

Lucerne University of  
Applied Sciences and Arts

# HOCHSCHULE LUZERN

Informatik

FH Zentralschweiz

## Mittels Blockchain und IoT zum Decentralized Autonomous Building

Tim Weingärtner

### Abstract

Smart contracts are becoming increasingly important. They enable the unchangeable mapping and independent processing of legal contracts on an underlying blockchain technology. With the programming language Solidity, Ethereum offers a basis for Smart Contracts, on which many applications are developed and operated. This article looks at applications in the field of digitisation of the building industry and examines how autonomy of buildings can be achieved using Smart Contracts, Blockchain, and Internet of Things. Various aspects of the life cycle of a building from planning to construction to operation are considered and described by means of concrete application ideas as well as already existing implementations. The concluding discussion points shows open problems and gives an outlook on possible further developments.

## Technical Report 4/2018

---

DOI: 10.5281/zenodo.1401737

## **The Technical Report Series**

Technical Reports in this series publish research results and working papers from the School of Information Technology at Lucerne University of Applied Sciences and Arts covering a wide range of topics.

## **Contact**

**Hochschule Luzern – Lucerne University of Applied Sciences and Arts  
Informatik – School of Information Technology**

Suurstoffi 41b  
Ch-6330 Rotkreuz  
Switzerland  
[www.hslu.ch/informatik](http://www.hslu.ch/informatik)

## **Impressum**

Edited by the School of Information Technology at Lucerne University of Applied Sciences and Arts.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License (CC-BY-NC 4.0).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.en>

# Mittels Blockchain und IoT zum Decentralized Autonomous Building

Tim Weingärtner<sup>1</sup>  
Hochschule Luzern - Informatik

## **Zusammenfassung**

Die Bedeutung von Smart Contracts nimmt einen immer grösseren Stellenwert ein. Smart Contracts ermöglichen die unveränderbare Abbildung und selbstständige Abwicklung von Verträgen auf einer zugrundeliegenden Blockchain Technologie. Ethereum bietet mit der Programmiersprache Solidity eine Basis für Smart Contracts, auf welcher viele Anwendungsfälle entwickelt und betrieben werden. Der vorliegende Artikel betrachtet Anwendung im Bereich der Digitalisierung des Bauwesens und untersucht, wie mittels Smart Contracts, Blockchain und Internet of Things eine Autonomie von Gebäuden erreicht werden kann. Dabei werden verschiedene Aspekte des Lebenszykluses eines Gebäudes von Planung über Bau bis zum Betrieb betrachtet und mittels konkreter Anwendungsmöglichkeiten sowie real bestehender Umsetzungen beschrieben. Die abschliessende Diskussion zeigt offene Problemstellungen auf und gibt einen Ausblick auf mögliche Weiterentwicklungen.

## **Schlüsselwörter:**

Decentralized Autonomous Building, Blockchain, Smart Contracts, BIM, IoT

## **Abstract**

Smart contracts are becoming increasingly important. They enable the unchangeable mapping and independent processing of legal contracts on an underlying blockchain technology. With the programming language Solidity, Ethereum offers a basis for Smart Contracts, on which many applications are developed and operated. This article looks at applications in the field of digitisation of the building industry and examines how autonomy of buildings can be achieved using Smart Contracts, Blockchain, and Internet of Things. Various aspects of the life cycle of a building from planning to construction to operation are considered and described by means of concrete application ideas as well as already existing implementations. The concluding discussion points shows open problems and gives an outlook on possible further developments.

## **Keywords:**

Decentralized Autonomous Building, Blockchain, Smart Contracts, BIM, IoT

---

<sup>1</sup> Suurstoffi 41b, CH 6343 Rotkreuz, [tim.weingaertner@hslu.ch](mailto:tim.weingaertner@hslu.ch), ORCID: 0000-0002-2183-1052

## 1 Das Disruptionspotential im Baugewerbe

Das Internet hat viele Geschäftsmodelle fundamental verändert. Gleiches wird den Technologien «Blockchain» und «Internet of Things» prophezeit. Dabei geht es nicht nur um Geschwindigkeit und Automatisierung. Es geht darum, dass sich gesamte Geschäftsmodelle verändern und damit neue Zusammenarbeitsmodelle entstehen. Anwendungsmöglichkeiten der Blockchain stehen deshalb auf der Agenda vieler Unternehmen. Dabei wird immer noch primär der Einsatz von Kryptowährungen betrachtet. Im Zuge des aktuellen Hypes im Bereich von ICOs (Initial Coin Offerings) und hohen Bitcoin Kursschwankungen ist dies verständlich. Das Potential von Smart Contracts, also selbstständig ausführbaren und auf einer Blockchain unveränderbar gespeicherten Verträgen, wird dabei oft bei Seite gelassen. Aber gerade hier liegt eine grosse Stärke der Blockchain. Smart Contracts verbinden die physische Welt mit der digitalen Welt. Dadurch können Maschinen sowohl mit Maschinen als auch mit Menschen Verträge eingehen und diese autonom abwickeln. Wenn man jedoch von solchen cyber-physischen Systemen (CPS) spricht, muss man ein zweites Fachgebiet berücksichtigen: Internet of Things. Sensoren und Aktoren ermöglichen Zustände von physischen Objekten zu erfassen und zu manipulieren. Durch die integrierte Kommunikationstechnologie wird die Verknüpfung mit der Blockchain hergestellt. IoT Geräte sind somit der verlängerte Arm der digitalen Welt, der in unsere physische Welt eingreift.

