

Krypto-Token und dezentrale Finanzanwendungen

Dezentrale Finanzanwendungen erbringen finanzwirtschaftliche Dienstleistungen in Verbindung mit Krypto-Token in dezentralen Netzwerken und ersetzen dabei Intermediäre wie Banken, Börsen oder Versicherungen. Dieser dynamisch wachsende Bereich erweist sich als sehr innovativ und entwickelt zunehmend Berührungspunkte mit dem konventionellen Finanzsystem.

Die Netzwerkakteure nutzen die Blockchain-Technologie und Programmcodes, die frei verfügbar (Open Source) bereitgestellt und weiterentwickelt werden. Dabei sollen technische Lösungen wie algorithmisch gesteuerte Konsensmechanismen und automatisiert ablaufende Programme in Form sogenannter Smart Contracts das Vertrauen in Intermediäre ersetzen und die angebotenen Finanzdienstleistungen möglichst frei von administrativen Eingriffen halten. Die Geschäftsfälle in dezentralen Finanzanwendungen ähneln denen des konventionellen Finanzsystems. So gibt es dezentrale Handelsplattformen, dezentrale Formen der Kreditvergabe oder des Einlagengeschäfts, dezentral erzeugte Stablecoins, dezentral emittierte und gehandelte Derivate sowie erste Formen dezentraler Versicherungen.

Dezentralität hat viele Dimensionen und erscheint in Reinform eher als theoretisches Konstrukt. Auch die praktisch genutzten dezentralen Finanzanwendungen bedienen sich beispielsweise zentral gesteuerter Governance-Prozesse zur Stabilisierung oder zur Korrektur von Programmfehlern. Letztlich kann auch das konventionelle Finanzsystem in seiner Gesamtheit als Mischform aus zentralen und dezentralen Strukturen interpretiert werden.

Der noch im Anfangsstadium befindliche Bereich dezentraler Finanzanwendungen steht vor wichtigen Herausforderungen: Softwarefehler bergen Sicherheitsrisiken, deren Einhegung mit zentralen administrativen Strukturen gelingen könnte; nicht alle programmierten Anreizsysteme sind in der Lage, Fehlverhalten vollständig zu vermeiden; die verwendeten öffentlichen Blockchains können größere Geschäftsvolumina oft nicht bewältigen; die Interoperabilität zwischen verschiedenen Blockchains und mit nicht blockchainbasierten Systemen ist eingeschränkt, und die Vernetzung ermöglicht das Überspringen von Problemen einer Anwendung auf andere, mit entsprechenden potenziellen Risiken für das gesamte Ökosystem.

Soweit die Risiken eingehegt werden können und eine effektive Governance gewährleistet wird, dürften von dezentralen Finanzanwendungen wichtige Impulse für das Finanzsystem ausgehen. So könnten die verwendeten Technologien vom konventionellen Finanzsystem übernommen werden. Zudem könnte die Governance einzelner dezentraler Finanzanwendungen zentrale Strukturen ausbilden, sodass diese Teil des konventionellen Finanzsystems werden. Denkbar wäre auch, dass Teile des konventionellen Finanzsystems verdrängt werden, oder dieses – als Intermediär – seinen Kunden einen Zugang zu dezentralen Finanzdienstleistungen anbietet.

Insgesamt dürften dezentrale Finanzanwendungen Innovationen im konventionellen Finanzsystem fördern. Eine effektive Regulierung dezentraler Finanzanwendungen könnte das Vertrauen in dieses Marktsegment erhöhen und ihm damit einen Wachstumsschub verleihen, wenngleich die Regulierung dabei vor besonderen Herausforderungen steht.

Ursprung und Grundidee dezentraler Finanzanwendungen

Dezentrale Finanzanwendungen erbringen finanzwirtschaftliche Dienstleistungen in Verbindung mit Krypto-Token

In den letzten zehn Jahren hat das Finanzsystem insbesondere durch Krypto-Token¹⁾ wie Bitcoin und Ether Innovationen erfahren. Krypto-Token erregen zwar vor allem wegen ihrer volatilen Wertentwicklung große Aufmerksamkeit, stoßen aber auch in technologischer Hinsicht auf Interesse. So zeigt sich die anhaltende Innovationskraft dieser auf der Distributed-Ledger-Technologie (DLT)²⁾ basierenden Entwicklungen zum Beispiel in der Emission von Stablecoins, der fast weltweit geführten Diskussion über tokenisierte Geldformen, darunter auch digitales Zentralbankgeld, und in der sukzessiv zunehmenden Anwendung der DLT für Abwicklungen im konventionellen Finanzsystem.³⁾ Daneben wurde mittlerweile eine breite Palette von sogenannten dezentralen Finanzanwendungen entwickelt. Diese bieten, basierend auf dezentralen Netzwerken, die Abwicklung verschiedener Finanzdienstleistungen im Zusammenhang mit Krypto-Token an, ohne dass zentrale Intermediäre wie Banken, Börsen oder Versicherungen benötigt werden. Die Anwendungsfälle ähneln denen des konventionellen Finanzsystems. So gibt es beispielsweise Krypto-Token-basierten Handel oder besicherte Kreditvergabe in Krypto-Token.

Dezentralität meint zunächst „ohne Intermediäre“, ...

Die Eigenschaft der Dezentralität eines Netzwerks wird unterschiedlich definiert. Ein oft verwendeter Ausgangspunkt bei der Definition ist die Intermediationsfreiheit.⁴⁾ Dabei finden Transaktionen direkt zwischen den Netzwerkteilnehmern ohne Intermediäre statt. So müsste etwa bei einer handelsüblichen Überweisung zwischen zwei Akteuren mindestens eine kontoführende Stelle eingebunden werden. Die Einbindung von Intermediären erfordert allerdings immer Vertrauen und kann daher eine Quelle von Unsicherheit sein. Das erklärte Ziel dezentraler Finanzanwendungen ist es daher, ein System zu schaffen, bei welchem Transaktionen ohne vertrauenswürdige Dritte abgewickelt werden können. Dazu müssen die Verfahrens-

regeln und Anreize so definiert sein, dass das System ohne administrative Eingriffe arbeiten und sich bei Bedarf selbst stabilisieren kann.

Die in der Literatur genannten Gründe für das Streben nach dezentralen Anwendungen, gerade im Finanzbereich, sind technischer, politischer und ökonomischer Natur: Dezentrale Systeme seien erstens weniger anfällig für Cyberisiken, zweitens unzensurierbar⁵⁾ und drittens vermieden die Risiken, die sich aus dem Fehlverhalten von Intermediären ergeben können.⁶⁾ Intermediäre können vielfältige Rollen übernehmen von der Verwahrung oder Verwaltung von Werten über die Preisfindung bis hin zum Betrieb von Infrastrukturen und der Weiterentwicklung ihrer Ablaufprozesse. Entsprechend gibt es mehrere Kriterien, die für den Grad der Dezentralität beziehungsweise Intermediationsfreiheit herangezogen werden können, wie das Fehlen zentraler Akteure, die gleichberechtigte Entwicklung von Programmen durch alle Teilnehmer, die Transparenz der Prozesse, die Nachvollziehbarkeit der Transaktionen oder die fehlende Identifizierbarkeit der beteiligten Netzwerkakteure.

... hat aber viele Dimensionen

Das konventionelle Finanzsystem in seiner Gesamtheit kann durchweg als eine Mischform zentraler und dezentraler Strukturen betrachtet werden. Zwar spielen Intermediäre wie Banken, Verwahrstellen, Zahlungssysteme, zentrale Kon-

Konventionelles Finanzsystem ist Mischform aus zentralen und dezentralen Strukturen

¹ Als Krypto-Token werden digitale Token bezeichnet, deren Übertragung innerhalb eines Netzwerks anhand eines technischen Protokolls erfolgt, das auf kryptografischen Verfahren basiert. Siehe: Deutsche Bundesbank (2019).

² Als Distributed Ledger (DL) wird im Allgemeinen eine verteilte Datenbank bezeichnet, die Teilnehmern eines Netzwerks eine gemeinsame Schreib-, Lese- und Speicherberechtigung erlaubt. Die gängigsten DLT-Anwendungen basieren auf der Blockchain-Technologie, die sich besonders zur Abbildung einer Transaktionshistorie eignet. Siehe: Deutsche Bundesbank (2017).

³ Siehe: Deutsche Bundesbank (2021).

⁴ Vgl.: Nakamoto (2008).

⁵ Vgl.: Ludwin (2017).

