängigkeit von der eingestellten Schneckendrehzahl.

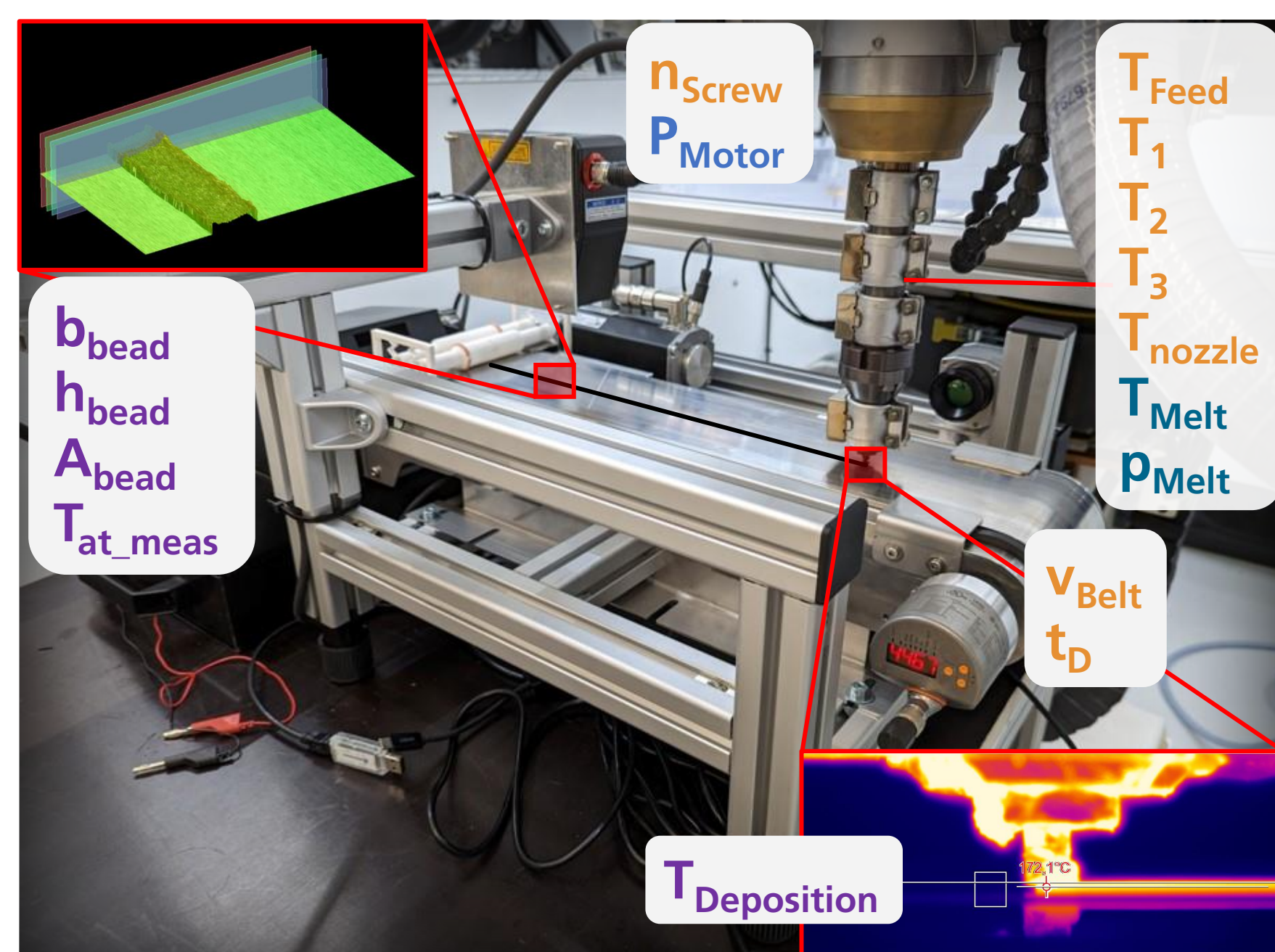
Unsicherheiten bei der Additiven Extrusion mit Industrierobotern