Im Bauwesen vollzieht sich derzeit ein grosser Wandel. Die Digitalisierung hält hier unter dem Stichwort BIM (Building Information Modelling) Einzug. Dabei ist BIM ein Vorgehensmodell und keine konkrete technische Anwendung. Es geht bei den verschiedenen Stufen von BIM darum, den Planungs- und Modellierungsprozess sehr detailliert und unter Einbezug aller beteiligten Parteien zu gestalten. So können viele Probleme und Konflikte bereits frühzeitig am Modell erkannt und behoben werden und treten nicht erst bei der Umsetzung auf der Baustelle auf, wo eine Korrektur deutlich höhere Kostenfolgen hat. Während die BIM Maturitätsstufen null und eins lediglich die 2D und 3D CAD Modellierung betrachten, startet ab Maturitätsstufe zwei die Kooperation der beteiligten Parteien. Zunächst nutzt jeder Beteiligte noch eigene Modelle und tauscht die elektronische Pläne zum Beispiel mittels des IFC Formats aus. Mit BIM Stufe drei arbeiten alle Beteiligte kollaborativ auf einer gemeinsamen Datenbasis, die stets die aktuellsten Planungsstände repräsentiert.

Bei BIM handelt es sich nicht um ein 3D Planungswerkzeug, sondern um die grundsätzliche Neugestaltung des Bauprozesses. Bisher war die Architektin oder der Architekt Dreh- und Angelpunkt der Planung. Wenn sich jedoch alle Akteure bereits in der Planungsphase einbringen, so müssen bisher bekannte Prozesse wie Ausschreibungsverfahren, Auftragsverhältnisse und Garantiefragen plötzlich neu definiert werden. Auch werden auf einmal agile Zusammenarbeitsmodelle für die Baubranche relevant. Ergebnis dieser digitalen Planung ist ein mehrdimensionales Modell mit allen Gewerken. Mehrdimensional deshalb, weil neben den drei räumlichen Dimensionen noch zeitlicher Ablauf, Kosten, Materialeigenschaften und viele weitere Informationen im Modell enthalten sind. Dieses Modell ist neben der Planung und der eigentlichen Bauphase auch für den späteren Betrieb sehr wertvoll. In diesem Zusammenhang wird auch das Akronym LCDM (Life Cycle Data Management) verwendet. Man ist sich mittlerweile einig, dass BIM die Art des Bauens

fundamental verändern wird, auch wenn sich dieses Bewusstsein in der Baubranche noch nicht durchgesetzt hat (Dastbaz et al. 2017).

Bringt man alle bisher erwähnten Themenfelder: BIM & LCDM, IoT, Blockchain und Smart Contracts zusammen so ergibt sich ein enormes disruptives Potential nicht nur für die Baubranche, sondern für alle Branchen, die mit Immobilien direkt oder indirekt involviert sind. Stellen wir uns vor, dass es nicht mehr einen Investor oder Immobilieneigentümer gibt, der den Bau beauftragt und das Gebäude später betreibt. Stattdessen erhalten alle Beteiligten am Bau und Betrieb einer Immobilie für ihre Leistungen einen entsprechenden Anteil an der Immobilie und der Rendite. Das bedeutet, dass sowohl Grundbesitzer als auch Handwerker oder Facility Manager gleichberechtigte Partner sind und sich ihre Einbindung nur in der Höhe der Anteile unterscheidet. Das Modell ist grundsätzlich nicht neu und ist in der Schweiz unter dem Namen Wohnungsbaugenossenschaften seit 1860 bekannt (Schmid 2005). Neu ist hingegen, dass sowohl Bau als auch Betrieb mittels einer Blockchain abgebildet werden. Die Anteile werden in Form von Kryptotokens verwaltet und können je nach Definition frei gehandelt werden. Der Wert dieser Tokens steigt mit dem erwirtschafteten Gewinn. Die vertraglichen Abmachungen können über Smart Contracts transparent und unveränderlich abgebildet werden. Plötzlich verschwindet die Rolle des Bauherrn und alle Parteien sind gleichberechtigte «Stakeholder» mit weniger oder mehr Anteilen am Gesamten. Im Firmenumfeld wurde dieses Prinzip mit einer DAO, also einer Decentralized Autonomous Organisation, bereits versuchsweise umgesetzt (Jentzsch 2016). Diese Firma basiert auf der Vertragstheorie und reduziert sich auf Smart Contracts und ein E-Voting System (Grassegger 2016). Gleiches kann man sich in der Immobilienbranche vorstellen. Nennen wir es DAB, Decentralized Autonomous Building. Ein DAB kann das heutige Verständnis von Immobilien, deren Besitzverhältnisse und deren Konstruktion fundamental verändern.

Im vorliegenden Artikel werden über die drei Entwicklungsstufen eines Gebäudes, der Planungsphase, der Bauphase und der Betriebsphase, Einsatzmöglichkeiten von Blockchain und IoT aufgezeigt (Kapitel 2). Daraus wird in Kapitel 3 das Gesamtbild eines DAB entwickelt. Kapitel 4 stellt offene Forschungsfragen zusammen, welche zur Umsetzung eine DAB noch fehlen. Die Diskussion und das Fazit runden das Bild ab.

