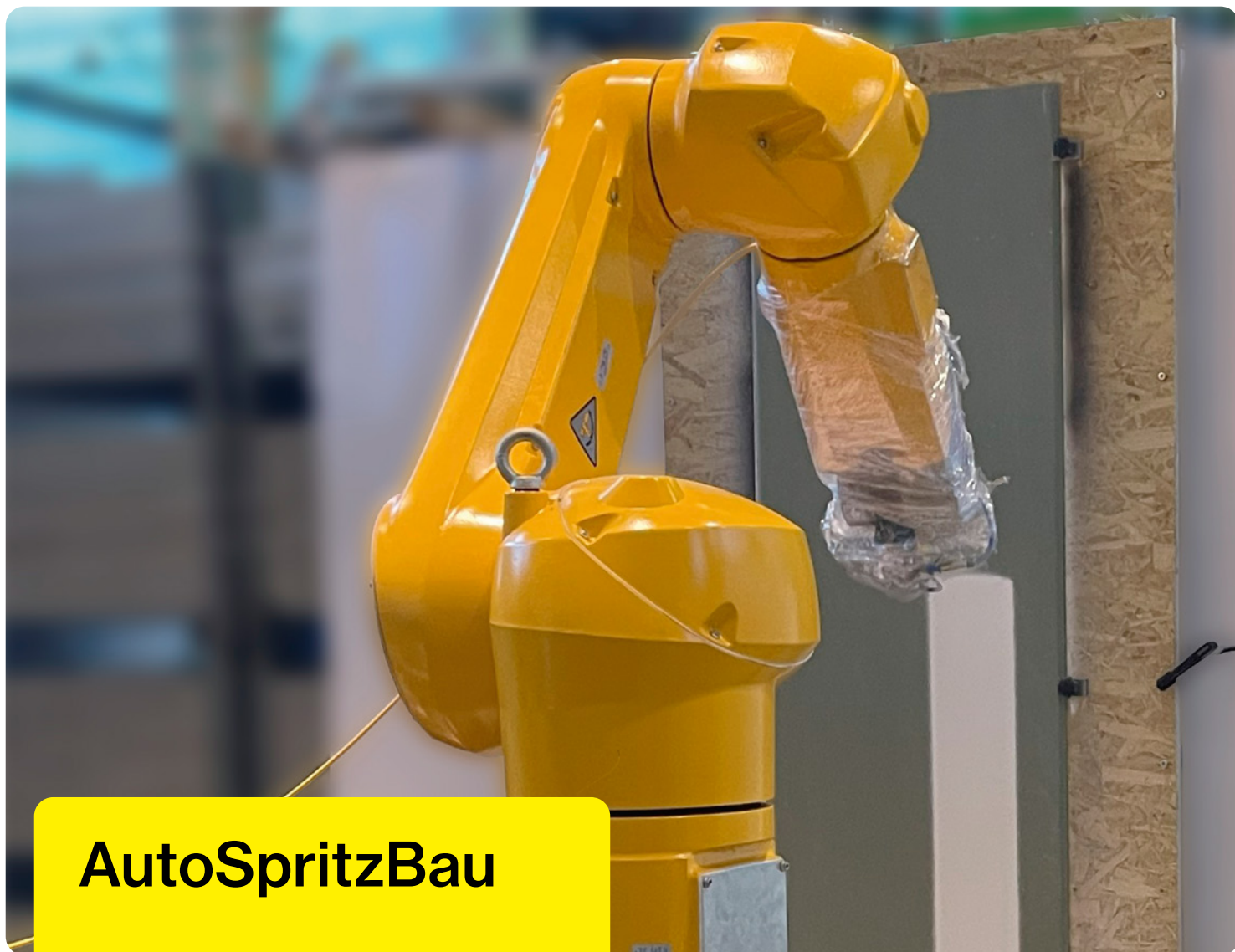




AutoSpritzBau

**Spritz- und Sprühauftrag fließ-
fähiger Baustoffe automatisieren**

Rajesh Ranjan Nayak
Dr.-Ing. Christian Richter
Prof. Dr.-Ing. Frank Will

**Beschichtungsprozessen
im Bauwesen automati-
sieren**

**Weniger Overspray,
weniger Materialverlust,
mehr Qualität**

**Ein Sprühsystem für viele
Baustoffe**

Kurzfassung

Der Spritz- und Sprühauftrag fließfähiger Baustoffe (z. B. Grundierungen, Fassaden- und Innenfarben, Füller sowie Boden- und Dachbeschichtungen) ist in Neubau und Sanierung ein zentraler, wiederkehrender Arbeitsschritt. Obwohl diese Verfahren gegenüber Pinsel- und Rollenauftrag deutliche Vorteile bei Flächenleistung, Erreichbarkeit von Ecken/Kanten und gleichmäßigem Auftrag bieten, werden sie in der Baupraxis weiterhin überwiegend manuell ausgeführt. Die Folge sind qualitäts- und kostenrelevante Schwankungen durch unterschiedliche Bedienerführung, Sprühabstände und Parametereinstellungen. Hinzu kommen Overspray, Materialverluste, erhöhter Abdeck- und Reinigungsaufwand sowie zusätzliche Nacharbeit. Gleichzeitig steigt durch Fachkräftemangel, demografischen Wandel, Lohnkostenentwicklung sowie Anforderungen an Arbeitsschutz, Emissionsminderung und Ressourceneffizienz der Druck, diese Prozesse robuster und reproduzierbarer zu gestalten.

Die im Projekt AutoSpritzBau adressierte Forschungslücke bestand darin, dass vorhandene automatisierte bzw. robotergestützte Lösungen im Baukontext vor allem Mechanisierung, Navigation, Manipulation und Bahnplanung adressieren, den eigentlichen Sprühprozess jedoch nur begrenzt als materialadaptiven, qualitätsgeregelten Prozess behandeln. Insbesondere fehlte eine durchgängige Systemarchitektur, die rheologische Materialcharakterisierung, adaptive Applikationshardware, sensorische Prozess- und Geometrieüberwachung sowie eine geschlossene Regelung in einem einheitlichen System zusammenführt. Ebenso bestand nur begrenztes systematisches Wissen zur Bestimmung belastbarer Prozessparameterfenster für unterschiedliche Material-Substrat-Kombinationen unter baupraktisch relevanten Randbedingungen.

