

Blockchain-basierte Beauftragung eines 3D-Druckers

Tobias Korb, Gernot Gessner, Jochen Kaßberger

Mit der Blockchain-Technologie (BCT) wird die Digitalisierung von monetären Werten und digitalen Assets erstmals mit überschaubarem Aufwand möglich. Bereits 2008 wurde mit dem Bitcoin die erste Digitalwährung geschaffen, die aufgrund ihrer kryptografischen Eigenschaften bis heute durch Hacker nicht erfolgreich angegriffen werden konnte [1]. Blockchain-Implementierungen wie Ethereum bieten zudem die Nutzung von Smart Contracts (SCs). Diese Programmcodes werden dezentral auf der Blockchain abgespeichert, automatisiert ausgeführt und können in Echtzeit überwacht werden [2].

Die Motivation dieses Fachbeitrags erschließt sich aus der Fragestellung, welches Potenzial die Blockchain-Technologie für das Zusammenwachsen von IT und Produktionsanlagen bietet und umfasst die Entwicklung und Umsetzung eines Systemzusammenschlusses von Werkzeugmaschine und Blockchain.

Vom Produktionsmodell zur konkreten Realisierung

In Zusammenarbeit mit blockLAB Stuttgart haben das Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW) und das Stuttgarter Start-up-Unternehmen 51nodes GmbH einige Einsatzmöglichkeiten der Blockchain-Technologie in der Produktion formuliert, als Modell geplant und durch Umsetzung eines prototypischen Systems verifiziert. Das entwickelte Modell folgt einer prozessbasierten Darstellung der Produktionswertschöpfung vom Rohstoff über mehrere Produktionsschritte bis zur Auslieferung eines Produkts zum Kunden. Realisiert werden die einzelnen Wertschöpfungsschritte durch den Einsatz von Maschinenkapazitäten verschiedener Anbieter. Die Erstellung eines Produktes ergibt sich aus der Zusammenarbeit dieser Anbieter, wie in Abbildung 1 dargestellt.

Unterschiedliche Blockchain-Fähigkeiten finden sich in drei jeweils zweigeteilten Funktionsebenen wieder. Die Ebene der Nutzer- und Kapazitätsdaten umfasst die Teilnah-

meberechtigungen und verwaltet die Daten bezüglich der Maschinenkapazitäten der einzelnen Anbieter. Sie schafft die Grundlage eines durchgängigen Produktionsprozesses durch die digitale Koordination der Produktionsprozesse und der Anbieter-übergreifenden Zusammenarbeit. Auf der Ebene der Markt- und Vertragsdaten werden Preisbildungs- und Bezahlvorgänge sowie Vertragsinhalte und Rechte abgebildet. Anbieter können ihre verfügbaren Maschinenkapazitäten in einem Markt anbieten. Die digitale Abbildung von Vertrags- und Rechtebeziehungen wird in der letzten Ebene beschrieben. Sie schafft die Voraussetzung für digitale Geschäftsmodelle und ermöglicht die Erstellung digitaler Werteinheiten von Maschinen und Produkten. Diese Einteilung wird als „Tokenisierung“ bezeichnet und ermöglicht neue Finanzierungs- und Anlageinstrumente wie z. B. eine Return-on-Investment (RoI) Ausschüttung von Produktionsmaschinen in Echtzeit.

Als beispielhafter Anwendungsfall der im Modell vorgestellten Produktionskoordination wurde am ISW die Steuerung eines 3D-Druckers durch die Blockchain umgesetzt (s. Abbildung 3). Der Nutzer erstellt über die Bedienoberfläche der Maschine einen Auftrag zur Fertigung eines Bauteils und bestätigt diesen. Über ein internes Steuerungsmodul (DIH) werden die Eingaben des Nutzers registriert, umgewandelt und an den Smart Contract weitergeleitet. Aufgrund der Verwendung unterschiedlicher Kommunikationsprotokolle von Maschine und Smart Contract wird ein Gateway-Service für die Konvertierung der Nachrichtenformate zwischengeschaltet. Als Implementierung der Blockchain-Technologie kommt Ethereum zum Einsatz. Der entwickelte Smart Contract verwaltet die digitalen Werteinheiten in Form von Lizenzen, die zur Bezahlung von Druckaufträgen genutzt werden. Die fertiggestellten Aufträge werden zusammen mit dem Vertragsabschluss als Nachweis in der Blockchain gespeichert.