## **2 Der Einsatz einer Blockchain in den drei Lebensphasen eines Gebäudes**

### **2.1 Planungsphase**

Wie oben beschrieben, ändert sich die Planung von Gebäuden mit der Anwendung von BIM, konkret ab BIM Maturitätsstufe drei, also dem kollaborativen Arbeiten mit vollem Datenaustausch, grundlegend (Dastbaz et al. 2017). Die Planung findet in einem Team aller beteiligten Planungsakteure, also Bauherr, Architekt, Statiker, Elektroplaner, Heizungsplaner und vieler weiteren statt. Dieser Prozess ist davon geprägt, dass grosse Datenmengen ausgetauscht werden müssen, dass parallel an gemeinsamen Daten gearbeitet wird und dass ein gegenseitiges Vertrauen aufgebaut werden muss. Für die Nachvollziehbarkeit, die Qualitätssicherung und die Klärung der Urheberrechte ist es wichtig, dass festgehalten wird, wer wann und welche Veränderung durchgeführt hat. In diesem Anwendungsfall kann eine Blockchain helfen, die Arbeitsstände und Versionen der Pläne zusammen mit Zeitpunkt und

Autor zu dokumentieren. Mit Verwendung einer Blockchain können die Dokumente fälschungssicher abgelegt werden und Urheberrechte nachgewiesen werden. Da es im Bau um grosse Summen geht, ist dies oft notwendig. Turk und Klinc (2017) beschreiben in ihrem Artikel ein solches System.

Als weiterer Anwendungsfall einer Blockchain in der Planungsphase kommt das Auftrags- und Vertragsmanagement in Frage. Die Ausschreibung von Arbeiten, der Vergabeprozess und die Erstellung von Verträgen nehmen einen grossen Anteil der Gesamtkosten ein. Dies geschieht sowohl in der Planungs- als auch in der Bauphase. Mit Hilfe von Smart Contracts können Arbeiten transparent ausgeschrieben werden und Dienstleister können ihre Angebote über diese Art eingeben. Der Vergabeprozess kann zum Beispiel über einen E-Voting Prozess aller beteiligten Anteilseigentümer durchgeführt werden. Somit wird das gesamte Vertragsmanagement automatisiert, transparent und nachvollziehbar abgewickelt. Zusätzlich kann über Smart Contracts die Bezahlung von geleisteten Arbeiten sichergestellt werden, was heute immer noch ein grosses Problem in der Baubranche darstellt (Hughes 2017).

## **2.2 Bauphase**

Der Übergang von Planungsphase zu Bauphase wird durch BIM fliegend. Es müssen auch während der eigentlichen Bauphase immer wieder Veränderungen und Korrekturen am Modell durchgeführt werden, so dass der oben beschriebene Umgang mit Planversionen weiterhin nötig ist. Daneben nimmt das Vertragsmanagement in dieser Phase einen wichtigen Stellenwert ein. Gerade wenn Pläne verändert werden hat dies Auswirkungen auf bereits bestehende Verträge. Die verwendeten Smart Contracts müssen somit flexibel auf solche Anpassungen reagieren können. Hinzu kommt in dieser Phase, dass mittels BIM die genauen Grössenordnungen des zu verbauenden Materials und auch detaillierte Arbeitszeitschätzungen existieren. Somit kann die Ausschreibung deutlich genauer erfolgen. Das hat direkten Einfluss auf die Möglichkeiten der Auswahl von Handwerkern, da sie auf feingranular definierte Arbeiten bieten und somit vergleichbarer werden.

Heute werden viele Bauten als eigene und einmalige Projekte abgewickelt, welche nach Ende nur wenig Informationen in das nächste Projekt übernehmen. Eine Blockchain kann dies ändern. Gemachte Erfahrungen, zum Beispiel über Arbeitsleistungen von Anbietern können im Rahmen eines Bewertungssystems gespeichert und in zukünftigen Projekten abgerufen werden. Diese Informationen können zum Beispiel bei der Auswahl von Anbietern im Rahmen des oben beschriebenen Wahlverfahrens genutzt werden. Schaub et al. (2016) schlagen ein auf einer Blockchain basierendes Verfahren vor, das die Anonymität der bewertungsgebenden Person schützt. Somit kann sichergestellt werden, dass keine Repressionen gegenüber Bewertungsgebern erfolgen. Im Rahmen dieser Beurteilung können auch Qualifikationen, wie zum Beispiel Abschlüsse, Zeugnisse oder beglaubigte Fähigkeiten über die einzelnen Arbeitnehmenden sicher in der Blockchain gespeichert werden. Im Bau ist dies aus zweierlei Hinsicht sinnvoll. Einerseits dürfen gewisse Arbeiten nur von befähigten Personen ausgeführt werden, andererseits sind Arbeiten mit Lohnklassen verbunden und schützen somit auch die Arbeitnehmenden vor Lohndumping. Eine dritte Anwendung in diesem Themenfeld ist die eigentliche Erfassung der Arbeitszeit, welche über heute bereits bestehende Zutrittssysteme erfasst und in der Blockchain gespeichert werden kann. Der

Einsatz einer Blockchain für diese Anwendungen hilft neben der Vergabe und Verrechnung der Leistungen auch bei Kontrollen auf der Baustelle. So stellt die Blockchain eine transparente und aktuelle Aufzeichnung der ausgeführten Arbeiten und anwesenden Arbeitnehmer dar. Langwieriges Suchen in unterschiedlichen Aufzeichnungssystemen bei Kontrollen entfällt somit. Pinna A und Ibba S (2017) beschreiben in ihrem Artikel ein solches System für Temporärarbeitnehmende.