⁶ Diesbezüglich wird oft darauf verwiesen, dass Bitcoin im Jahr 2008 auch als Reaktion auf die Finanzkrise geschaffen wurde. Der erste Block der Bitcoin-Blockchain vom Januar 2009 enthält mit dem Verweis auf den Bericht über das zweite Rettungspaket der britischen Regierung für Banken einen entsprechenden Hinweis, der als Kritik an Intermediären gedeutet wird.

trahenten oder Depotbanken eine wichtige Rolle, bisweilen sogar mit monopolartigen Tendenzen bei Marktinfrastrukturen, aber de facto gibt es den Extremfall einer zentralen Bereitstellung nicht in Reinform. Zwischen Depotbanken und Verwahrstellen herrscht in der Regel Konkurrenz, es existieren regelmäßig einklagbare Rechte bei der Teilnahme an Finanzmarktinfrastrukturen, und bei den Verfahrensregeln liegt ein signifikantes Maß an Transparenz und Objektivierbarkeit vor, wodurch die Interessen einzelner Akteure geschützt sind. Nicht zuletzt kann das Wettbewerbsrecht eingesetzt werden, um negative Auswirkungen von Monopolisierungstendenzen bei privaten Marktinfrastrukturen zu begrenzen.

Reine Dezentralität ist eher theoretisches Konstrukt

Auch die meisten dezentralen Finanzanwendungen dürften in der Realität von einer rein dezentralen Ausgestaltung abweichen. In der Regel sind nicht alle Teilnehmer gleichberechtigt, etwa bei der Weiterentwicklung des Codes. Viele Anwendungen ermöglichen administrative Eingriffe, um gegebenenfalls die geltenden Verfahrensregeln „reparieren“ zu können, und arbeiten mit Governance-Regeln, die zwar möglichst dezentral gestaltet sein sollen, Gestaltungsrechte aber meistens ungleich verteilen.

Dezentrale Finanzanwendungen können autonom von administrativen Eingriffen agieren

Die technische Möglichkeit, bedingt automatisch ablaufende Programmcodes in Form von Smart Contracts zu programmieren, bildet die wesentliche Grundvoraussetzung dafür, ob sich eine Blockchain als Basis für dezentrale Finanzanwendungen eignet. Smart Contracts schalten Werte in Form digitaler Token automatisch frei, sobald vordefinierte Bedingungen erfüllt wurden.⁷⁾ Der automatisch ablaufende Transaktions-Validierungsprozess der zugrunde liegenden Blockchain sorgt dabei für einen unterbrechungsfreien Ablauf von Smart Contracts. Komplexe Governance-Regeln und Geschäftslogiken können so im Programmcode verankert werden. Dies erlaubt neue und transparente Formen der Automatisierung von Prozessen, was zu einer Senkung von Prozess- und Transaktionskosten führen kann.

Durch die Erweiterung oder die algorithmische Verbindung mehrerer Smart Contracts können komplexe, aufeinander aufbauende Geschäftsfälle automatisch abgewickelt werden. Im Extremfall können ganze Prozessketten wie in Unternehmen autonom ablaufen. Dezentrale Finanzanwendungen, die mittels sogenannter Governance-Token kollektiv gesteuert werden, bezeichnet man daher auch als Dezentrale Autonome Organisationen (DAO).⁸⁾ Die Governance-Token ermöglichen ihren Inhabern, gemeinschaftlich über Änderungen am Programmcode zu entscheiden, was je nach Verteilung der Token eine kollektive Steuerung ermöglichen soll.

Aus der Verbindung von Smart Contracts können Dezentrale Autonome Organisationen entstehen

Ausgehend von den theoretischen Überlegungen zu autonomen Organisationen entwickelten sich nach und nach einzelne dezentrale Finanzanwendungen für verschiedene Geschäftsfälle. In der Literatur werden dezentrale Finanzanwendungen in ihrer Gesamtheit auch als Decentralized Finance (DeFi) bezeichnet, wenngleich es an einem einheitlichen Verständnis fehlt. Zur Behebung technischer Hürden sowie inhärenter Anreiz- und Vertrauensprobleme wurden bisweilen unterschiedliche Lösungen auf Basis verschiedener Blockchains entwickelt und angeboten. Mit fortschreitender Entwicklung könnten sich zunehmend Berührungspunkte zwischen dezentralen Finanzanwendungen und dem konventionellen Finanzsystem herausbilden, die eine nähere Analyse rechtfertigen. Zudem stellen sich Fragen zu möglichen Implikationen für das Finanzsystem und perspektivisch auch die Finanzstabilität sowie zur Regulierung und Besteuerung.

Dezentrale Finanzanwendungen entwickeln sich dynamisch mit zunehmenden Berührungspunkten zum konventionellen Finanzsystem

⁷ Smart Contracts stellen keinen Vertrag im rechtlichen Verständnis dar, sondern dienen als Hilfsmittel zur Ausführung eines solchen. Der Begriff Smart Contract geht auf den Informatiker Nick Szabo zurück. Als primitive Vorform von Smart Contracts verwendet Szabo das Beispiel eines Verkaufsautomaten. Dieser verkörpert einen Smart Contract zwischen dem Inhaber des Automaten und einem Käufer der im Automat enthaltenen Waren. Jeder, der die zugelassenen Münzen besitzt, kann den Verkaufsautomaten nutzen. Sicherheitsmechanismen schützen die eingeworfenen Münzen und Inhalte ausreichend vor Angreifern, um den rentablen Einsatz von Verkaufsautomaten in einer Vielzahl von Bereichen zu ermöglichen. Vgl.: Szabo (1997).

⁸ Vgl.: Buterin (2014), Fraunhofer-Gesellschaft (2017) sowie Jensen et al. (2021).

Die „DAO“

Die wohl noch immer bekannteste Dezentrale Autonome Organisation hieß „DAO“ und war eine Art virtueller Investitionsfonds. Diese „Firma ohne Menschen“¹⁾ wurde 2016 auf der Ethereum-Blockchain implementiert. Nutzer konnten gegen die Einzahlung von Ether (Krypto-Token der Ethereum-Blockchain) Anteile an der „DAO“ erwerben. Nach dieser ersten Phase sollten dem virtuellen Fonds Projektvorschläge via Smart Contract unterbreitet werden. Anschließend war vorgesehen, dass die Nutzer abstimmen, in welche Projekte „DAO“ investieren sollte. Die gesamte Abwicklung inklusive der Zinszahlung sowie der Auszahlung von potenziellen Dividenden sollte automatisch erfolgen.

Dieser dezentrale Gegenentwurf zur investorengestützten Risikofinanzierung weckte großes Interesse und erzielte auch aufgrund von Preissteigerungen von Ether in wenigen Wochen die für vergleichbare Formen des Crowdfunding damalige Rekordsumme von umgerechnet 150 Mio US-\$. Dieses „soziale Experiment“ – so einer der Programmierer – hatte zum Ziel, ein Unternehmen ohne Unternehmer, ohne formalen Sitz, ohne Vorstand und ohne Verantwortliche zu sein.

Allerdings kam es nicht zur Investition der Gelder, da noch in der Einzahlphase ein Codefehler entdeckt wurde, über den rund ein Drittel der Summe aus dem Fonds durch einen „Angreifer“ abgezogen wurde. Da der Smart Contract unveränderlich war, konnten die Programmierer den Abfluss nicht stoppen.

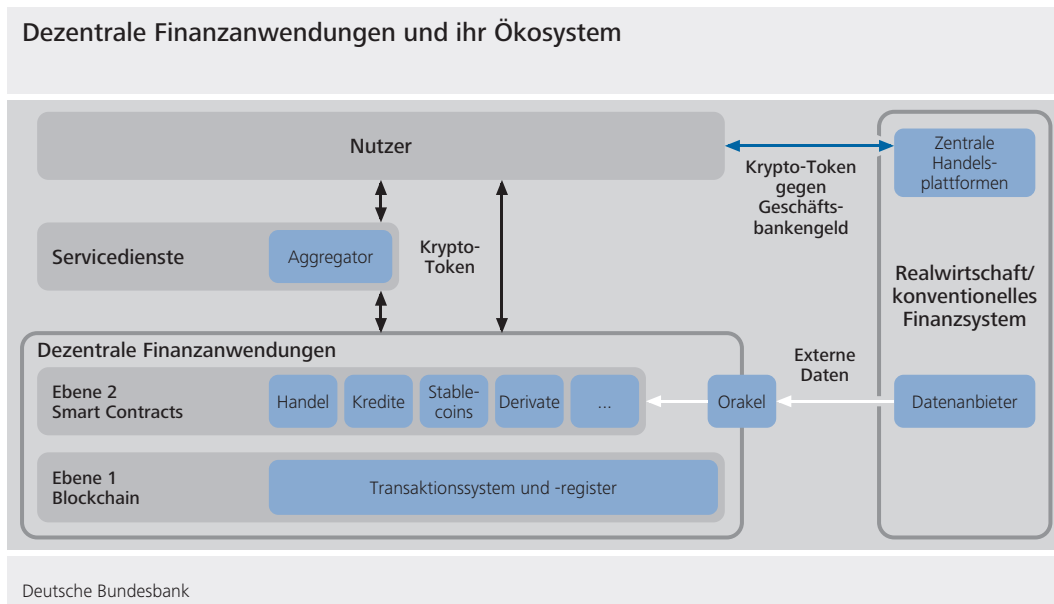
Um den Reputationsverlust für Ethereum als Basis für Smart Contracts und anderer DAO zu begrenzen, entschied sich die Mehrheit der Ethereum Community für eine soge-

nannte Hard Fork. Dadurch wurden eigentlich unveränderliche Einträge auf der Ethereum-Blockchain nachträglich annulliert, wodurch dem „Angreifer“ die entwendeten Mittel wieder abgenommen werden konnten. Praktisch wurde dabei eine Minderheit durch die Mehrheit enteignet, was mit der Verwendung von Mitteln in grober Verletzung der Intention der „DAO“ begründet wurde.²⁾