Verwaltung von Drucklizenzen

Der Erwerb von Lizenzen für den Druck von Bauteilen erfolgt über eine prototypische Web-Anwendung mit ein-

gebautem Ethereum-Client und kann, wie in Abbildung 4 dargestellt, mittels eines Google-Chrome-Browsers mit MetaMask Plugin aufgerufen werden. Die Lizenzen bezahlt der Nutzer mit der Ethereum-eigenen Währung Ether. Der Smart Contract als vertrauenswürdiger Vermittler speichert den Nachweis über den Kauf der Lizenzen in der Blockchain. Beim Start eines Produktionsauftrags überprüft der Smart Contract die erstellten Nachweise nach den geforderten Lizenzen. Diese werden vorgemerkt und stehen dem Nutzer nicht zur Bezahlung weiterer Druckaufträge zur Verfügung.

Besitzt der Nutzer die erforderlichen Berechtigungen sowie die notwendigen Lizenzen, erteilt der Smart Contract eine Freigabe für den Auftrag. Diese wird über den Gateway-Service zurück an die Maschine gesendet. Das Steuerungsmodul registriert die Freigabe durch den Smart Contract und gibt diese an die SPS weiter, die daraufhin mit der Ausführung des Auftrags beginnt. Die Fertigstellung des Werkstücks durch den 3D-Drucker wird von dem Steuerungsmodul an den Smart Contract gesendet, der daraufhin den Auftrag vertraglich und finanziell abschließt. Dabei werden die vorgemerkten Lizenzen abgebucht und auf das Konto des Maschineninhabers übertragen. Der Nachweis über den Vertragsabschluss wird kryptografisch gesichert auf der Blockchain abgespeichert. Diese Daten können dadurch von beiden Vertragspartnern über den Schlüssel des Auftrags abgerufen werden.

Steuerungserweiterung

Für die Erweiterung der Maschine zu einer kommunikationsfähigen Komponente werden eine allgemeine Beschreibung der zugänglichen Funktionen und Daten der Maschine (DI), ein von der Maschine unterstütztes Kommunikationsprotokoll sowie ein Steuerungsmodul (Data Interface Handler, DIH) benötigt. Die Schnittstelle wird in einer maschinen- und herstellerunabhängigen Sprache definiert, um eine Vereinheitlichung zu schaffen, mit der weitere Maschinen verschiedener Hersteller angebunden werden können. Das Steuerungsmodul (DIH) verknüpft die Datenschnittstelle mit der SPS und erweitert die bestehende Steuerung der Maschine um zusätzliche Ablaufregeln. Diese Ablaufregeln kombinieren Grundfunktionen der Maschine mit kommunikativen Aktionen. Die Maschine des prototypischen Systems verwendet eine Steuerung von Beckhoff. Als Wahl für die Kommunikationsschnittstelle wird daher das von Beckhoff eigens entwickelte ADS Protokoll verwendet. Die Ausführung des Steuerungsmoduls erfolgt als separates Modul mit eigenem Task.

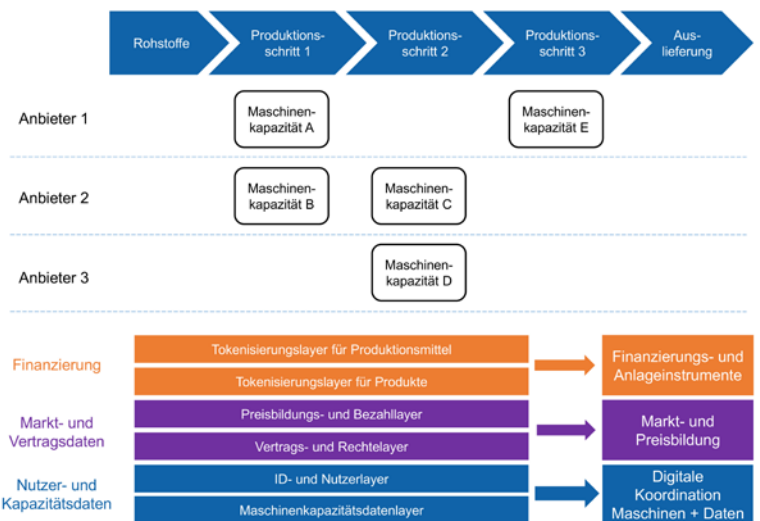


Abbildung 1: Ein Blockchain-basiertes Produktionsmodell. Abbildung: ©Universität Stuttgart