Neben Verträgen mit Anbietern kann die Blockchain in der Bauphase helfen, verbaute Komponenten zu überprüfen. Auch wenn die Beurteilung vieler Leistungen wahrscheinlich noch lange durch den Menschen durchgeführt werden muss, so können in einigen Fällen Sensoren hinzugenommen werden, zum Beispiel bei der Messung von Feuchtigkeit in Betonböden und -wänden. Weiterhin helfen digitale IDs an Bauteilen oder Geräten, den Herkunftsort und die Materialeigenschaften zu überprüfen. Diese können dann direkt mit den Angaben aus den BIM Plänen überprüft werden. Die Blockchain spielt dabei die Rolle einer unveränderbaren Ablage von Signierungen der IoT Geräte. In Deloitte und Rissle&Code (2017) ist ein derartiges System beschrieben. Dabei stellt die Integration von Sensordaten in die Blockchain ein grosses Forschungsfeld dar. Da die einzelnen Sensoren auf Grund ihrer beschränkten Rechen- und Speicherfähigkeiten nicht als eigene Blockchain-Knoten genutzt werden können, braucht es neue Konzepte, wie die Werte fälschungssicher in der Blockchain abgelegt werden können. Man nutzt heute Oracles, welche externe Daten in der Blockchain verfügbar machen. Diese Schnittstellen sind jedoch ein verwundbarer Punkt, wenn es um die Sicherstellung der Datenherkunft geht (Norta et al. 2017).

Ein fünftes Anwendungsfeld der Blockchain in dieser Phase ist die eigentliche Ausführung von Bautätigkeiten. Bereits gibt es erste Ansätze von 3D Druck im Bau (Hack und Lauer 2014, Wu et al. 2016). Mit dem Ausbau dieser Technologie und einem breiteren Einsatz kommt der Vertragsgestaltung zwischen Maschinen und der Verbindung dieser Verträge zu den Plänen im BIM eine bedeutende Rolle zu. So können Ausschreibung, Vergabe und Abwicklung maximal automatisiert werden. Smart Contracts stellen dabei das Fundament für alle Phasen der Umsetzung dar.

### **2.3 Betriebsphase**

Der Schwerpunkt der Anwendung von BIM liegt heute in der Planungs- und Bauphase. Nichtsdestotrotz wird der Betriebsphase jedoch das grösste Einsparungspotential durch BIM und LCDM zugeschrieben. Diese Phase ist die kostenintensivste des gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes, da der tägliche Unterhalt sowie die Betriebskosten sich über die lange Nutzungsdauer aufsummieren. Aus diesem Grund versuchen Eigentümer und Facility Manager durch die Anwendung von BIM Einsparungspotentiale zu nutzen. Das reicht von der nutzungsabhängigen Reinigung bis hin zur automatisierten Bestellung von Dienstleistungen. In Kombination mit der Blockchain Technologie ergeben sich weitere spannende Use Cases mit hohem Einsparungspotential.

Ein naheliegender Anwendungsfall von Smart Contracts ist die Vermietung von Räumlichkeiten. Dabei können Smart Contracts verschiedenste Mietverhältnisse abbilden. Dadurch können sowohl finanzielle Abgeltung wie auch Zugangsrechte systemintegriert

geregelt werden. So erlaubt zum Beispiel die Verbindung eines IoT Schliesssystems mit einer Blockchain die konkrete Umsetzung von temporären Mietverhältnissen. Dies wurde in der Forschungsarbeit von Hirzel und Schmid (2017) mittels eines Prototypenbaus, einer Ethereum Blockchain und Solidity Smart Contracts verifiziert. Der Zugang zu diesen Verträgen kann zum Beispiel über eine mobile DApp (Decentralized Applications) sichergestellt werden. Wie oben bereits beschrieben liegt hier eine der Hauptschwierigkeiten des Einsatzes von Blockchain-basierten Systemen. Die IoT Geräte sind generell nicht für den Betrieb als eigenen Blockchain-Knoten geeignet und nehmen damit nicht aktiv am Konsensmechanismus teil. Dies ist in der geringen Rechen- und Speicherkapazität sowie der beschränkten Energiequellen begründet. Erste Ansätze, wie zum Beispiel die Nutzung des Whisper Protokolls von Ethereum (Hirzel und Schmid 2017), sind vielversprechend. Diese sogenannten Offchain Protokolle werden derzeit ausgiebig untersucht, da sie die Skalierung bestehender Blockchains, wie der Bitcoin Blockchain, und damit einen grossen Performancegewinn erlauben (Poon und Dryja 2016).