Der Vorgang ist in doppelter Hinsicht über die betroffene Gemeinschaft hinaus bedeutsam. Mit der „DAO“ wurde zum ersten Mal eine Dezentrale Autonome Organisation von größerer Bedeutung implementiert. Das verschaffte nicht zuletzt Ethereum einen gewissen Reputationsgewinn über die Gruppe der Blockchain-Enthusiasten hinaus. Zudem zeigte sich, dass die fehlende Governance solche Strukturen in vielerlei Hinsicht sehr anfällig macht, etwa für Cyberrisiken.

¹ Vgl.: Grasegger (2016).

² Eine ausführliche Beschreibung zum Fall der „DAO“ findet sich unter: Santos (2018).



Dezentrale Finanzanwendungen und ihr Ökosystem

Funktionsweise dezentraler Finanzanwendungen

Dezentrale Finanzanwendungen sind in ein Ökosystem verschiedener Beteiligter eingebunden

Das oben stehende Schaubild zeigt eine vereinfachte Darstellung des Aufbaus dezentraler Finanzanwendungen und deren Schnittstellen. Dezentrale Finanzanwendungen basieren auf einem Distributed Ledger – üblicherweise in Form einer Blockchain (Ebene 1) – und auf Smart Contracts (Ebene 2).⁹ Während die Blockchain als Transaktionssystem und -register dient, spezifizieren Smart Contracts, welche Bedingungen bei Transaktionen über die zugrunde liegende Blockchain zu prüfen sind und welche Aktivitäten daraus folgen. So können zahlreiche verschiedene Anwendungsfälle abgebildet werden. Nutzer erwerben Krypto-Token üblicherweise über zentrale Handelsplattformen gegen Geschäftsbankengeld und übertragen diese an eine Wallet der entsprechenden Blockchain – vergleichbar mit einer elektronischen Geldbörse, die für jede Blockchain individuell zu eröffnen ist. Servicedienstleister können verschiedene Anwendungen bündeln und ihren Kunden auf einer Plattform zur Verfügung stellen, womit der Zugang und die Nutzung unterschiedlicher dezentraler Finanzanwendungen erleichtert wird (sog. Aggregator). Als in der Regel ein-

zige Schnittstelle zur Realwelt beziehen sogenannte Orakel externe Daten, auf die viele Anwendungen zurückgreifen.

Die organisatorische Basis dezentraler Finanzanwendungen wird von einer Blockchain gebildet. Diese besteht aus einer Aneinanderreihung weitgehend unveränderlicher Blöcke, die Informationen über Transaktionen mithilfe kryptografischer Verfahren speichern. Üblicherweise ermöglichen Blockchains das Speichern und Übertragen sogenannter nativer Token, als inhärente digitale Werteinheiten der Blockchain.¹⁰ Einige Blockchains ermöglichen zudem die Erzeugung zusätzlicher digitaler Werteinheiten, etwa zu Governance-Zwecken (Governance-Token), zur Repräsentation eines einzigartigen realen Vermögenswertes (Non Fungible Token: NFT) wie einem Kunstwerk, als synthetische Vermögenswerte (Stablecoin auf der Basis von Krypto-Token anderer Blockchains

Blockchain bildet organisatorische Basis dezentraler Finanzanwendungen

⁹ Oftmals werden die Begriffe Blockchain und DLT synonym verwendet. Tatsächlich kann die Blockchain als eine Sonderform und bekannteste Anwendung der DLT gesehen werden, die hinsichtlich Verschlüsselungstechnik, Validierungsprozess und Konsensmechanismus im weitesten Sinne einer dezentralen Architektur entspricht.

¹⁰ Die Bitcoin-Blockchain bspw. ermöglicht die dezentrale Übertragung und Aufbewahrung elektronischer Werteinheiten in Form von Bitcoins. Darüber hinaus erlaubt die zugrundeliegende Programmiersprache keine komplexe Rechenlogik und eignet sich damit nicht als organisatorische Basis dezentraler Finanzanwendungen. Vgl.: Fraunhofer-Gesellschaft (2017) sowie World Economic Forum (2021).

oder realer Vermögenswerte) oder als elektronische Wertpapiere. Eine solche Blockchain kann verschiedenen dezentralen Finanzanwendungen als gemeinsames Transaktionssystem und -register dienen. Die Übertragung von Krypto-Token zwischen verschiedenen Blockchains ist hingegen nicht ohne Weiteres möglich.

Geschäftsbankengeld wäre in dezentralen Finanzanwendungen nutzbar, wenn es durch Kreditinstitute als Token über diejenige Blockchain begeben würde, die den jeweiligen Anwendungen zugrunde liegt. Gleiches gilt auch für Zentralbankgeld, welches von Zentralbanken theoretisch als Token begeben werden könnte, oder jeden anderen Vermögensgegenstand, der sich in Form eines digitalen Tokens abbilden lässt.¹¹⁾

Konsensmechanismen ersetzen Vertrauen in Intermediäre

Dezentrale Finanzanwendungen basieren üblicherweise auf öffentlichen Blockchains, welche eine pseudonyme¹²⁾ Nutzung ermöglichen und keiner Zugangsbeschränkung unterliegen (sog. Public Permissionless Blockchain). Um die Blockchain bei allen Netzwerkakteuren mit übereinstimmenden und fehlerfreien Transaktionen zu erweitern, bedarf es sogenannter Konsensmechanismen.¹³⁾ Im Rahmen des Konsensmechanismus einigen sich die Netzwerkakteure auf Transaktionen, die der Blockchain neu hinzugefügt werden sollen, und deren Reihenfolge. Der verwendete Konsensmechanismus spielt deshalb eine wichtige Rolle für die Sicherheit einer Blockchain und damit auch für das Sicherheitsniveau der auf der entsprechenden Blockchain aufsetzenden dezentralen Finanzanwendungen.

Programmcode ist frei verfügbar (Open Source)

Der Programmcode dezentraler Finanzanwendungen kann als Open-Source-Software von jedem eingesehen werden, wodurch er von Entwicklern als Blaupause für neue Projekte genutzt werden kann.¹⁴⁾ Durch die Kombination und Ergänzung vorhandener Codezeilen können neue Anwendungen mit vergleichsweise geringem Programmieraufwand entstehen. Gleichzeitig können die Netzwerkakteure zu-

mindest potenziell nachvollziehen, wie Anwendungen aufgebaut sind und funktionieren.¹⁵⁾

Smart Contracts können nur auf Daten zugreifen, die sich innerhalb des Blockchain-Netzwerks befinden. Dezentrale Finanzanwendungen müssen zur Überprüfung vordefinierter Bedingungen jedoch mitunter auf externe Daten wie Devisen- und Wertpapierkurse zurückgreifen. Dazu werden Orakel verwendet, die Daten aus der realen Welt abrufen, in das Netzwerk übertragen und in ein für Smart Contracts lesbares Format konvertieren. Sie bilden eine Schnittstelle zur Außenwelt und ermöglichen eine Vielzahl an Anwendungsfällen. Der Vertrauenswürdigkeit von Orakeln kommt eine entscheidende Bedeutung für das Sicherheitsniveau der Anwendungen und letztlich für die Akzeptanz durch die Nutzer zu.¹⁶⁾ Denn aufgrund der autonomen Abwicklung könnten fehlerhafte externe Daten zu irreversibel fehlerhaften Transaktionen führen.

Orakel übertragen externe Daten an Smart Contracts

Dezentrale Finanzanwendungen basieren auf vordefinierten Programmcodes und können daher nicht selbstständig auf unvorhersehbare Ereignisse oder sich verändernde Gegebenheiten reagieren. Um dennoch administrative Eingriffe von außen zu ermöglichen, werden üblicherweise dezentrale Governance-Prozesse implementiert. Dabei verwenden dezentrale Finanzanwendungen üblicherweise Governance-Token, mit denen die Entscheidungsprozesse technisch auf der zugrunde liegenden Blockchain abgebildet werden können (sog. On-Chain-Governance).¹⁷⁾ Werden Verbesserungs-

Governance-Prozesse sollen administrative Eingriffe ermöglichen

¹¹ Vgl.: OECD (2020).