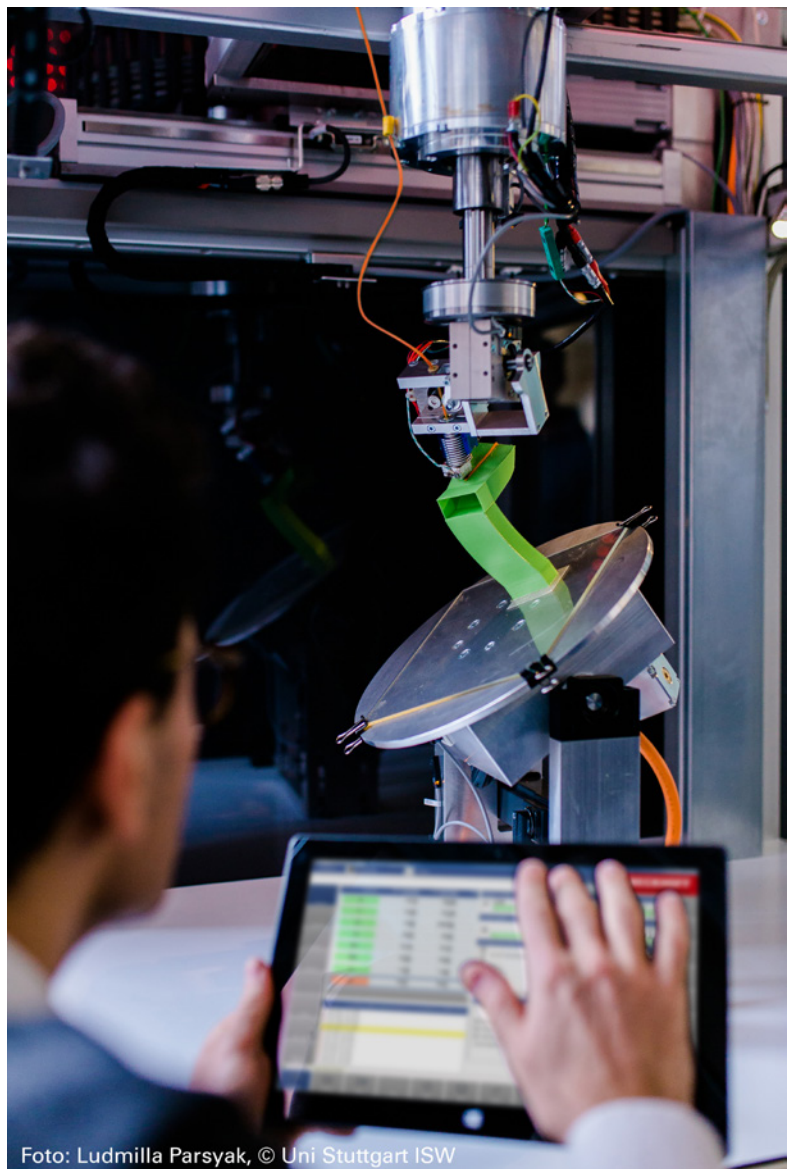


Foto: Ludmilla Parsyuk, © Uni Stuttgart ISW

Abbildung 2: Der 3D-Drucker der Universität Stuttgart bei der Arbeit.