Die zentrale Forschungsfrage lautete: Kann ein modularer, adaptiver Sprühkopf mit sensor-gesteuerter Steuerung ein reproduzierbares und anpassungsfähiges robotergestütztes Sprühen verschiedener Baumaterialien ohne Hardware-Austausch ermöglichen? Die zugrunde liegende Hypothese lautete, dass eine materialrheologisch informierte, sensorbasierte Prozessführung die Wiederholbarkeit, Qualität und Ressourceneffizienz gegenüber konventionellen bzw. nicht-adaptiven automatisierten Ansätzen signifikant verbessert.

Vor diesem Hintergrund war das Projektziel die Entwicklung und Validierung eines automatisierten modularen Sprühsystems (AMSS) für Bauanwendungen. Kern des Vorhabens war ein adaptiver Sprühkopf mit mehreren Betriebsmodi (u. a. Airless, AirCoat, Airmix/Hybrid), standardisierten Schnittstellen zur Entkopplung vom Geräteträger sowie ein integriertes Sensor-, Mess- und Steuerungskonzept. Ergänzend sollten material-spezifische Parameterfenster experimentell bestimmt, reproduzierbare Bewertungsmethoden aufgebaut und die Übertragbarkeit auf unterschiedliche robotische Träger nachgewiesen werden. Zudem adressierte das Projekt ausdrücklich Ziele der Ressourceneffizienz, Arbeitssicherheit und Produktivität (u. a. Reduktion von Overspray, Materialverbrauch und Exposition des Personals).

Die Bedeutung der Ergebnisse für die Baupraxis liegt darin, dass nicht nur die Bewegung eines Roboters automatisiert wurde, sondern ein übertragbarer Prozesskern für Beschichtungsaufgaben entwickelt wurde. Das AMSS wurde als multimodaler, sensorintegrierter, träger-unabhängiger Prototyp umgesetzt. Zugleich wurden reproduzierbare Mess- und Bewertungsansätze (u. a. Laserprofilierung, bildbasierte Overspray-Quantifizierung, rückverfolgbare Datenerfassung) etabliert. Damit wurde die technische Grundlage geschaffen, um Beschichtungsprozesse künftig datenbasiert, materialadaptiv und plattformübergreifend zu automatisieren – mit Potenzial für weniger Materialverlust, weniger Nacharbeit, höhere Prozessstabilität und bessere Arbeitssicherheit in realen Bauanwendungen.

AMSS

(Automatisiertes Modulares Sprühsystem)

Ein modulares, sensorgestütztes Sprühsystem mit einem adaptiven Sprühkopf der verschiedene Sprühverfahren bzw. Sprühmodi (z. B. Airless, AirCoat, Airmix) unterstützt und reproduzierbare, materialangepasste, roboter-kompatible Beschichtungsprozesse ohne Hardwarewechsel ermöglicht.

Ergebnisse

Im Projekt AutoSpritzBau wurde ein automatisiertes modulares Sprühsystem (AMSS) nicht nur konzeptionell entwickelt, sondern als funktionsfähiger, experimentell untersuchter Forschungsprototyp umgesetzt und in mehreren Entwicklungs- und Validierungsstufen erprobt. Die Ergebnisse der Forschungsarbeit liegen damit auf System-, Prozess- und Bewertungsebene vor.

Ein zentrales Ergebnis ist die technische Realisierung eines kohärenten Gesamtsystems aus Applikationshardware, Sensorik, Steuerung und robotischer Ausführung (Abbildung 2). Das Projekt entwickelte sich von einer reinen Airless-Basisversion zu einem adaptiven Multimodus-Sprühkopf mit ventilbasierter Schaltlogik und definiertem Sicherheitszustand zum Abschalten. Dieser Sprühkopf besitzt standardisierte Schnittstellen um ihn ROS-2-basierte Robotersysteme zu integrieren. Ein eingebettetes Time-of-Flight-Kameramodul (ToF) ermöglicht die geometrische Erfassung von Oberflächen und sowie die Bewertung der Oberflächenqualität. Damit wurde die im Projekt angestrebte Verbindung aus Applikationshardware, Sensorik und Steuerung praktisch nachgewiesen.

Von hoher Bedeutung für den Transfer ist zudem der trägerunabhängige Integrationsansatz. Das AMSS wurde als modulares Arbeitswerkzeug mit standardisierten mechanischen, medialen und softwareseitigen Schnittstellen ausgelegt, sodass die Sprüheinheit grundsätzlich nicht auf einen einzelnen Geräteträger beziehungsweise Roboter beschränkt ist. Diese Entkopplung ist für die Baupraxis von zentraler Bedeutung, da sie den Transfer auf unterschiedliche robotische Trägersysteme (z. B. Industrieroboter, mobile Plattformen) ermöglicht und die spätere Nutzung somit nicht an ein einzelnes integriertes Gesamtsystem bindet. Abbildung 1 veranschaulicht diesen Ansatz exemplarisch, indem sie den Arbeitsablauf des entwickelten Sprühsystems sowie dessen trägerunabhängiges Verhalten darstellt.

Ein weiterer Ergebnisblock betrifft die Entwicklung einer reproduzierbaren Mess-, Daten- und Bewertungsinfrastruktur für automatisierte Sprühprozesse. In der Projektbearbeitung wurden Hochgeschwindigkeitsbildgebung, bildbasierte Overspray-Quantifizierung und laserbasierte Oberflächenprofilierung in die Versuchsumgebung in-

tegriert. Gleichzeitig wurden Prozessparameter, Bilddaten und Ergebniskennwerte synchronisiert protokolliert und rückverfolgbar abgelegt. Dadurch wurde eine robuste Datenbank für Vergleichstests und die daraus abgeleiteten optimalen Parameter, die in Tabelle 11 des Berichts zusammengefasst sind, geschaffen.