¹² Bei der Pseudonymisierung wird ein Pseudonym anstelle eines Namens oder vergleichbarer Identifikationsmerkmale verwendet. Die eindeutige Identifikation eines Netzwerkakteurs soll dadurch ausgeschlossen werden.

¹³ Siehe: Deutsche Bundesbank (2017).

¹⁴ Vgl.: Jensen et al. (2021).

¹⁵ Vgl.: Schär (2021).

¹⁶ Vgl.: Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (2019).

¹⁷ Bei einer sog. Off-Chain-Governance hingegen können Entwickler den Netzwerkakteuren Vorschläge zur Veränderung des Softwareprotokolls unterbreiten, etwa über Mailinglisten oder Diskussionsforen. Netzwerkakteure, die mit den Änderungen einverstanden sind, übernehmen eine neue Version des ursprünglichen Protokolls.

vorschläge zur Weiterentwicklung der Anwendung eingebracht, können die Inhaber der Governance-Token im Rahmen eines gewichteten Abstimmungsverfahrens über die Vorschläge entscheiden.¹⁸⁾

Entwicklung des Marktes

Meiste dezentrale Finanzanwendungen basieren auf Ethereum-Blockchain

Die Ethereum-Blockchain hat sich seit ihrem Start im Jahr 2015 als wichtigste Basis dezentraler Finanzanwendungen etabliert. Sie ermöglichte als erste Blockchain das Aufsetzen komplexer Smart Contracts.¹⁹⁾ Die darauf basierenden Anwendungen sind interoperabel und profitieren von einer breiten Nutzer- und Entwicklerbasis sowie daraus resultierenden Netzwerkeffekten.²⁰⁾

Neben Ethereum gibt es weitere öffentliche Blockchains, die Smart Contracts ermöglichen und einen vergleichsweise hohen Dezentralisierungsgrad aufweisen.²¹⁾ Dazu gehören etwa Tezos, Solana und Cardano. Zudem wird Ethereum derzeit zu Ethereum 2.0 weiterentwickelt, unter anderem, um den Transaktionsdurchsatz zu erhöhen und damit die Transaktionskosten zu senken.²²⁾

Wert, in dezentralen Finanzanwendungen hinterlegter Liquidität, kann als grober Indikator für deren Bedeutung verwendet werden

Der sogenannte Total Value Locked (TVL) kann als grober Indikator für die Entwicklung dezentraler Finanzanwendungen dienen. Dieser bezieht sich auf die in dezentralen Finanzanwendungen hinterlegten Sicherheiten sowie die von Nutzern bereitgestellte Liquidität – jeweils in Form von Krypto-Token. In beiden Fällen hinterlegen Nutzer Krypto-Token temporär in Smart Contracts zum Zwecke bestimmter Anwendungsfälle.

Im Fall der Ethereum-Blockchain entsprach der TVL im Juni 2019 noch einem Gegenwert von durchschnittlich rund 0,5 Mrd US-\$. Dieser Wert stieg bis Juni 2020 auf 1,4 Mrd US-\$ an. Im Juni 2021 betrug der TVL auf der Ethereum-Blockchain bereits 58,1 Mrd US-\$, was zum Teil auf die Kurssteigerungen vieler Krypto-Token zurückzuführen ist. Die meiste Liquidität wird in

Anwendungen zur Erzeugung dezentraler Stablecoins, in dezentralen Kreditplattformen und dezentralen Handelsplattformen hinterlegt.²³⁾

Allerdings ist dieses Maß mit Unschärfe behaftet. So weisen die Kurse der hinterlegten Krypto-Token umgerechnet in US-Dollar oder Euro eine hohe Volatilität auf. Zudem kann es zu Doppelzählungen kommen, etwa, wenn Token in einer Anwendung als Sicherheit für die Ausgabe von Token in einer anderen Anwendung hinterlegt werden. Darüber hinaus lässt das Volumen des TVL nur eine eingeschränkte Einschätzung über die tatsächliche Nutzung bestimmter Anwendungen zu, etwa im Fall dezentraler Kreditplattformen. Welcher Teil der dort als Liquidität hinterlegten Krypto-Token als Kredite ausgereicht wird, geht aus dem TVL nicht hervor.

Finanzwirtschaftliche Geschäftsfälle

Die Entwicklung dezentraler Finanzanwendungen befindet sich in einer frühen Phase. Anwendungsfälle gibt es im Handel, in kredit- und einlageähnlichen Geschäften und bei der Begebung von Stablecoins und Derivaten. Zudem entwickeln sich Dienstleistungen, die dem Bereich Versicherungen oder der Vermögensverwaltung zugeordnet werden können, welche aktuell jedoch innerhalb des Ökosystems dezen-

Dezentrale Finanzanwendungen erbringen breite Palette an finanzwirtschaftlichen Dienstleistungen

¹⁸ Vgl.: Schär (2021) sowie Jensen et al. (2021).

¹⁹ Vgl.: Buterin (2013) sowie Schär (2021).

²⁰ Netzwerkeffekte liegen vor, wenn der Nutzen eines Gutes für einen Nutzer von der Anzahl der anderen Nutzer des Gutes abhängt. Bei positiven Netzwerkeffekten steigt mit zunehmender Nutzeranzahl der Anreiz zur Verwendung eines Gutes oder einer Technologie.

²¹ Eine Blockchain mit einem vergleichsweise geringen Grad an Dezentralisierung ist die Binance Smart Chain, da nur 21 Netzwerkakteure an der Erstellung neuer Blöcke mitwirken. Siehe: Binance (2020).

²² Siehe: ethereum.org unter: <https://ethereum.org/en/eth2/>.

²³ Siehe: Defi Pulse unter: <https://defipulse.com/> sowie CoinMarketCap unter: <https://coinmarketcap.com>. Die Quellen können als Indiz für die Marktentwicklung dienen. Die dort angegebenen Werte sind zwar nicht zwingend belastbar, werden aber mangels Alternativen häufig herangezogen.

traler Finanzanwendungen von untergeordneter Bedeutung sind.²⁴⁾

Dezentrale Handelsplattformen

Dezentrale Handelsplattformen eignen sich nur für den Tausch von Krypto-Token ...

Dezentrale Handelsplattformen ermöglichen Netzwerkakteuren, die sich untereinander nicht kennen, den Tausch verschiedener Krypto-Token, ohne dass eine zentrale Einheit als Vermittler, Preisfeststeller oder Kryptoverwahrer auftreten muss. Dabei behalten die Nutzer während des gesamten Handelsprozesses die Kontrolle über ihre Krypto-Token (sog. Non-Custodial Exchange).²⁵⁾ Nutzer können dadurch das Risiko umgehen, dass ihre Krypto-Token, die beim Handel über zentrale Handelsplattformen zu hinterlegen sind, entwendet werden.²⁶⁾ Über dezentrale Handelsplattformen können lediglich solche Krypto-Token gehandelt werden, die über die zugrunde liegende Blockchain begeben wurden, wie zum Beispiel der native Token der Blockchain, Stablecoins oder Governance-Token.

... und basieren üblicherweise nicht auf einem Orderbuch

Dezentrale Handelsplattformen basieren technisch üblicherweise auf sogenannten automatisierten Market Makern.²⁷⁾ Dabei werden mittels Smart Contracts Liquiditätspools für bestimmte Krypto-Token-Tauschpaare erstellt. Netzwerkakteure können den Pools Liquidität – in Form von Krypto-Token – bereitstellen. Im Gegenzug erhalten sie sogenannte Liquiditäts-Token, die die hinterlegte Liquidität repräsentieren. Über die Liquiditäts-Token erhalten deren Inhaber üblicherweise die beim Handel zu entrichtenden Gebühren, was als Kompensation für die Bereitstellung von Liquidität gesehen werden kann. Gleichzeitig tragen Liquiditätsbereitsteller das Risiko von Preisänderungen beim Rücktausch der Liquiditäts-Token gegen die von ihnen hinterlegte Liquidität. Ein Handelsgeschäft erfolgt durch die Zuführung eines Wertes zum Pool und der gleichzeitigen Entnahme des jeweils anderen Wertes. Durch den Tausch verschiebt sich das Verhältnis des Token-Tauschpaares im Liquiditätspool zueinander. Auf Basis eines Algorithmus führen diese Veränderungen des

Werteverhältnisses zu jeweiligen Preisänderungen – zu Ungunsten des Nutzers, der das Tauschgeschäft durchführt (sog. Slippage Loss). Dieser Slippage Loss ist umso größer, je stärker ein Tauschgeschäft das Werteverhältnis des Tauschpaares verschiebt. Somit ist es wichtig, dass ein Liquiditätspool ausreichend groß ist. Andernfalls würden bereits kleine Handelsgeschäfte zu einem hohen Slippage Loss führen. Da die relativen Preise der Token sich formal umgekehrt proportional zum Mengenverhältnis im Liquiditätspool ändern, spiegeln sie nicht zwingend eine am Markt gefundene Knappheitsrelation wider. Für Arbitrageure²⁸⁾ entsteht dadurch ein Anreiz, Gewinne aus Preisunterschieden zu anderen Handelsplattformen zu erzielen. Beispielsweise könnte ein Token, dessen Wert durch die Zuführung zu einem Liquiditätspool gesunken ist, vergleichsweise günstig erworben werden und anschließend über eine andere Handelsplattform verkauft werden.²⁹⁾

Dezentrale Kreditplattformen

Dezentrale Kreditplattformen ermöglichen die Aufnahme sowie die Bereitstellung von Liquidität in Form von Krypto-Token gegen Verzinsung.³⁰⁾ Um die Rückzahlung von Krediten trotz anonymer Inanspruchnahme zu gewährleisten,

Kredite über dezentrale Kreditplattformen werden üblicherweise besichert ...