Neben der Nutzung wird ein Gebäude in der Zukunft auch bei der Energieversorgung eine wichtige Rolle spielen. Eigenversorgungsgemeinschaften, also der gegenseitig Energiehandel zwischen Kleinstproduzenten und -konsumenten (Prosumer), rücken immer stärker in den Fokus. Die Abrechnung zwischen Energieerzeugung und Energiebezug kann über die Blockchain abgewickelt werden. So bietet das Startup Hivepower<sup>2</sup> eine Lösung für Smart Meter auf Basis der Ethereum Blockchain. Kann die Effizienz bei der Stromerzeugung noch weiter gesteigert werden, so kann ein Gebäude in der Zukunft neben dem eigenen Energiebedarf auch den anderer decken, sei dies als Versorger für die E-Mobilität seiner Nutzer oder den Verkauf an umliegende Gebäude. Die Blockchain spielt dabei eine zentrale Rolle für die vertragliche Absicherung und die Leistungsabrechnung.

Geht man tiefer in die Substrukturen, so können durch die Verbindung von IoT Daten mit den mehrdimensionalen Modellen aus BIM und der Verknüpfung zu Smart Contracts auf der Blockchain viele neue Servicemodelle geschaffen und automatisiert abgerechnet werden. So werden zum Beispiel Bewegungsdaten dazu genutzt die Häufigkeit von Putzinterfällen zu steuern (Thingdust<sup>3</sup>). Dieser Wandel zu einem Pay-per-use Geschäftsmodell ist in der gesamten Baubranche zu beobachten. Durch den Einsatz von IoT Sensoren für die Vorhersage von Ausfällen (Predictive Maintenance), wie zum Beispiel mittels Geräuschanalysen bei Motoren (Nelson 2015), werden solche Geschäftsmodelle rentabel für Anbieter. Die Abwicklung dieser Geschäftsmodelle kann über Smart Contracts geschehen. Dies setzt voraus, dass die IoT Sensoren direkt mit der Blockchain verbunden sind.

### **3 Das Gesamtbild eines DAB**

Abbildung 1 fasst die obigen Einzellösungen zu einem Gesamtbild zusammen. Das DAB ist dabei keine monolithische Gesamtlösung, sondern ein modulares Gebilde, das auf einer verteilten und unveränderbaren Datenbank basiert. Die Einzeldienste können flexibel erstellt, ergänzt und verwaltet werden. Eine wichtige Eigenschaft dieser auf einer Blockchain

---

<sup>2</sup> <https://www.hivepower.tech/>

<sup>3</sup> <https://thingdust.com/>



basierenden Datenbank ist die Fähigkeit der Ausführung von Smart Contracts. Durch diese selbstständige Abwicklung von Verträgen ist gewährleistet, dass Geschäftsbeziehungen unter den Partnern eingehalten und abgewickelt werden. Das DAB stellt dabei ein eigenes Ökosystem dar, welches autonom agiert und vom kommerziellen Interesse aller Beteiligten angetrieben wird.

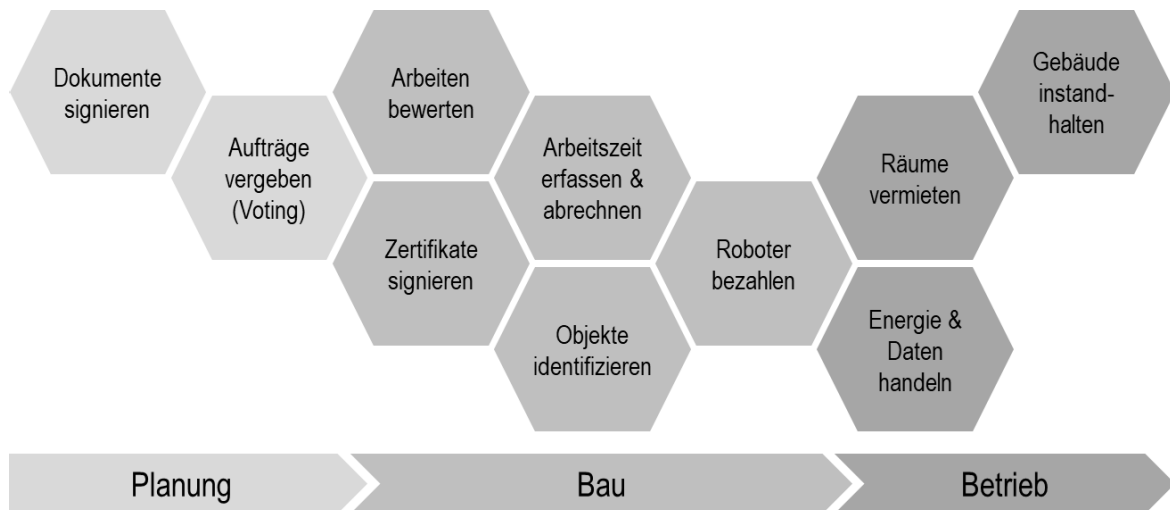


Abbildung 1: Mögliche Bestandteile eines Decentralized Autonomous Buildings

### 3.1 Warum eine Blockchain?

Eine wichtige Frage, die für die Gesamtlösung und jedes der oben beschriebenen Szenarios diskutiert werden muss ist, ob der Einsatz einer Blockchain überhaupt indiziert ist. Heute werden an vielen Orten Blockchains eingesetzt, obwohl dies eigentlich nicht erforderlich wären. Viel zu oft ist die innovative, marketinggetriebene Aussenwirkung Zweck des Einsatzes einer Blockchain. Wüst und Gervais (2017) haben in ihrem Artikel einen einfachen Entscheidungsbaum entwickelt, um grundsätzlich zu klären, ob der Einsatz der Blockchain Technologie sinnvoll ist oder, ob eine einfache Datenbankanwendung ausreichend ist.