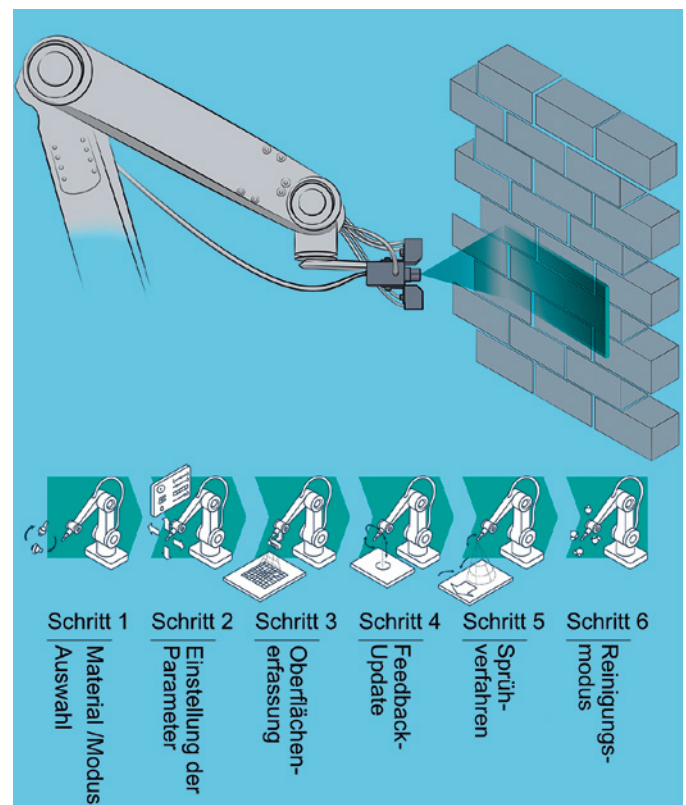


Abb. 1: Darstellung des Arbeitsablaufs des entwickelten Sprühsystems; Quelle: Technische Universität Dresden, Professur für Baumaschinen

ToF-basierte geometrische Referenzierung

Verfahren zur Geometrieerfassung und Positionierung unter Verwendung von Time-of-Flight-Sensoren zur Bestimmung von Entfernungen und der räumlichen Ausrichtung zwischen Sprühkopf und Zielfläche in Echtzeit.

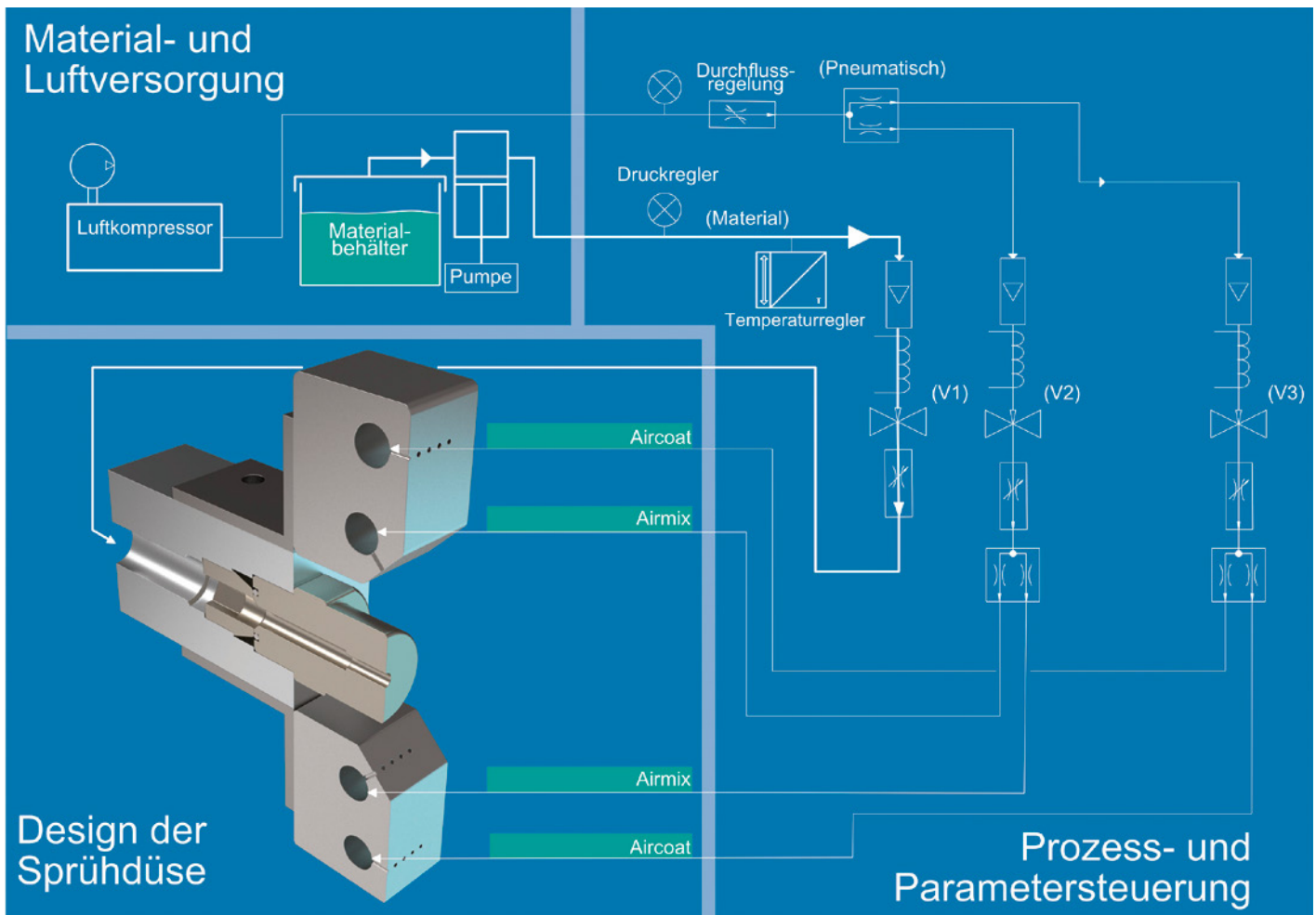


Abb. 2: Aufbau des modularen Spritzsystems; Quelle: Technische Universität Dresden, Professur für Baumaschinen

Sprüheigenschaften für verschiedene Materialien und stabile Betriebsfenster

Ein zentrales Ergebnis dieser Arbeit ist die nachgewiesene Sprühbarkeit verschiedener Materialien mit einem modularen Sprühdüse. Das System konnte auch mit sehr unterschiedlichen Baustoffen zuverlässig sprühen – von dünnflüssigen Grundierungen über Innenraum-Latexfarbe und Bodenbeschichtungen bis hin zu zähen, pastösen Materialien wie Füllern oder Spachtelmassen. Für jedes Material wurden in systematischen Versuchen passende Einstellbereiche ermittelt. Dabei wurden unter anderem Materialdruck, Düse, Temperatur und – je nach Sprühart – die Unterstützung durch Luft Schritt für Schritt variiert, bis stabile und gut reproduzierbare Ergebnisse erreicht wurden.