²⁴ Versicherungen existieren etwa zur Absicherung gegenüber Verlusten aufgrund von Softwarefehlern in dezentralen Finanzanwendungen. Siehe: Schär (2021).

²⁵ Vgl.: Lin (2019).

²⁶ Für eine ausführliche Betrachtung von Gefahren bei zentralen Handelsplattformen siehe: Corbet et al. (2020).

²⁷ Der Handel über zentrale Handelsplattformen basiert demgegenüber auf Orderbüchern, in welchen Kauf- und Verkaufsaufträge listenhaft aufgenommen und zusammengeführt werden. Dabei stellen sich in der Regel Market Maker kontinuierlich als Kontrahenten zur Verfügung. Dies gewährleistet üblicherweise ein hohes Maß an Liquidität. Aufgrund der zugrunde liegenden Blockchain-Technologie müssten Market Maker bei dezentralen Handelsplattformen für jede Orderänderung und Transaktion Gebühren zahlen, wodurch das Market Making im herkömmlichen Sinne schnell unwirtschaftlich würde. Vgl.: Jensen et al. (2021).

²⁸ Arbitrage bezeichnet den Prozess des Kaufs und Verkaufs des gleichen Vermögenswertes in verschiedenen Märkten, um von Preisunterschieden zu profitieren.

²⁹ Vgl.: Daian et al. (2020) sowie Adams et al. (2020).

³⁰ Siehe: DeFi Rate für eine Übersicht aktueller Kredit- und Einlagezinsen unter: <https://defirate.com/lend/>.

müssen Kreditnehmer diese üblicherweise besichern.³¹⁾ Die besicherte Kreditaufnahme dient beispielsweise dem Hebeln eigener Positionen.³²⁾ Hält man Krypto-Token etwa aus Spekulationsgründen, können diese als Sicherheit hinterlegt werden. Sofern die als Kredit aufgenommenen Krypto-Token ebenfalls im Wert steigen, kann der Kreditnehmer einen Gewinn erzielen, sofern der Wertzuwachs der als Kredit aufgenommenen Krypto-Token und seiner Sicherheit größer ist als der Zinsaufwand.³³⁾ Je nach Anwendung erfolgt die besicherte Kreditvergabe entweder durch sogenannte Lending Pools, welche Liquidität von Netzwerkakteuren in einem Smart Contract bündeln, oder direkt zwischen einzelnen Netzwerkakteuren.³⁴⁾ Anwendungen auf der Basis von Lending Pools sind üblicherweise liquider und daher beliebter. Die Funktionsweise ähnelt der von Liquiditätspools dezentraler Handelsplattformen. Um einen Anreiz zur Rückzahlung zu schaffen, müssen Kreditnehmer ihre Verbindlichkeiten aufgrund der hohen Volatilität und Illiquidität vieler Krypto-Token oftmals überbesichern – zum Beispiel mit 150 %. Die Sicherheiten werden in einem Smart Contract hinterlegt und wieder freigegeben, sobald der Kredit getilgt wurde. Die Kredit- und Einlagenzinsen der meisten dezentralen Kreditplattformen sind variabel. Im Fall von Lending Pools ermitteln sich diese regelbasiert in Abhängigkeit zur Größe des entsprechenden Pools. Verknappt sich die Liquidität im Pool, steigen die Zinsen, wodurch Kreditnehmer einen größeren Anreiz haben, ihre Kredite zu tilgen. Gleichzeitig haben dann andere Netzwerkakteure einen größeren Anreiz, Liquidität bereitzustellen. Selbiges Prinzip gilt in umgekehrter Logik für den Fall eines Überangebots an Liquidität.³⁵⁾

... mit Ausnahme von Flash Loans

Unbesicherte Kredite können beispielsweise im Rahmen sogenannter Flash Loans vergeben werden. Flash Loans müssen innerhalb desselben Blockchain-Blocks zurückbezahlt werden, andernfalls erfolgt eine Rückabwicklung des gesamten Geschäfts. Damit entfällt für die Kreditgeber de facto das Kreditrisiko. Flash Loans dienen zum Beispiel Arbitragezwecken, indem

Preisunterschiede an verschiedenen dezentralen Handelsplattformen monetisiert werden. Flash Loans können jedoch auch für missbräuchliche Attacken auf dezentrale Finanzanwendungen verwendet werden, etwa durch den Erwerb von Governance-Token und anschließender Änderung des Programmcodes der jeweiligen Anwendung zum eigenen Vorteil.³⁶⁾

Dezentral erzeugte Stablecoins

Dezentral erzeugte Stablecoins versuchen, im Verhältnis zu einem Referenzwert möglichst wertstabil zu sein. Anders als bei Stablecoins, die zentral emittiert werden, wie Tether oder dem geplanten Diem, soll dabei kein Vertrauen gegenüber einem Emittenten aufgebracht werden müssen (Non-Custodial). Im Fall dezentral erzeugter Stablecoins kann die Besicherung³⁷⁾ ausschließlich mit Krypto-Token erfolgen (On-Chain). Um den Stablecoin zu erzeugen, hinterlegen die Nutzer Krypto-Token als Sicherheiten in einem Smart Contract. Die Stablecoins werden zum aktuellen Wechselkurs der hinterlegten Sicherheiten zum Referenzwert geschaffen, der über ein Orakel bezogen wird. Üblicherweise werden Stablecoins zu Quoten von über 100 % besichert. Wertverluste der Sicherheiten führen dadurch nicht unmittelbar zu Wertver-

Dezentral erzeugte Stablecoins versuchen möglichst wertstabil zu sein – ohne, dass Vertrauen gegenüber Dritten benötigt wird

31 Vgl.: Jensen et al. (2021).

32 Als Hebeleffekt, auch Leverage-Effekt, wird die Hebelwirkung von Fremdkapital auf die Eigenkapitalverzinsung bezeichnet. Dieser Effekt tritt auf, wenn Fremdkapital zu einem günstigeren Zins aufgenommen werden kann, als die damit getätigte Investition an Gesamtkapitalrentabilität erzielt. Die in dezentralen Kreditplattformen hinterlegte Sicherheit gleicht dann dem Eigenkapitalanteil.

33 Vgl.: Bitkom (2020).

34 Bei der direkten Kreditvergabe hinterlegt ein Nutzer bspw. NFT als Sicherheit in einem Smart Contract und erhält im Gegenzug individuelle Kreditangebote von anderen Nutzern.

35 Vgl.: Aave (2020) sowie Schär (2021).

36 Vgl.: Gudgeon et al. (2020) sowie Aave (2020).

37 Die Wertstabilisierung von zentralen Stablecoins erfolgt üblicherweise über Bindung an und Besicherung mit einer echten Währung. Ein alternativer Ansatz zur On-Chain-Besicherung dezentral erzeugter Stablecoins besteht im Versuch, über Algorithmen die Menge oder den Zins des umlaufenden Stablecoins so zu steuern, dass der Wechselkurs des Stablecoins zu einem Referenzwert möglichst stabil gehalten wird. Dieser Ansatz ist derzeit eher unbedeutend. Siehe: Deutsche Bundesbank (2019).

lusten des Stablecoins. Fällt der Wert der hinterlegten Sicherheiten unter einen bestimmten Schwellenwert, können sie von Dritten gegen den Stablecoin mit einem zusätzlichen Abschlag erworben werden. Dadurch werden die Sicherheiten aus dem Smart Contract entnommen, und der zurückgeführte Stablecoin wird vernichtet. Dieser Mechanismus soll die Unterbesicherung des Stablecoins verhindern und somit dessen Wert stabilisieren.³⁸⁾ Sichertgestellt werden kann dies jedoch nicht.³⁹⁾

Dezentrale Derivate

Dezentrale Derivate können ihren Wert von beliebigen Basiswerten oder Ereignissen ableiten

Dezentrale Derivate sind Krypto-Token, deren Wert sich von der Entwicklung eines Basiswertes oder des Eintritts eines bestimmten Ereignisses ableitet. Als Basiswert eignet sich eine Vielzahl von Vermögenswerten, etwa Aktien, Rohstoffe oder Krypto-Token anderer Blockchains. Die Funktionsweise dezentraler Derivate ist vergleichbar mit dezentral erzeugten Stablecoins. Jedoch weisen die Basiswerte dezentraler Derivate üblicherweise hohe Wertschwankungen auf, weshalb eine Besicherung in Höhe von mehreren 100 % notwendig ist. Nutzer hinterlegen die Sicherheiten in Form von Krypto-Token in einem Smart Contract und erhalten im Gegenzug das Derivat. Informationen zur Entwicklung des Basiswertes bezieht der Smart Contract über Orakel.