Für den oben skizzierten Anwendungsfall eines DAB wurde dieser Entscheidungsbaum in Abbildung 2 dargestellt. Der relevanteste Entscheidungsknoten ist der Dritte: «Gibt es eine vertrauenswürdige Drittpartei?», also eine Trusted Thirdparty, welche somit eine zentrale Datenbank zur Verfügung stellen könnte. In diesem Punkt entscheidet sich auch der Charakter der gesamten Lösung. Geht man nämlich davon aus, dass das Gebäude oder der Eigentümer des Gebäudes diese Drittpartei darstellt, so rückt man vom revolutionären Ansatz eines Decentralized Autonomous Buildings ab und wechselt zum herkömmlichen Eigentümermodell eines Gebäudes. Ein DAB im Sinne dieses Artikels ist jedoch viel mehr. Es ist ein sich selbst organisierendes Ökosystem, welches alle Beteiligten zu Eigentümer macht. Damit tendiert es zum Prinzip einer Genossenschaft, welche Gewinne aber auch Risiken auf alle Genossenschaftlern verteilt.

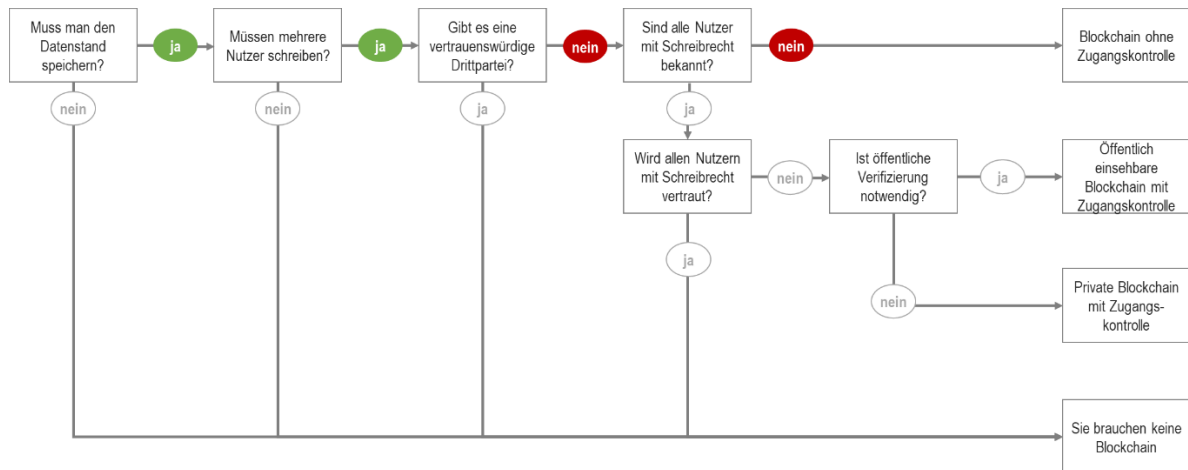


Abbildung2: Entscheidungsbaum – Braucht es eine Blockchain?

## 4 Offene Forschungsfragen

Bis zur ersten Realisierung eines DAB braucht es noch die Lösung vieler Einzelfragestellungen. Die Autonomie eines solchen Ökosystems kann jedoch auch schrittweise erfolgen. Dabei sind die offenen Forschungsfragen auf verschiedene Themengebiete verteilt. Im Folgenden werden die aus der obigen Analyse hervorgegangenen Fragestellungen kurz erklärt.

### 4.1 Technologische Aspekte

#### 4.1.1 Blockchain

**Effizienz:** Heutige Blockchain Lösungen stossen auf Grund des erhöhten Energiebedarfs für das Proof of Work Konsensprotokoll vermehrt auf die Frage nach ihrer Sinnhaftigkeit. Neue Protokolle, wie Proof of Stake, können die Lösung sein. Hier sind derzeit grosse Veränderungen im Gange und machen den Aufbau einer stabilen Basisinfrastruktur schwer.

**Stabilität der Kryptowährung:** Da Kryptowährungen vermehrt für Spekulationen genutzt werden, schwanken deren Werte in Relation zu sogenannten FIAT Währungen, wie CHF, EUR oder USD, enorm. Es bestehen Ansätze, Kryptowährungen an reale Werte wie Gold oder Immobilien zu koppeln. Für das Funktionieren des oben beschriebenen Ökosystems ist eine stabile Wertanlage zwingend nötig, da nur so das Vertrauen aller Beteiligten in eine langfristige Anlage gewonnen werden kann.