Das Material trat gleichmäßig aus der Düse aus, sodass ein gleichmäßiges und gut begrenztes Sprühbild entstand und sich die Ränder des Sprühbilds bei Wiederholungen ähnlich verhielten. Innerhalb der ermittelten Einstellbereiche lieferte das System entsprechend gleichmäßige und wiederholbare Sprühergebnisse: Der Materialauftrag

blieb stabil, ohne auffällige Schwankungen im Sprühbild oder störende Unterbrechungen. Die in (Nayak/Richter/Will 2026) veröffentlichten Ergebnisse zeigen, dass eine materialabhängige Sprühbarkeit durch Anpassung des Sprühmodus und der Parameter statt durch Austausch der Hardware erreicht werden kann, wodurch eine wesentliche Einschränkung herkömmlicher Sprühsysteme behoben wird.

Sprühmodusumschaltung als eingebetteter Steuerhebel

Über die grundlegende Sprühbarkeit hinaus zeigen die Ergebnisse deutlich, dass die Auswahl des Sprühmodus als integrierter Steuerhebel für die Formgebung der Sprühnebelwolke fungiert. Bei festen geometrischen und hardwaretechnischen Bedingungen (gleiches Material, Düsenöffnung, Materialdruck, Temperatur und Abstand) wurden systematische und materialabhängige Veränderungen der Strahlbreite und der Sprühwolkenstruktur beobachtet, wenn nur der Sprühmodus geändert wurde wie in (Nayak et al. 2026) beschrieben.

Wie in Tabelle 8 zusammengefasst, führte die Umschaltung des Sprühmodus bei konstanten Randbedingungen zu klaren, materialabhängigen Änderungen der Sprühstrahlbreite. Beim Wechsel von Airless zu luftunterstützten beziehungsweise kombinierten Konfigurationen verringerte sich die Strahlbreite bei Spachtel um bis zu 12,5 %, bei Rapidgrund um bis zu 16,5 % und bei Bodensiegel um bis zu 12,1 %. Auch Dachfarbe und Außenfassadenfarbe zeigten überwiegend eine Verengung des Strahls, allerdings in geringerem Umfang. Im Gegensatz dazu wies Latexfarbe eine gegenläufige Tendenz auf: Hier führte die Luftunterstützung zu einer Verbreiterung der Strahlbreite von bis zu 25,6 % unter Raumtemperaturbedingungen beziehungsweise 5,0 % bei 50 °C. Die entsprechenden Änderungen des impliziten vollen Sprühwinkels folgten denselben Trends und bestätigen, dass die Geometrie der Sprühwolke nicht allein durch den Materialdruck bestimmt wird, sondern wesentlich durch den gewählten Sprühmodus beeinflusst wird. Die Ergebnisse sind in (Nayak/Richter/Will 2026) detailliert dargestellt.

Es konnte gezeigt werden, dass die Sprühmodusumschaltung einen zusätzlichen prozessseitigen Freiheitsgrad bereitstellt, mit dem sich Strahlbreite, Abdeckung und Kantenpräzision gezielt an das jeweilige Material anpassen lassen, ohne Düse oder Hardware zu wechseln. Verengte Sprühstrahlen sind dabei besonders vorteilhaft für kantennahe und Overspray-sensitive Anwendungen, während verbreiterte Strahlen – wie beispielsweise bei Latexfarbe beobachtet – eine höhere Flächenleistung unterstützen können. Entscheidend ist, dass diese Anpassungen nicht durch mechanische Umrüstung, sondern durch definierte ventilbasierte Zustandsänderungen erfolgen. Damit ist die Modusumschaltung unmittelbar mit einer automatisierten, reproduzierbaren und autonomen Prozessführung kompatibel.

Bildbasierte Oberflächenerfassung und Flächenkartierung

Um über die reine Beobachtung der Sprühfahne hinauszugehen, wurden bildbasierte Verfahren eingesetzt, um die den Materialauftrag quantitativ zu erfassen. Hierzu

wurden nach dem Sprühprozess Zieloberflächen segmentiert und besprühte von unbesprühten Bereichen getrennt, was zu einer kartierten Darstellung der Materialverteilung führte, wie sie in (Nayak et al. 2024) dargestellt und in (Nayak/Richter/Will 2026) mit weiteren Details zusammengefasst wurde. Die berechneten Rand-Overspray-Werte ergänzen diese Auswertung und liegen material- und modusabhängig im Bereich von ~1,69 % bis 10,54 %, mit niedrigen Werten für Dachfarben (~1,7–2,3 %) und höheren Anteilen für Latexfarben (bis ~10,5 %), wie aus Tabelle 9 im Abschlussbericht hervorgeht.

Die resultierenden Bedeckungskarten zeigen konsistent, dass breitere Strahlkonfigurationen zu größeren, gleichmäßigeren Abdeckungsflächen führen, während schmalere Modi lokal begrenzte Ablagerungen mit schärferen Randübergängen erzeugen. Diese Beobachtungen stimmen mit den gemessenen Strahlbreiten überein und bestätigen die direkte Kopplung zwischen Sprühmodus, Abdeckungsverteilung und Randqualität.

Damit wird deutlich, dass die Wahl des AMSS-Modus die effektive Arbeitsbreite sowie die Materialverteilung gezielt beeinflusst und somit eine zentrale Rolle für die Wegplanung und Produktivitätsoptimierung in automatisierten Beschichtungsprozessen spielt.

Rand-Overspray

Der Anteil des Materials, das im Randbereich außerhalb der vorgesehenen Sprühgrenze abgelagert wird, üblicherweise ausgedrückt als Prozentsatz der gesamten Sprühfläche.

Abdeckungskarte

Eine bildbasierte, segmentierte Darstellung der besprühten und unbesprühten Flächen zur quantitativen Analyse der Materialverteilung, der Abdeckung und der Randqualität.

Nutzen für die Praxis

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass das entwickelte System einen praxisnahen Ansatz zur Überführung robotergestützter Beschichtungsprozesse in reale Bauanwendungen bietet. Im Unterschied zu bestehenden Lösungen, die primär auf Bewegungsausführung und Bahnplanung fokussieren, wird der Sprühprozess selbst als materialabhängiger und gezielt steuerbarer Vorgang behandelt. Dadurch entsteht ein robuster und übertragbarer Prozesskern, der unter variierenden Randbedingungen einsetzbar ist.