3D Printer Smart Contract Prototype

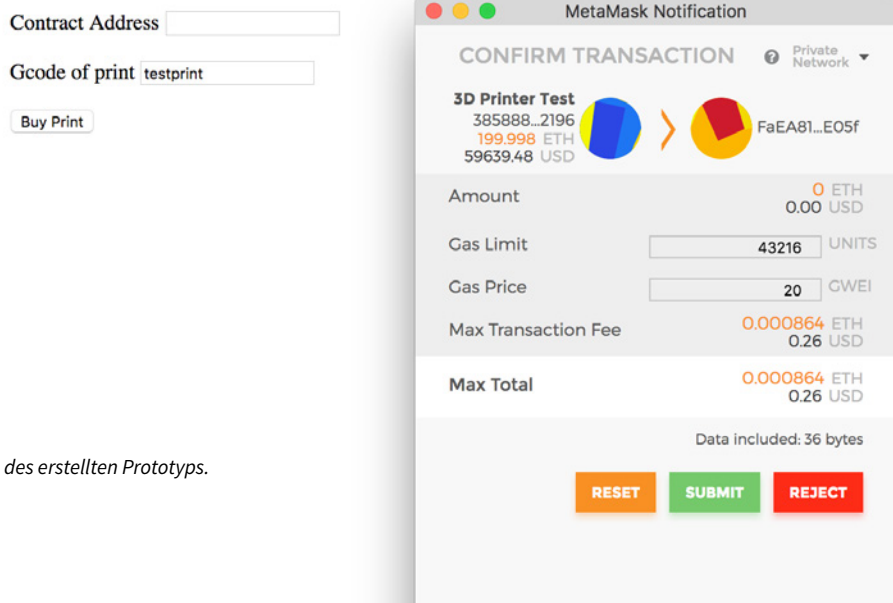


Abbildung 3: Der Aufbau des erstellten Prototyps.
Abbildung: © 51nodes

Ergebnisse und Erkenntnisse

Mit der Umsetzung des Prototyps konnte nachgewiesen werden, dass eine automatisierte Kommunikations- und Ablaufsteuerung zwischen Blockchain und Maschine implementiert werden kann. Der Prototyp ist in der Lage, nach der Startbestätigung durch den Nutzer, einen Fertigungsauftrag vollautomatisiert zu bearbeiten und abzurechnen. Aufgrund der Einsehbarkeit der in die Blockchain eingetragenen Transaktionen, konnte eine Prozesstransparenz der Ablaufsteuerung nachgewiesen werden. Im Zuge der Bearbeitung wurde eine Reihe von Fragen bezüglich der Gewährleistung der Privatsphäre von Nutzerdaten und der Sicherheit der Schnittstelle des Systems aufgeworfen, die einer weiteren Untersuchung bedürfen. Das beschriebene prototypische System umfasst diverse Schnittstellen und Services zwischen Maschine und Smart Contract, deren Notwendigkeit sich aus programmier- und netzwerktechnischen Zwängen ergibt.

Jede dieser Schnittstellen und Datenübergänge ist potenziell angreifbar und negiert den Vorteil der Blockchain als manipulationssichere Datenablage. Insbesondere muss die verwendete REST-Schnittstelle durch Einsatz von bewährten Sicherheitsverfahren der Web Security geschützt werden, um einen missbräuchlichen Eingriff in das System durch Unbefugte zu verhindern. Für eine marktreife Implementierung müssen deshalb einige der Architekturelemente überdacht, ggf. ganz eliminiert oder sorgfältiger abgesichert werden. Aus sicherheitstechnischer Betrachtung ist eine direkte Anbindung des 3D-Druckers an die Blockchain sowie das Hinterlegen des privaten Schlüssels in Hardware auf einem im Drucker fest verbauten Micro-Controller anzustreben. Aufgrund der proprietären Systeme, Schnittstellen und Protokolle auf Seiten der 3D-Drucker und den aktuell vor-

handenen Implementierungen von Ethereum Clients und Entwicklerwerkzeugen ist diese Lösung derzeit nur mit großem eigenen Aufwand machbar und wird deshalb Teil der zukünftigen Forschung am ISW.

Aussichten

Der umgesetzte Prototyp ist ein erster Schritt für die Integration der Blockchain-Technologie in die heutigen Produktionstechnologien. Die in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse dienen als Grundlage für weitere Projekte und Ziele. In weiteren Schritten können zusätzlich, begünstigt durch die Architektur des Systems, Funktionserweiterungen in den Prototyp integriert werden, um den Anforderungen der Produktion gerecht zu werden. Dazu zählt beispielsweise die Umsetzung eines Warteschlangensystems, um die zeitliche Kopplung zwischen Auftragserstellung und Bearbeitung zu lösen. Aufträge können jederzeit erstellt und zu einem späteren Zeitpunkt automatisiert bearbeitet werden. Die Einreihung und die Entnahme der Aufträge aus der Warteschlange werden durch einen separaten Smart Contract festgelegt und ausgeführt.

Begleitend mit der Entwicklung der Integration der Blockchain-Technologie können die vorhandenen Produktionsstrukturen auf Grundlage der neuen Technologie angepasst werden, mit dem Bestreben diese zu digitalisieren und infolgedessen flexibler zu gestalten.

Das Ergebnis dieser Gesamtentwicklung können anpassungsfähige dezentrale Produktionsstrukturen mit effizienter automatisierter Planung sein [3]. Die Einteilung und Zuweisung von Produktionsmaschinen erfolgt für die gesamte