Ereignisbasierte Derivate benötigen eine beobachtbare Variable, die über einen bestimmten Zeitraum eindeutige Ausprägungen annehmen kann.⁴⁰⁾ Für jedes denkbare Ergebnis existiert ein gesonderter Token. Nach Eintritt des Ereignisses schüttet der Smart Contract alle Einsätze an die Inhaber der Token aus, die das eingetretene Ergebnis repräsentieren.⁴¹⁾

■ Entwicklungspotenziale

In wenigen Jahren hat sich eine Vielfalt an dezentralen Finanzanwendungen entwickelt. Das gilt sowohl hinsichtlich der abgedeckten Ge-

schäftsfälle als auch hinsichtlich ihrer individuellen Ausgestaltung. Neben der hinterlegten Liquidität entwickeln sich auch die abgewickelten Volumina soweit erkennbar rasant.⁴²⁾ Der Markt für dezentrale Finanzanwendungen erweist sich nicht zuletzt auch deshalb als dynamisch und innovativ, weil sich viele Anwendungen ohne Rücksichtnahme auf regulatorische Anforderungen entwickeln oder regulatorische Eingriffe bislang kaum hemmend wirkten. So entstehen zum Teil nicht nachhaltige oder sogar für Nutzer schädliche Geschäftsmodelle.

Im Vergleich zum konventionellen Finanzsystem sind dezentrale Finanzanwendungen derzeit von quantitativ untergeordneter Bedeutung, und bislang ist eine realwirtschaftliche Bedeutung kaum zu erkennen. Ihr Wachstum sowie der Innovationsgehalt der entwickelten Lösungen könnten aber für eine zunehmende Relevanz in der Zukunft sprechen. Zudem sehen sich dezentrale Finanzanwendungen mit zum Teil inhärenten Herausforderungen konfrontiert, die sich als Entwicklungshemmnisse herausstellen könnten. Dazu gehören vor allem Sicherheitsrisiken der verwendeten Programmcodes, mangelhafte Anreizsysteme, fehlende Skalierbarkeit, eingeschränkte Interoperabilität, Ansteckungsgefahren durch Abhängigkeiten, ungenügende Governance und teils unklare oder fehlende Regulierungsanforderungen.

Sicherheit

Die Nutzung dezentraler Finanzanwendungen ist mit Sicherheitsrisiken verbunden, da Softwarefehler und missbräuchliches Verhalten ein-

Dezentrale Finanzanwendungen entwickeln sich dynamisch

Softwarefehler bergen Sicherheitsrisiken, ...

³⁸ Vgl.: Klages-Mundt et al. (2020).

³⁹ Siehe: Deutsche Bundesbank (2019).

⁴⁰ Ein derartiges Derivat wurde etwa auf den Ausgang der US-Wahlen im Jahr 2020 begeben. Siehe: Schär (2021).

⁴¹ Vgl.: Schär (2021).

⁴² Siehe Dune Analytics für die Entwicklung von Volumina dezentraler Handelsplattformen unter: <https://duneanalytics.com/hagaetc/dex-metrics>; und dezentraler Kreditplattformen unter: <https://duneanalytics.com/hagaetc/lending> auf der Ethereum-Blockchain. Die dort angegebene Werte sind zwar nicht zwingend belastbar, werden aber häufig herangezogen.

zelter Netzwerkakteure trotz externer Sicherheitsüberprüfungen und Anreizsystemen nicht ausgeschlossen werden können. Dabei ist die technische Funktionsweise dezentraler Finanzanwendungen im Prinzip transparent. Softwarefehler (sog. Smart Contract Bugs) können jedoch zu unbeabsichtigten Problemen führen. Da einzelne Akteure üblicherweise keine Schreibrechte für den Programmcode haben, muss ihre Behebung zunächst im Netzwerk zur Abstimmung gestellt werden. Die dezentrale Governance steht damit einem schnellen und wirksamen Einschreiten im Notfall entgegen.⁴³⁾ Fehler im Programmcode bieten zudem eine wesentliche Angriffsfläche für missbräuchliches Verhalten, welches in der Vergangenheit trotz Überprüfung einzelner Programmcodes durch unabhängige Sicherheitsunternehmen beobachtet werden konnte.⁴⁴⁾ Vertrauen in Intermediäre muss demnach durch Vertrauen in die Funktionsfähigkeit von Programmcodes ersetzt werden.⁴⁵⁾

Aus ökonomischer Sicht sollen Anreizsysteme dafür sorgen, dass Netzwerkakteure sich nicht unrechtmäßig auf Kosten der übrigen Netzwerkteilnehmer bereichern oder der intendierten Funktionsweise des Netzwerks zuwiderhandeln.⁴⁶⁾ Anreizsysteme existieren beispielsweise für Orakel. Als Informationsschnittstelle zur Außenwelt besitzen diese eine entscheidende Bedeutung für dezentrale Finanzanwendungen. Orakel erhalten üblicherweise eine Belohnung, wenn sie korrekte Daten bereitstellen, etwa in Form von Governance-Token. Fehlverhalten wiederum würde mit dem Entzug von Governance-Token bestraft werden. Die Bereitstellung fehlerhafter oder manipulierter Daten soll dadurch aus ökonomischer Sicht unattraktiv werden, wenngleich dies nicht vollständig verhindert werden kann.⁴⁷⁾

Skalierbarkeit

Bei öffentlichen Blockchains, die üblicherweise durch eine Vielzahl von Netzwerkakteuren betrieben werden, stehen die Ziele der Skalierbarkeit

und Dezentralität in einem Konflikt. Sie weisen im Vergleich zu privaten Blockchains, deren Betrieb durch einen eingeschränkten Kreis von Netzwerkakteuren erfolgt, oftmals hohe Transaktionskosten auf und ermöglichen einen vergleichsweise geringen Transaktionsdurchsatz. Dies ist insbesondere auf die verwendeten Konsensmechanismen zurückzuführen. Mit zunehmender Zahl der am Konsensmechanismus beteiligten Netzwerkakteure erhöht sich zwar tendenziell die Sicherheit der Konsensfindung, allerdings nehmen auch Kosten und Dauer des Verfahrens zu.⁴⁸⁾ Um einen größeren Transaktionsdurchsatz zu ermöglichen, setzen einige Blockchains im Rahmen ihres Konsensmechanismus auf eine stärkere Zentralisierung, bei der weniger Netzwerkakteure involviert sind.⁴⁹⁾ Einige dezentrale Finanzanwendungen ermöglichen die Abwicklung von Off-Chain-Transaktionen, welche nicht mehr einzeln über die zugrunde liegende Blockchain validiert werden müssen (sog. Layer 2 Solutions).⁵⁰⁾ Dieses Verfahren ähnelt der Nebensystemabwicklung im konventionellen Zahlungsverkehr. Dadurch kommt es jedoch – wie im konventionellen Zahlungsverkehr – zu einer Fragmentierung der Liquidität.

Der Zielkonflikt zwischen hoher Skalierbarkeit und einem hohen Grad an Dezentralität lässt sich derzeit nicht effektiv aufheben. Ohne hinreichende Skalierbarkeit ist die Nutzbarkeit dezentraler Finanzanwendungen jedoch stark eingeschränkt.

⁴³ Vgl.: Klages-Mundt et al. (2020).

⁴⁴ Vgl.: Groce et al. (2020).

⁴⁵ Vgl.: Pesch (2019) sowie Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (2019).

⁴⁶ Dafür muss aus rein technischer Sicht ein reibungsloser Ablauf des Programmcodes – ohne Softwarefehler – angenommen werden.

⁴⁷ Vgl.: Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (2019) sowie Klages-Mundt et al. (2020).

⁴⁸ Bei einer dezentralen Datenhaltung und -aktualisierung existieren physikalische Grenzen bzgl. der Kommunikation der Netzwerkakteure. Diese ergeben sich aufgrund einer begrenzten Menge an Daten, die innerhalb einer bestimmten Zeiteinheit übertragen werden können. Die Blockgröße und somit die Anzahl an Transaktionen, die pro Block verarbeitet werden können, ist damit begrenzt. Vgl.: Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (2019).