Materialrobustheit und Prozessstabilität

Ein wesentlicher Vorteil liegt in der erhöhten Robustheit gegenüber materialspezifischen Schwankungen. Bauübliche Beschichtungsmaterialien weisen ein breites Spektrum nicht-newtonscher Eigenschaften auf, was in der Praxis häufig zu instabilen Prozessen oder erhöhtem Anpassungsaufwand führt. Die Ergebnisse zeigen, dass durch geeignete Kombinationen aus Sprühmodus und Prozessparametern stabile Sprühbedingungen für unterschiedliche Materialien erzielt werden können. Dies reduziert

den Umrüstaufwand, vereinfacht die Prozessführung und erhöht die Zuverlässigkeit insbesondere unter variablen Baustellenbedingungen.

Adaptive Prozesssteuerung

Ein wesentlicher Anwendungsvorteil des Systems besteht darin, dass der Sprühmodus nicht als festes Hardware-Attribut, sondern als integrierter Steuerhebel behandelt wird. Die Ergebnisse zeigen, dass der Wechsel zwischen den Modi Airless, AirCoat und Airmix die Strahlbreite und die Geometrie der Sprühwolke systematisch verändert, selbst wenn Material, Druck, Düsenöffnung und Abstand konstant gehalten werden, wie in Abbildung 3 für jedes der betrachteten Materialien dargestellt. Dies eröffnet neue Freiheiten bei der Prozessoptimierung, die insbesondere in der Bauindustrie von großem Wert sind.

Praktisch gesehen ermöglicht dies demselben System, sich zwischen einer schnellen Flächenabdeckung und präzisionskritischen Aufgaben wie Kantensprühung, Verbindungsstellen und lokalen Reparaturbereichen an-

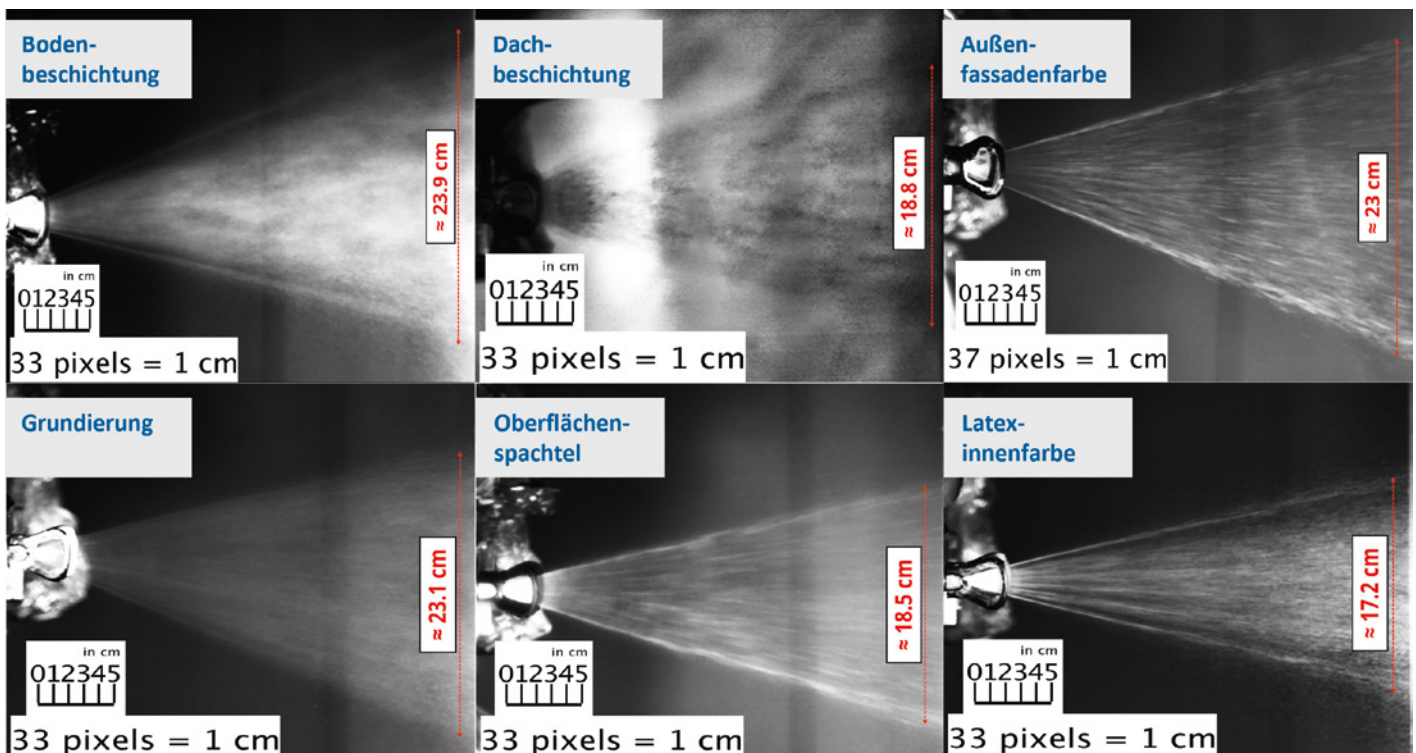


Abb. 3: Experimentelle Untersuchung des Spritzverhaltens unterschiedlicher Baustoffe;
Quelle: Technische Universität Dresden, Professur für Baumaschinen

zupassen. Anstatt Düsen zu wechseln oder die Produktivität durch manuelle Parametereinstellungen zu verringern, kann das System dynamisch einen geeigneten Sprühmodus auswählen. Diese Funktion unterstützt eine flexiblere Arbeitsabfolge und ermöglicht es Robotersystemen, näher an der Leistungsgrenze zu arbeiten, die traditionell erfahrenen menschlichen Sprüher*innen vorbehalten ist.

Verbesserte Auftragsqualität und Reproduzierbarkeit

Die eingebauten Sensoren erfassen die Oberfläche während des Sprühens. Dadurch kann das System automatisch dafür sorgen, dass die Düse möglichst gleich bleibt – also immer in einem passenden Abstand zur Fläche steht und in einem passenden Winkel sprüht. In der Baupraxis sind genau diese beiden Punkte oft die Hauptursachen für Qualitätsprobleme: Schon kleine Abweichungen führen zu ungleichmäßigen Schichtdicken, mehr Sprühnebel (Overspray) oder sichtbaren Fehlern. Beim manuellen Spritzen hängt es deshalb stark von der Erfahrung der ausführenden Person ab, solche Abweichungen auszugleichen.