#### 4.1.2 Schnittstellen

**Oracle:** Die sichere Anbindung von Geräten, Datenquellen und Eingabe-/Ausgabegeräten an die Blockchain ist eine zentrale Voraussetzung. Wie in Kapitel 2 beschrieben, wird die Sicherheit und Vertrauenswürdigkeit der Blockchain durch das unsicherste Glied definiert. Dies ist der Ort, wo externe Daten in die Blockchain integriert werden und die Korrektheit und Quelle dieser Daten sichergestellt werden muss. Vor allem bei der Einbindung von IoT Geräten ist dies zwingend nötig.

**Komplexität:** Die Komplexität eines solchen Ökosystems wird durch die Anzahl der Teilnehmer und die Anzahl der verschiedenen Schnittstellen bestimmt. Es besteht die Gefahr,

dass durch die erhöhte Komplexität Fehler im System oder in Smart Contracts unentdeckt bleiben und mit grossen Konsequenzen verbunden sind. Die Reduktion der Komplexität muss daher oberstes Ziel beim Aufbau sein.

#### 4.1.3 Smart Contracts

**Programmierung:** Smart Contracts sind ein mächtiges Werkzeug. Die Programmiersprachen entwickeln sich derzeit noch sehr dynamisch. Solidity ist dabei eine der Wichtigsten. Anders als bei anderen Programmen können Smart Contracts, wenn sie einmal aktiviert wurden, nicht verändert werden. Selbst für Informatiker ist die Entwicklung fehlerfreier Programme eine Herausforderung. Dies haben verschiedene Softwarelücken bei Smart Contracts bewiesen. Für Nicht-Informatiker ist das Verstehen der Inhalte eines Smart Contracts fast unmöglich. Aus diesem Grund müssen neue Repräsentationen gefunden werden, welche es auch Nicht-Informatikern erlauben die Konsequenzen von Smart Contracts zu verstehen. Weingärtner et al. (2018) haben hier einen ersten Ansatz präsentiert.

**Fehlertoleranz:** Da mögliche Fehler nicht ausgeschlossen werden können, müssen Smart Contracts so entwickelt werden, dass allfällige Fehler im Konsens der beteiligten Parteien bereinigt werden können. Dies kann zum Beispiel durch die vorzeitige Beendigung des Vertrages und das erneute eingehen einer bereinigten Version geschehen.

#### 4.2 Rechtliche Aspekte

**Rechtsgültigkeit:** Derzeit ist die Rechtsgültigkeit von Smart Contracts noch nicht abschliessend geklärt. Auch wenn das Vertragsrecht klare Aussagen macht, bleiben Unsicherheiten, z.B. bei der Frage, ob alle Parteien den Vertragsinhalt verstanden haben, wie ein Rücktritt umgesetzt wird, oder welches das anwendbare Recht ist. Rechtssicherheit ist eine zwingende Voraussetzung, möchte man Geschäftsmodelle auf Smart Contracts aufbauen.

**Datenschutz:** Die Daten sind in einer Blockchain unveränderbar gespeichert. Die Möglichkeit des Löschens oder «elektronischen Vergessens» besteht nicht. Gerade im Hintergrund der aktuell geführten Diskussion um GDPR gibt es noch viele ungeklärte Fragestellungen.

**Steuern:** So lange es sich bei den Teilnehmern an dem Ökosystem um juristische oder natürliche Personen handelt, ist die Steuerfrage geklärt. Wie aber werden Maschinen besteuert? Kann eine Maschine einen Ertrag erwirtschaften und diesen selbständig verwalten? Welches Steuerrecht gilt bei einer globalen Ausführung von Smart Contracts? Diese und viele weitere Fragen gilt es zu beantworten, um den Beteiligten Rechtssicherheit zu gewährleisten.

#### 4.3 Wirtschaftliche Aspekte

**Neue Geschäftsmodelle:** Das oben beschriebene Ökosystem bietet eine ganze Reihe an Möglichkeiten für neue Geschäftsmodelle. Welche sich wirklich bewähren und welche ökonomischen Messgrössen dafür relevant sind, muss sich noch herausstellen.

**Anreizsysteme:** Das beschriebene Modell funktioniert nur, wenn alle notwendigen Parteien ein Eigeninteresse zur Teilnahme haben. Dafür sind Anreizsysteme nötig, welche nicht nur

monetäre Aspekte beinhalten. Der Entwicklung dieser Anreizsysteme kommt eine entscheidende Aufgabe zu.

**Ökonomische Risiken:** Durch die fundamentale und disruptive Änderung des Verständnisses von Immobilien können nicht nur neue Geschäftsmodelle entstehen. Es werden auch bestehende Geschäftsmodelle verschwinden. Welche Auswirkungen dies auf die Wirtschaft eines Landes haben kann, ist heute schwer abschätzbar. Sicher ist jedoch, dass das Potential für weitreichende Auswirkungen gegeben ist.

#### **4.4 Gesellschaftliche Aspekte**

**Neue Zusammenarbeitsmodell:** Wie oben beschrieben bringt BIM bereits fundamentale Änderungen von Zusammenarbeitsmodell im Bauwesen mit sich. Die Blockchain-basierte Abwicklung von Verträgen und die genossenschaftliche Handhabung von Eigentum wird noch grössere Veränderungen bei Auftragsverhältnissen mit sich bringen.