⁴⁹ Siehe etwa: Binance (2020).

⁵⁰ Vgl.: Schär (2021).

... ebenso
wie Anreiz-
systeme

Öffentlichen
Blockchains
mangelt es an
Skalierbarkeit

Interoperabilität zwischen verschiedenen Blockchains und zu nicht blockchainbasierten Systemen eingeschränkt

Interoperabilität

Eine gemeinsame Infrastruktur und gleiche Standards ermöglichen einen hohen Grad an Interoperabilität zwischen dezentralen Finanzanwendungen. Zudem können Smart Contracts vielfältig variiert und kombiniert werden, wodurch neue und komplexere Anwendungsfälle möglich werden. Jedoch ist die Interoperabilität zwischen verschiedenen Blockchains – als organisatorischer Basis dezentraler Finanzanwendungen – sowie zu anderen nicht blockchainbasierten Systemen stark eingeschränkt. Dezentrale Finanzanwendungen können nur eingeschränkt und meist nur unter Einbeziehung von Intermediären mit Anwendungen außerhalb ihres Ökosystems interagieren. Dadurch können sich verschiedene Insellösungen entwickeln, die zu einer Fragmentierung des Marktes und der Liquidität sowie bisweilen zu Marktmacht weniger Anbieter beitragen. Verschiedene Projekte versuchen, diese Einschränkungen ohne die Zwischenschaltung von Intermediären zu beheben. Diese befinden sich jedoch noch in einer frühen Entwicklungsphase.⁵¹⁾

Abhängigkeiten

Probleme einer Anwendung können auf andere überspringen

Durch die kombinierte Nutzung verschiedener Anwendungen ergeben sich gegenseitige Abhängigkeiten, die je nach Integrationsgrad entsprechend große Risiken für das gesamte Ökosystem bergen können. Ein Nutzer kann beispielsweise in einer Anwendung Sicherheiten hinterlegen und damit einen Stablecoin erzeugen. Wenn er diesen anschließend bei einer Handelsplattform platziert, um Liquiditäts-Token zu erhalten, können diese wiederum über eine Kreditplattform verliehen werden. Es entstehen Abhängigkeitsketten, welche Ansteckungsrisiken bergen, ausgelöst etwa durch besonders volatile Marktentwicklungen der entsprechenden Krypto-Token oder durch technische Probleme, zum Beispiel bei einem Softwarefehler.⁵²⁾ Die aus Abhängigkeiten innerhalb öffent-

licher Blockchains resultierenden Risiken erfordern gesonderte Aufmerksamkeit.⁵³⁾

Governance

Eine dezentrale Governance bedeutet im Kern, dass alle Beteiligten gleichermaßen etwa für Änderungen am Programmcode oder für die Gefahrenabwehr verantwortlich sind. Das Gros der Anwendungen setzt jedoch auf dezentrale Governance-Prozesse, die auf kollektiven Abstimmungsverfahren unter Verwendung von Governance-Token beruhen. In ihrer Anfangszeit weisen dezentrale Finanzanwendungen üblicherweise einen höheren Grad an Zentralisierung als eigentlich vorgesehen auf, da die ursprünglichen Entwickler größere Teile der Governance-Token einbehalten oder für Investoren vorsehen.⁵⁴⁾ Zudem besteht die Gefahr, dass einzelne Akteure mithilfe der Governance-Token die Stimmenmehrheit erlangen und den Programmcode zu ihren Gunsten ändern (sog. Governance Attack).⁵⁵⁾ Diese Gefahr wird durch die Pseudo-Anonymität der Netzwerkakteure und die damit verbundene Intransparenz bezüglich der Entscheidungsstrukturen begünstigt. Derartigen Gefahren könnte mit einer zeitverzögerten Umsetzung von Programmänderungen begegnet werden. Dadurch hätten Netzwerkakteure zumindest theoretisch die Möglichkeit, sich rechtzeitig zurückzuziehen, sofern sie mit den Änderungen nicht einverstanden sind. Eine zeitverzögerte Umsetzung

Effektive Governance erfordert zentrale Elemente

⁵¹ Vgl.: Europäische Zentralbank (2021).

⁵² Vgl.: Gudgeon et al. (2020) sowie Schär (2021).

⁵³ Im konventionellen Finanzsystem bspw. müssen gemäß EZB Verordnung Nr. 795/2014 systemrelevante Zahlungsverkehrssysteme (SIPS) mit Sitz im Euroraum, kritische Teilnehmer identifizieren, deren Ausfall Risiken für das gesamte System bergen könnte.

⁵⁴ Vgl.: Bitkom (2020) sowie World Economic Forum (2021).

⁵⁵ Vgl.: Klages-Mundt et al. (2020) sowie Gudgeon et al. (2020). Das Gefahrenpotenzial kann auch dazu führen, dass z. B. Sicherheitengeber den Wert der Governance-Token nach oben treiben, um die Gefahr einer schädlichen Attacke zu verringern und ihre Sicherheiten zu schützen. Dies läuft dem eigentlichen Zweck der Governance-Token, d. h. die Anwendung im Kollektiv zu steuern, entgegen.

von Programmänderungen führt aber gleichzeitig zu systemischer Trägheit.⁵⁶⁾

Regulierung

Adressat regulatorischer Anforderungen bei dezentralen Finanzanwendungen unklar

Dezentrale Finanzanwendungen werden von der aktuellen Regulierung oftmals nicht erfasst, zumal der Begriff Dezentralität mitunter unterschiedlich interpretiert wird. Selbst ansonsten anwendbare regulatorische Vorschriften lassen sich häufig nicht hinreichend durchsetzen, da keine natürlichen oder juristischen Personen als Adressat von Regulierungsvorschriften zur Verfügung stehen und daher niemand zur Verantwortung oder Haftung für etwaige Schäden herangezogen werden kann.⁵⁷⁾ Auch ist nicht ausgeschlossen, dass Anbieter durch einen Verweis auf die Dezentralität einer Anwendung deren tatsächliche zentrale Governance zu verschleiern versuchen, um einer etwaigen Regulierung auszuweichen.⁵⁸⁾ Für die Regulierung ergeben sich damit nicht triviale Fragestellungen:

- Welche Funktionen dezentraler Finanzanwendungen und der ihnen zugrunde liegenden Blockchains fallen unter bestehende Regulierungstatbestände und welche bedürfen einer Regulierung?
- Welche Beteiligten (z. B. Entwickler, Inhaber von Governance-Token, Nutzer) können aus der Regulierung verpflichtet werden? Wie können sie identifiziert werden?
- Welche Jurisdiktion ist zuständig für eine Anwendung ohne Rechtssitz? Kann ein effektives internationales Regelwerk erarbeitet werden, um aufsichtsrechtliche Arbitrage zu verhindern?
- Wie kann Regulierung wirksam und gleichzeitig ausreichend technologie-agnostisch sein, um sichere Innovationen zu ermöglichen?
- Wie können Netzwerke identifiziert werden, deren Akteure nur den Anschein von Dezen-

tralität erwecken, etwa zur Umgehung der Regulierung?

Teilweise existieren bereits Regelungen für die Schnittstellen zwischen dezentralen Netzwerken und dem konventionellen Finanzsystem, wie zentralen Handelsplattformen. Dadurch wird insbesondere der Kauf und Verkauf von Krypto-Token gegen Geschäftsbankengeld reguliert, etwa zur Bekämpfung von Geldwäsche und Terrorismusfinanzierung.⁵⁹⁾

Ein klares Rahmenwerk, das auch die Teilnehmer dezentraler Finanzanwendungen mit wesentlichen Funktionen (z. B. Orakel) einschließt, könnte Rechtssicherheit schaffen und dadurch die Interessen von Verbrauchern, Investoren und Anlegern schützen. Dadurch könnte die Regulierung und das dadurch geschaffene Vertrauen die Attraktivität und Akzeptanz dezentraler Finanzanwendungen steigern. Gleichzeitig würde es zur Stabilität des Systems und aufgrund der zunehmenden Verflechtung letztlich auch des Finanzsystems als Ganzes beitragen. Dabei sollten Regulierer weltweit zusammenarbeiten, um die Möglichkeiten regulatorischer Arbitrage zu vermeiden, sodass bestehende Risiken, unabhängig von der verwendeten Technologie und verschiedenen Anbietern, gleichermaßen reguliert werden. So entstünde ein regulatorisches Level-Playing-Field für dezentrale Netzwerke im Vergleich zu konventionellen Finanzmarktakteuren. Regulierung könnte eine Grundvoraussetzung für nachhaltiges Wachstum sein, da dezentrale Finanz-

Regulatorische Behandlung könnte dezentralen Finanzanwendungen Wachstumschub verleihen

⁵⁶ Vgl.: Schär (2021).