Durch die automatisierte Regelung von Abstand und Winkel werden Qualitätsschwankungen – in der Regel durch unebene Flächen oder Ermüdungserscheinungen des Bediener*innen verursacht – vermieden. Die Experimente zeigten, dass die Auftragsqualität über mehrere Durchläufe hinweg stabil und gut vergleichbar bleibt. In der praktischen Anwendung unterstützt diese Funktion vorhersehbare Beschichtungsergebnisse, vereinfacht die Qualitätskontrolle und reduziert Nacharbeiten. Im Laufe der Zeit kann dies zu einer messbaren Reduzierung von Materialverschwendung und Projektverzögerungen aufgrund von Mängeln bei der Endbearbeitung beitragen.

Verbesserte Sicherheit und Ergonomie auf Baustellen

Beim Sprühen sind Arbeiter*innen Aerosolen, Lösungsmitteln, Feinstaub und körperlich anstrengenden, sich wiederholenden Bewegungen ausgesetzt. Diese Risiken sind besonders ausgeprägt bei Überkopf-Spritzarbeiten, Fassadenarbeiten und in beengten Innenräumen. Durch die robotergestützte Ausführung von Spritzaufgaben mit anpassungsfähiger Prozesssteuerung trägt die entwickelte Lösung direkt zur Verbesserung der Arbeitssicherheit bei.

Das System ermöglicht es, gefährliche oder ergonomisch ungünstige Spritzarbeiten an Roboter zu delegieren, ohne dass die Prozessqualität beeinträchtigt wird. Dies trägt zu sichereren Arbeitsbedingungen bei und entspricht den gesetzlichen und gesellschaftlichen Anforderungen, Gesundheitsrisiken im Baugewerbe zu verringern. Aus Sicht der Einsatzmöglichkeiten kann das System besonders in risikobehafteten Szenarien eingesetzt werden und bietet so einen unmittelbaren Mehrwert, ohne dass eine vollständige Automatisierung aller Endbearbeitungsaufgaben erforderlich ist.

Plattformunabhängig und skalierbar

Die trägerunabhängige Systemarchitektur stellt einen wesentlichen Vorteil dar. Da die zentrale Funktionalität auf Endeffektorebene realisiert ist, das heißt alle wichtigen Funktionen wie sensorische Erfassung und Prozesssteuerung in den Sprühkopf integriert sind, kann das System auf unterschiedlichen robotischen Plattformen eingesetzt werden, darunter Industrieroboter, mobile Systeme oder spezialisierte Baustellenroboter. Dies erleichtert die Integration in bestehende Infrastrukturen und ermöglicht eine flexible Skalierung über verschiedene Anwendungen hinweg. Solche modularen Ansätze gelten als zentrale Voraussetzung für die erfolgreiche Implementierung automatisierter Bauprozesse (Bock/Lin*ner 2015).

Aktuelle Entwicklungen zeigen zudem, dass eine Vielzahl unterschiedlicher Geräteträger für automatisierte Beschichtungsprozesse eingesetzt wird, darunter stationäre Manipulatoren, mobile Plattformen, Fassadenroboter sowie drohnenbasierte Systeme (PictoBot (Asadi/Li/Chen 2018), OutoBot (Nanyang Technological University o. J.), Okibo (OKIBO – Smart Robots For Construction Sites o. J.), Canvas (o. J.), ConBotics (ConBotics | Malerroboter | Painting Robot | Robotic o. J.)). Viele dieser Systeme können heutzutage nur Farbe auftragen. Die entwickelte Lösung erweitert diese Systeme um eine prozessadaptive Funktionalität und ermöglicht dadurch die Verarbeitung von weiteren Materialien sowie die Verbesserung der Beschichtungsqualität.

Einsatzpfade und zukünftige Entwicklung

Auf Basis der bisherigen Ergebnisse lassen sich realistische Einsatzpfade ableiten, wie das System Schritt für Schritt aus dem Forschungsumfeld in die Baupraxis überführt werden kann. Kurzfristig stehen Forschungs-

transfer und Produktentwicklung im Vordergrund. Hierzu bedarf es zunächst weiterer Validierungen mit einer größeren Bandbreite an Baustoffen und Untergründen – einschließlich zäher, hochviskoser Materialien – sowie die Ableitung belastbarer Einstellbereiche (z.B. Druck, Düse, Abstand, Arbeitsweise). Parallel sind produktnahe Themen entscheidend, etwa robuste Auslegung für Baustellenbedingungen, einfache Bedien- und Rüstprozesse, Reinigungs- und Wartungskonzepte sowie Arbeitsschutz (Sprühnebel, Abschirmung, Absaugung). Ziel ist, aus dem Prototypen eine verlässliche, seriennah umsetzbare Lösung zu entwickeln, die Unternehmen in ihre Portfolios integrieren können.

Mittelfristig kann das System auf Baustellen eingesetzt werden, vor allem bei großen, gut zugänglichen und geometrisch einfachen Flächen, zum Beispiel Wand- und Deckenflächen in Fluren, Hallen oder bei seriellen Sanierungen. In dieser Phase übernimmt das System die gleichmäßige Flächenarbeit (konstanter Abstand, gleichmäßige Bewegung, reproduzierbare Einstellungen).

Langfristig eröffnet die Kombination aus sensorbasierter Prozessführung und adaptiver Steuerung die Möglichkeit vollständig autonomer Sprühprozesse. Die Integration von Messsystemen zur Bewertung der Beschichtungsqualität kann perspektivisch eine rückgekoppelte Prozessregelung ermöglichen, bei der Prozessparameter in Abhängigkeit des tatsächlichen Auftragsergebnisses in Echtzeit angepasst werden.

Beitrag zu Construction 4.0

Insgesamt zeigt das entwickelte System, wie prozessbezogene Intelligenz vom Geräteträger auf das Prozesswerkzeug verlagert werden kann. Dadurch werden zentrale Anforderungen moderner Bauprozesse erfüllt, insbesondere im Hinblick auf Anpassungsfähigkeit, Wiederverwendbarkeit und Skalierbarkeit.

Die Kombination aus adaptiver Prozesssteuerung, sensorbasierter Stabilisierung und modularer Systemarchitektur unterstützt die grundlegenden Prinzipien von Construction 4.0. Damit leistet die entwickelte Lösung einen Beitrag zur Entwicklung robuster, materialadaptiver und skalierbarer Beschichtungssysteme mit unmittelbarem Anwendungspotenzial sowie einer klaren Perspektive für zukünftige autonome Anwendungen im Bauwesen.