**Neue Besitzmodelle:** Das beschriebene Konzept eines DAB ändert fundamental unser Verständnis von Eigentumsbesitz. In einer Sharing Economy, in welcher der gemeinschaftliche Besitz zur Normalität wird, können sich solche Modelle durchsetzen. Sie bedingen jedoch das Umdenken und die Offenheit aller Beteiligten.

### **5 Diskussion und Ausblick**

Im vorliegenden Artikel wurde die Idee eines Decentralized Autonomous Building (DAB) vorgestellt, die zentrale Bedeutung der Blockchain-Technologie erörtert und die weiteren wichtigen Technologien und deren Wechselwirkungen erklärt. Es konnte gezeigt werden, dass ein solches System aus viele Einzelkomponenten aufgebaut ist, welche unabhängig entwickelt und eingesetzt werden können. Die Notwendigkeit für die Blockchain Technologie begründet sich dabei im fundamental anderen Verständnis von Besitz und Verantwortung. Möchte man das Konzept eines genossenschaftlichen Ökosystems Immobilie oder Areal umsetzen, ist eine Blockchain eine zwingende Voraussetzung.

Das disruptive Potential der Blockchain-Technologie in Verbindung mit dem Internet of Things ist gerade in der Immobilienbranche vorhanden. Damit möglichen Funktionalitäten können fundamental bestehende Geschäftsmodelle verändern. Die bereits existierenden Forschungsarbeiten zeigen, dass viele Einzelaspekte bereits abgeklärt und prototypisch implementiert wurden. Offene Fragestellungen adressieren neben den technischen Aspekten ökonomische, juristische und soziologische Gesichtspunkte. Sicher ist, dass Blockchain und IoT die Art wie wir mit Eigentum umgehen stark verändern werden.

## Literatur

Dastbaz M, Gorse C, Moncaster A (Eds.) (2017) Building Information Modelling, Building Performance, Design and Smart Construction. Springer.

Deloitte, Rissle&Code (2017) [https://www.riddleandcode.com/s/RIDDLECODE\\_Deloitte\\_Report\\_IoT\\_powered\\_by\\_Blockchain](https://www.riddleandcode.com/s/RIDDLECODE_Deloitte_Report_IoT_powered_by_Blockchain). Gesehen 17. Juni 2018

Grassegger H (2016) Die erste Firma ohne Menschen. <https://www.zeit.de/digital/internet/2016-05/blockchain-dao-crowdfunding-rekord-ethereum>. Gesehen 1. Juni 2018

Hack N, Lauer WV (2014) Mesh-Mould: Robotically Fabricated Spatial Meshes as Reinforced Concrete Formwork. *Architectural Design*, 84(3), 44-53.

Hirzel D, Schmid A (2017) Blockchain IoT: Anwendung von Blockchain im Internet of Things. Bachelor Diplomarbeit an der Hochschule Luzern – Informatik, Rotkreuz.

Hughes D (2017) <https://medium.com/@hangadave/the-future-of-collaboration-in-construction-is-trust-backed-by-blockchain-b0c81d54402a>. Gesehen 17. Juni 2018

Jentzsch C (2016) Decentralized autonomous organization to automate governance. <https://download.slock.it/public/DAO/WhitePaper.pdf>. White paper. Gesehen 26. Juni 2018

Nelson P (2015) New sound monitoring by IoT can predict mechanical failure <https://www.networkworld.com/article/2946195/internet-of-things/new-sound-monitoring-by-iot-can-predict-mechanical-failure.html>. Gesehen 17. Juni 2018

Norta A, Vedeshin A, Rand H, Tobies S, Rull A, Poola M, Rull T (2017). Self-aware agent-supported contract management on blockchains for legal accountability. [http://whitepaper.agrello.org/Agrello\\_Self-Aware\\_Whitepaper](http://whitepaper.agrello.org/Agrello_Self-Aware_Whitepaper). Gesehen: 1.6.2018

Pinna A, Ibba S (2017) A blockchain-based Decentralized System for proper handling of temporary Employment contracts. arXiv preprint arXiv:1711.09758.

Poon J, Dryja T (2016) The bitcoin lightning network: Scalable off-chain instant payments. <https://www.weusecoins.com/assets/pdf/library/Lightning%20Network%20Whitepaper.pdf>, draft version 0.5, 9, 14. Gesehen 26. Juni 2018

Schaub A, Bazin R, Hasan O, Brunie L (2016) A trustless privacy-preserving reputation system. In IFIP International Information Security and Privacy Conference (pp. 398-411). Springer, Cham.

Schmid P (2005) Die Wohnbaugenossenschaften der Schweiz. <https://www.wbg-zh.ch/wp-content/uploads/2012/04/Die-Wohnbaugenossenschaften-der-Schweiz.pdf>. Gesehen 28. Juni 2018

Turk Ž, Klinc R (2017) Potentials of Blockchain Technology for Construction Management. *Procedia Engineering*, 196, 638-645.

Weingärtner T, Rao R, Ettl J, Suter P, Dublanc P (2018) Smart contracts using Blockly - Representing a purchase agreement using a graphical programming language. *IEEE Crypto Valley Conference*, Zug.

Wüst K, Gervais A (2017) Do you need a Blockchain? *IACR Cryptology ePrint Archive*, 2017, 375.

Wu P, Wang J, Wang X (2016) A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry. *Automation in Construction*, 68, 21-31.