Robotic SEAM vereint Roboterflexibilität mit Granulatextrusion, bringt jedoch Unsicherheiten aus drei gekoppelten Quellen mit sich: Roboterpositionierung, Extrusionsdynamik und Bauteiltemperierung. Dieser Beitrag fokussiert sich auf das Extrusionssystem als eine zentrale Quelle der Prozessvariabilität.

Instrumentierter Prüfstand zur Prozesscharakterisierung

Die Quantifizierung von Extrusionsunsicherheiten setzt synchronisierte Inline-Messungen von Steuer- und Zielgrößen voraus, also Daten, die im regulären Betrieb typischerweise nicht verfügbar sind. Der entwickelte Prüfstand schließt diese Lücke durch kontinuierliche und simultane Erfassung von Steuer- und Prozessgrößen sowie der resultierenden Stranggeometrie mittels

Prüfstand zur prozessnahen Erfassung zeitlich hochaufgelöster Daten



2D-Laserprofilometer mit bis zu 250 Hz. Alle Kanäle werden zeitlich synchronisiert und erlauben so die direkte Verknüpfung von Prozessparametern und resultierender Strangqualität.

Statistische Bewertung der Prozessfähigkeit

Die hochaufgelösten Zeitreihen ermöglichen erstmals eine differenzierte Bewertung beider Variabilitätsarten: periodischer Schwankungen sowie stochastischer Ereignisse über längere Zeiträume. Für die Zielgrößen Stranggeometrie, Volumenstrom und Extrudattemperatur werden Verteilungsfunktionen zur Charakterisierung von Mittelwert und periodischer Schwankungsbreite ausgewertet; der Volumenstrom zeigt dabei eine ausgeprägte Drehzahl-abhängigkeit, weist jedoch auch bei konstantem Sollwert erhebliche Schwankungen auf.

Stochastische Ausreißereignisse, mutmaßlich bedingt durch Materialbrückenbildung im Einzugsbereich, werden separat hinsichtlich Auftretensrate, Dauer und Abweichungsgröße quantifiziert, wobei Häufigkeit und Magnitude mit steigender Drehzahl zunehmen.

Die Methodik ist dabei nicht auf einzelne Betriebspunkte beschränkt, sondern über vollständige Prozessfenster und materialübergreifend anwendbar und bildet damit die Grundlage für eine systematische Prozesscharakterisierung neuer Materialien.

GP-basierte Prozessmodellierung

Aufbauend auf der statistischen Charakterisierung wird das Prozessverhalten mittels Gaussian Process Regression modelliert. Dies erlaubt eine kontinuierliche Beschreibung der Zielgrößen über das gesamte Prozessfenster und eröffnet die Möglichkeit, geeignete Betriebspunkte systematisch zu identifizieren sowie Prozessverhalten für neue Parameterkombinationen vorherzusagen. Entsprechende Modelle befinden sich aktuell in der Entwicklung.

Ausblick: Virtuelle Sensoren

Die gewonnene Datenbasis bildet die Grundlage für eine weiterführende Modellentwicklung zur Inline-Schätzung nicht direkt messbarer Größen. Ein erster Ansatz mittels linearer Regression zeigt vielversprechende Ergebnisse im trainierten Betriebsbereich, die Übertragbarkeit auf andere Prozessfenster oder Materialien ist jedoch eingeschränkt. Als weiterführender Ansatz wird aktuell ein physikbasierter Greybox-Sensor entwickelt, der Prozesswissen gezielt in die Modellstruktur einbettet und damit eine materialübergreifende Generalisierbarkeit anstrebt.

Volumenstrom: Gemessen vs. Vorhergesagt (LR-Model)