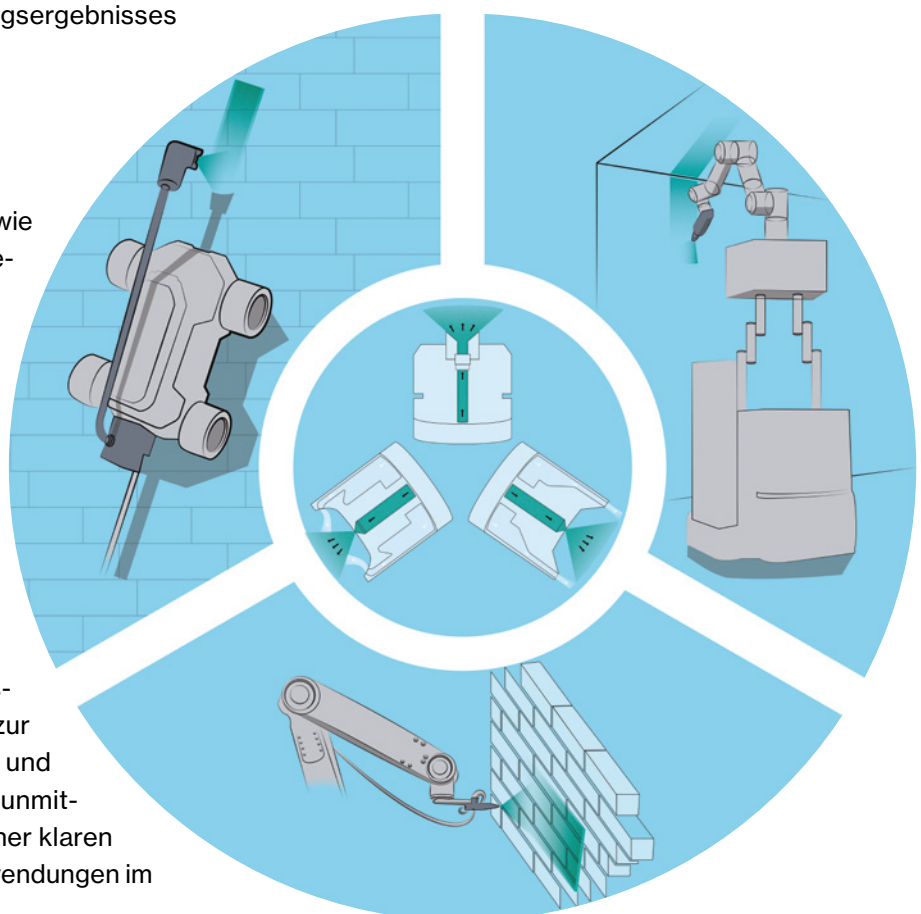
Endeffektor

Ein Endeffektor, dessen Applikationsverhalten durch steuerbare Prozessparameter und Betriebsmodi an unterschiedliche Materialien, Aufgaben und Randbedingungen angepasst werden kann, ohne dass ein Hardwarewechsel erforderlich ist.

Trägerunabhängige Systemarchitektur

Eine Systemauslegung, bei der die zentrale Funktionalität in der Sprüheinheit selbst verankert ist, sodass das System auf unterschiedlichen robotischen Trägerplattformen eingesetzt und skaliert werden kann.

Abb. 4: Schematische Darstellung des Einsatzes des modularen Spritzkopfs mit unterschiedlichen Geräteträgern;
Quelle: Technische Universität Dresden, Professur für Baumaschinen



Methodik und Projektverlauf

Methodik

Das Forschungsdesign des Projektes kombinierte Systementwicklung, Materialcharakterisierung und experimentelle Validierung in einer iterativen Vorgehensweise. Ausgangspunkt war die Annahme, dass sich automatisiertes Sprühen im Bauwesen nur dann belastbar verbessern lässt, wenn Materialeigenschaften, Applikationshardware und Bewegungsführung gemeinsam betrachtet werden. Deshalb wurde kein reines Robotik- oder Navigationsprojekt aufgesetzt, sondern ein integrierter Prozessansatz für das Beschichten fließfähiger Baustoffe.

Methodisch gliederte sich das Vorhaben in fünf Ebenen: Erstens wurden Materialspektren und Anwendungsfälle im Bauwesen analysiert und repräsentative Baustoffe ausgewählt. Zweitens wurden ein modulares Systemkonzept, Schnittstellen und Anforderungen für eine trägerunabhängige Sprüheinheit definiert. Drittens wurde eine automatisierte Versuchsumgebung aufgebaut, mit der zentrale Prozessparameter reproduzierbar variiert werden konnten. Viertens wurde ein adaptiver Sprühkopf entwickelt. Fünftens erfolgten Integration, Validierung und vergleichende Auswertung im robotergestützten Betrieb.

Die Versuchsmethodik folgte einer zweistufigen Logik. In Phase I wurden systematische Voruntersuchungen durchgeführt um den Einfluss von Druck, Düse, Abstand und Materialkonditionierung auf Sprühbild und Overspray systematisch sichtbar zu machen. In Phase II wurde darauf aufbauend der multimodale Betrieb mit Modusumschaltung und sensorintegrierter Ausführung validiert. Dieses Vorgehen reduzierte Entwicklungsrisiken und ermöglichte belastbare Vergleiche zwischen Basis- und Mehrmodusbetrieb.

Für die Bewertung wurde eine kombinierte Mess- und Datenstrategie eingesetzt. Sie umfasste laserbasierte Oberflächenprofilierung als Referenz, Hochgeschwindigkeitsaufnahmen zur Beobachtung der Sprühbildung sowie bildbasierte Overspray- und Randanalysen als transferfähige Kennwerte. Prozessparameter und Ergebnisdaten wurden synchronisiert protokolliert und rückverfolgbar abgelegt. So entstand nicht nur eine Sammlung einzelner Versuche, sondern eine vergleichbare Datenbasis für Materialien, Modi und Parameterkombinationen.

Die Methodik zielte bewusst auf praxisnahe Aussagen mit kontrollierter Komplexität. Statt früh universelle Optima zu behaupten, wurden materialspezifische Betriebsfenster und übertragbare Bewertungsverfahren erarbeitet. Dieser Ansatz unterstützt eine schrittweise Einführung in die Baupraxis und kann in weiteren Projekten systematisch erweitert werden.

Projektverlauf

Das Forschungsprojekt AutoSpritzBau wurde als interdisziplinäres Entwicklungs- und Validierungsvorhaben im Bereich des automatisierten Spritz- und Sprühauftrags fließfähiger Baustoffe bearbeitet. Die Herausforderung des Projekts lag in der Verknüpfung von Applikationstechnik, Materialcharakterisierung, Sensorintegration, Automatisierungstechnik und robotischer Ausführung. Daraus ergaben sich Anforderungen sowohl an die Entwicklung einer modularen Sprüheinheit als auch an den Aufbau einer geeigneten Versuchs- und Bewertungsumgebung.