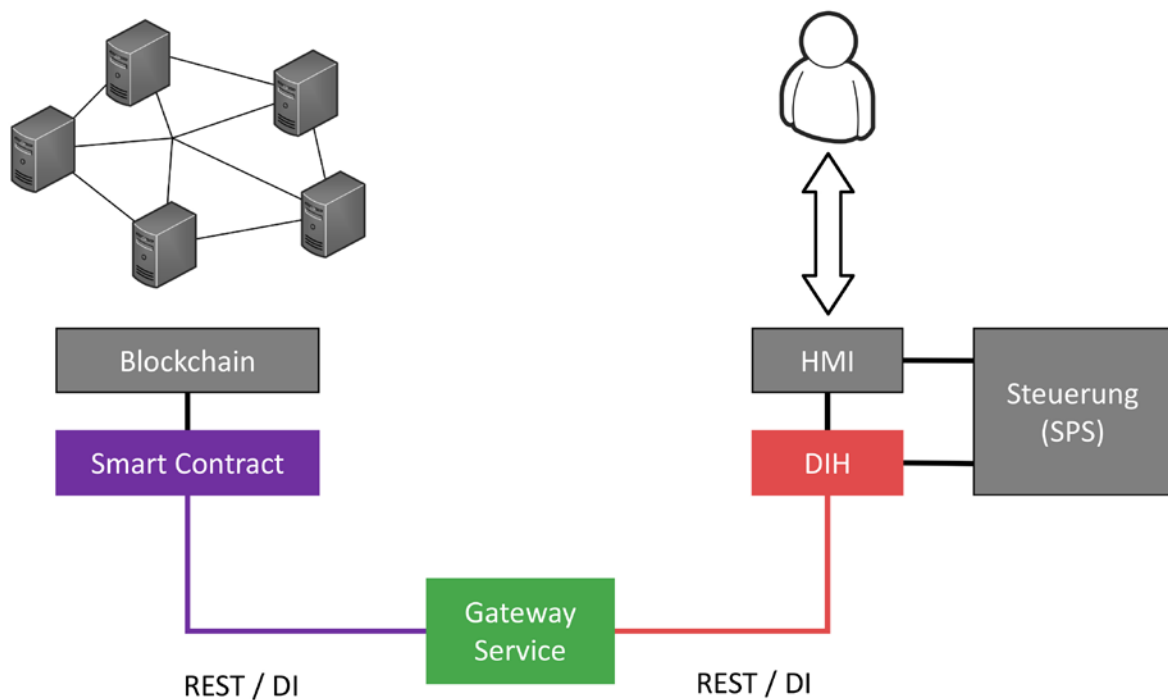


Abbildung 4: Die Web3-basierte Anwendung zum Erwerb von Drucklizenzen. Abbildung: ©Universität Stuttgart

Wertschöpfungskette und wird in Echtzeit überwacht. Die Fertigung von Produkten in geringer Stückzahl kann somit innerhalb kurzer Zeit durch ausgewählte Produktionsmaschinen in gewünschter Qualität erfolgen. Notwendige Entwicklungs-, Produktions- und Vertriebsaufwände werden durch Finanzinstrumente der Crypto-Economy abgebildet, sodass die Produktion einer Ware ganz ohne oder nur mit minimalem vorherigem Kapitaleinsatz denkbar wird.

Die Zusammenarbeit des ISW mit 51nodes und blockLAB Stuttgart eröffnet ein breites Spektrum an Entwicklung und Innovation für die Blockchain-Technologie in der Produktionstechnik. Das Interesse weiterer Vertreter aus der Industrie, wie beispielsweise Bosch und IBM, wird durch aktuelle Studien belegt [4] und zeigt, dass sich ein genauerer Blick auf die Technologie für die derzeit voranschreitende Digitalisierung der Industrie lohnen könnte.

Referenzen

- [1] S. Nakamoto. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. Abgerufen von: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- [2] Ethereum Foundation. (2013). A Next-Generation Smart Contract and Decentralized Application Platform. Abgerufen von: <https://github.com/ethereum/wiki/wiki/White-Paper>.
- [3] SyncFab. (2018). Decentralized Manufacturing: Creating the world's first peer-to-peer manufacturing supply

chain and incentivized token system adapted for public and private blockchains. Abgerufen von: https://blockchain.syncfab.com/SyncFab_MFG_WP.pdf

- [4] W. Holden. (2017). Survey: Enterprise interest in blockchain is heating up. Abgerufen von: <https://venturebeat.com/2017/09/25/survey-shows-enterprise-interest-in-blockchain-is-heating-up/>



Tobias Korb, M.Sc.

Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW)
70174 Stuttgart
Tel: +49 711 685 82325
tobias.korb@isw.uni-stuttgart.de



Gernot Gessner, B.Sc.

Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW)
70174 Stuttgart



Jochen Kaßberger

blockLAB Stuttgart
70174 Stuttgart
Tel: +49 163 300 23 23
kassberger@blocklab.de