Der Projektverlauf umfasste die Definition von Material- und Systemanforderungen, die Umsetzung einer basisautomatisierten Versuchsumgebung, die Entwicklung quantitativer Bewertungsverfahren sowie die Erweiterung zu einem multimodalen und trägerunabhängigen Sprühsystem. Die thematischen Schwerpunkte des Arbeitsprogramms und die zeitlich-funktionale Abfolge der Umsetzung sind in Abbildung 5 dargestellt.



Abb. 5: AutoSpritzBau Umsetzungsablauf; Quelle: Technische Universität Dresden, Professur für Baumaschinen

Literatur

Asadi, E.; Li, B.; Chen, I.-M., 2018. Pictobot: A Cooperative Painting Robot for Interior Finishing of Industrial Developments. IEEE Robotics & Automation Magazine, 25. Jg.: 82–94. <https://doi.org/10.1109/MRA.2018.2816972>

Bock, T.; Linner, T., 2015. Robotic Industrialization. Cambridge.

Canvas, o. J.: Canvas. Build. Zugriff: <http://canvas.ahilia.com/> [abgerufen am 14.12.2024].

ConBotics | Malerroboter | Painting Robot | Robotic, o. J.: Zugriff: <https://www.conbotics.com/> [abgerufen am 14.04.2024].

Nayak, R.R.; Ratolikar, M.D.; Richter, C.; Will, F., 2024. AutoSpritzBau: Revolutionizing Construction with Automated Modular Spraying System. In: Will, F.; Starke, M. (Hrsg.): 10. Fachtagung Baumaschinentechnik – Tagungsband: Automatisierung | Antriebssysteme | Bauverfahren. Dresden. <https://doi.org/10.25368/2025.391>

Nayak, R.R.; Richter, C.; Will, F., 2026. Auto-spritzbau: Automatisierter Spritz- und Sprühauftrag fließfähiger Baustoffe. Dresden. <https://doi.org/10.25368/2026.050>

Nayak, R.R.; Shakoorianfard, M.; Richter, C.; Will, F., 2026: Towards Construction 4.0 Spraying Technologies: Development of an Automated Modular Spraying System (AMSS) for Varying-Viscosity Coating Applications. In: IAARC – International Association for Automation and Robotics in Construction (Hrsg.): Proceedings of the 43rd International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2026). Singapur. <https://doi.org/10.22260/ISARC2026/0059>

OKIBO – Smart Robots For Construction Sites, o. J.: OKIBO. Zugriff: <https://okibo.com/> [abgerufen am 03.09.2024].

Nanyang Technological University, o. J.: OutoBot, an innovative robot to wash and paint high-rise buildings. Zugriff: <https://phys.org/news/2017-03-outobot-robot-high-rise.html> [abgerufen am 16.08.2024].

Projektbeteiligte

Technische Universität Dresden
Professur für Baumaschinen



ConBotics GmbH



J. Wagner GmbH



Ed. Züblin AG



Keyence Deutschland GmbH



SKM GmbH



DAW SE



Impressum

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG



Dieses Projekt wurde gefördert vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) aus Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau.

Aktenzeichen: 10.08.18.7-23.03
Projektlaufzeit: 10.23 bis 02.26
Bundesmittel in €: 197.665,24

Zuwendungsempfängende:
Technische Universität Dresden

Über Zukunft Bau

Mit dem Innovationsprogramm Zukunft Bau stärkt das BMWSB gemeinsam mit dem BBSR die Zukunfts- und Innovationsfähigkeit des Bausektors. Die Zukunft Bau Forschungsförderung schafft Vorbilder, die die Machbarkeit von neuen Ideen ausloten und die Baupraxis weiterentwickeln. Gefördert werden Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, die einen Gebäudebezug als Schwerpunkt haben und einen substantiellen Beitrag zur Bewältigung aktueller und künftiger Herausforderungen im Baubereich erwarten lassen.

zukunftbau.de

Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Wissenschaftliche Begleitung

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
Referat WB 3 „Forschung und Innovation im Bauwesen“
Guido Hagel
guido.hagel@bbr.bund.de

Autorinnen und Autoren

Rajesh Ranjan Nayak
Technische Universität Dresden
rajesh_ranjan.nayak@tu-dresden.de

Dr.-Ing. Christian Richter
Technische Universität Dresden

Prof. Dr.-Ing. Frank Will
Technische Universität Dresden

Redaktion

Technische Universität Dresden,
Professur für Baumaschinen

Stand

Februar 2026

Grafisches Konzept

www.sans-serif.de

Satz und Barrierefreiheit

www.deckermedia.de

Bildnachweis

Titelbild: Technische Universität Dresden,
Professur für Baumaschinen

Vervielfältigung



Dieses Werk ist lizenziert unter der Creative Commons-Lizenz Attribution – Share Alike 4.0 (CC BY-SA 4.0). Diese Lizenz erlaubt unter Voraussetzung der Namensnennung des Urhebers und der Weitergabe unter gleichen Bedingungen die Bearbeitung, Vervielfältigung und Verbreitung des Materials in jedem Format oder Medium für beliebige Zwecke, auch kommerziell. Nähere Informationen zu dieser Lizenz finden sich unter: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de/>.

Die Bedingungen der Creative-Commons-Lizenz gelten nur für Originalmaterial. Die Wiederverwendung von Material aus anderen Quellen erfordert ggf. weitere Nutzungsgenehmigungen durch den jeweiligen Rechteinhaber.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Zitierweise

Nayak, R. R.; Richter, C.; Will, F., 2026: AutoSpritzBau: Automatisierter Spritz- und Sprühauftrag fließfähiger Baustoffe. Herausgeber: BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Zukunft Bau – Forschung KOMPAKT 9/2026. Bonn. <https://doi.org/10.58007/12ad-7q89>

Bonn 2026
ISSN 2944-067X

Dieses Werk ging aus folgendem Forschungsbericht hervor:

Nayak, R. R.; Richter, C.; Will, F., 2026: AutoSpritzBau: Automatisierter Spritz- und Sprühauftrag fließfähiger Baustoffe. Dresden.

Hier geht es zum kostenfreien Forschungsbericht:

<https://doi.org/10.25368/2026.050>