⁵⁷ Die Europäische Kommission veröffentlichte am 24. September 2020 das sog. Digital Finance Package. Dieses beinhaltet u. a. Gesetzesvorschläge zur Regulierung von Krypto-Token und Stablecoins, die keiner anderen bestehenden europäischen Regelung unterliegen sowie einen Verordnungsvorschlag für die Regulierung von Marktinfrastrukturen auf DLT-Basis. Beide Verordnungsvorschläge adressieren in ihrer derzeitigen Fassung im Wesentlichen die Emittenten von Krypto-Token, bestimmte Dienstleister sowie die Betreiber von Marktinfrastrukturen – also konkrete juristische Personen. Die hier betrachteten dezentralen Finanzanwendungen sowie die ihnen zugrunde liegenden Blockchains würden dementsprechend nicht unter die Regelungen im Rahmen des Digital Finance Package fallen.

⁵⁸ Vgl.: Walch (2019).

⁵⁹ Vgl.: Deutsche Bundesbank (2019).

anwendungen erst dadurch in den Fokus eines breiteren Nutzerkreises gelangen dürften.

■ Mögliche Implikationen

Verbindungen mit dem konventionellen Finanzsystem und mögliche Auswirkungen

Dezentrale Finanzanwendungen können Innovationen im konventionellen Finanzsystem fördern, ...

Dezentrale Finanzanwendungen könnten sich als gesamtwirtschaftlicher Innovationstreiber erweisen, indem sie technologische Weiterentwicklungen auch im konventionellen Finanzsystem stimulieren.⁶⁰⁾ Dezentrale Finanzanwendungen könnten auch neue Geschäftsfelder erschließen oder durch die Kombination dezentraler und zentraler Elemente zur Entwicklung hybrider Geschäftsmodelle beitragen.⁶¹⁾

... da Verbindungen zwischen beiden Bereichen möglich sind

Bislang sind nennenswerte Verbindungen zwischen konventionellen Finanzmarktakteuren und dezentralen Finanzanwendungen zwar kaum erkennbar. Dafür befinden sich die dezentralen Finanzanwendungen noch in einem zu frühen Entwicklungsstadium. Dennoch könnten sich bei zunehmender Nutzung und Verbreitung von dezentralen Finanzanwendungen Auswirkungen auf das Finanzsystem und die Rolle der Zentralbank ergeben. Eine Voraussetzung dafür wäre allerdings eine Beseitigung der beschriebenen Entwicklungshemmnisse dezentraler Finanzanwendungen.

Das denkbare Einsickern dezentraler Finanzanwendungen in das konventionelle Finanzsystem kann auf vier Arten erfolgen:

- Technologien dezentraler Finanzanwendungen könnten vom konventionellen Finanzsystem absorbiert werden.
- Einzelne dezentrale Finanzanwendungen könnten sich zentralisieren und als neue Wettbewerber Teil des konventionellen Finanzsystems werden. Durch einen höheren Zentralisierungsgrad könnten zentrale Akteure leichter von der Regulierung erfasst

werden, wodurch ein Teil der Entwicklungshemmnisse gelöst werden könnte.

- Finanzdienstleistungen aus dezentralen Finanzanwendungen, die im konventionellen Finanzsystem nicht angeboten werden, könnten das Angebot ergänzen. In einem solchen Szenario könnte das konventionelle Finanzsystem seinen Kunden einen Zugang zu dezentralen Finanzanwendungen anbieten oder diese mit seinem eigenen Angebot verknüpfen.
- Dezentrale Finanzanwendungen könnten Teile des konventionellen Finanzsystems aufgrund von effizienteren Angeboten oder ungleicher Regulierung verdrängen.

Potenzielle Auswirkungen auf die Stabilität des Finanzsystems hängen von zahlreichen Faktoren ab und sind im jetzigen Entwicklungsstadium schwer abschätzbar.⁶²⁾ Grundsätzlich positiv zu sehen wäre ein stärkerer Wettbewerb, der die Kapital- und Risikoallokation verbessert, und eine Dezentralisierung von solchen Risikopositionen, die sich bislang auf einzelne oder wenige Akteure konzentrieren. Dadurch könnte die systemische Relevanz einzelner Akteure und die Akkumulation großer Risikopositionen reduziert werden. Weiterhin kann der Einsatz unterschiedlicher Technologien im Finanzbereich die Risiken, etwa in Form von Cyberangriffen, begrenzen.

Dezentrale Finanzanwendungen können Vorteile für die Finanzstabilität bringen, ...

Allerdings können dezentrale Finanzanwendungen aufgrund der inhärenten Schwachstellen, etwa hinsichtlich der Infrastruktur, der verwendeten Technologie und möglicher Verbindungen mit dem konventionellen Finanzsystem, auch zu neuen Verwundbarkeiten führen. Die Wirkungsweise einzelner Anwendungen, ihre Reaktion bei Marktturbulenzen sowie mögliche Interdependenzen mit anderen Anwendungen und Akteuren können oftmals nicht hinreichend

... aber ebenfalls Risiken bergen

⁶⁰ Siehe: Teis (2020).

⁶¹ Siehe: Brühl (2021).

⁶² Für eine ausführlichere Diskussion zu den nachfolgenden Ausführungen siehe: Financial Stability Board (2019).

abgeschätzt werden. Darüber hinaus können sich wie im konventionellen Finanzsystem zum Beispiel Konzentrations-, Liquiditäts- und Fristentransformationsrisiken ergeben. Zudem kann der potenzielle Abfluss von Liquidität aus dem konventionellen Finanzsystem hin zu dezentralen Finanzanwendungen zu strukturellen Veränderungen im Finanzsystem führen. Ferner könnten die Automatismen in dezentralen Finanzanwendungen – insbesondere in Krisenzeiten – zu einer prozyklischen Entwicklung beitragen. Solche Mechanismen können beispielsweise wirken, wenn ein plötzlicher Wertverfall von Krypto-Token, die etwa als Sicherheiten für Kredite oder Stablecoins verwendet werden, automatische Nachschusspflichten auslöst. Werden diese nicht bedient, könnte es zu sich selbst verstärkenden Liquidierungsszenarien kommen, falls Kredite oder Stablecoins ihrerseits als Sicherheit für andere Geschäfte verwendet werden.

Liquiditätskrisen können verstärkt werden

Für Zentralbanken könnten dezentrale Finanzanwendungen die Liquiditätsbereitstellung und die darauf basierende Funktion als Kreditgeber der letzten Instanz (sog. Lender of Last Resort) erschweren. In dieser Funktion können Zentralbanken illiquiden, aber solventen Finanzinstituten Liquidität in Form von Zentralbankgeld zur Verfügung stellen, um vorübergehenden Liquiditätsengpässen entgegenzuwirken, die sich ansonsten zu einer Liquiditätskrise ausweiten könnten.⁶³ Ein Finanzsystem mit dezentralen Finanzanwendungen, alternativen und weniger transparenten Marktstrukturen und einer geringeren Abhängigkeit vom konventionellen Geldkreislauf und damit auch von Zentralbankgeld könnte sich im Vergleich mit dem heutigen Finanzsystem als fragiler erweisen und die Gefahr von Liquiditätskrisen erhöhen.

Wettbewerb und Innovation im Finanzsystem

Konventionelle Finanzintermediäre tragen prinzipiell dazu bei, die Transaktionskosten von Marktteilnehmern zu verringern – zugunsten

der gesamtwirtschaftlichen Wohlfahrt.⁶⁴ Netzwerkeffekte können jedoch dazu führen, dass einzelne Finanzintermediäre dominante Marktstellungen erlangen, was wiederum zum Abschöpfen von Monopolrenten führen kann. Der Wettbewerb in Bezug auf bestimmte Finanzdienstleistungen und im Zahlungsverkehr könnte durch neue Anbieter in Form dezentraler Finanzanwendungen profitieren. Zudem könnte es diesen aufgrund ihrer dezentralen Governance schwerfallen, eine marktbeherrschende Stellung zu monetarisieren. Dadurch könnten Wohlfahrtsverluste ausgehend von hohen anbieterseitigen Marktkonzentrationen verringert werden.⁶⁵

Wohlfahrtsverluste durch Monopole können verringert werden

Technologische Weiterentwicklungen könnten die DLT dabei unterstützen, ihr Potenzial zur Senkung von Prozess- und Transaktionskosten in umfassenderer Betrachtung zu realisieren. Durch Transaktionen in dezentralen Finanzanwendungen könnte die Abwicklung von vertraglichen Leistungen besser abgesichert werden und sich der Bedarf nach Treuhändern und zentralen Gegenparteien reduzieren. Dadurch könnten Kosten eingespart und Ineffizienzen behoben werden.⁶⁶

Neue Technologien versprechen Senkung der Transaktionskosten

Wie bereits angedeutet muss dabei allerdings das Vertrauen in Intermediäre, rechtliche Rahmenwerke und Institutionen durch Vertrauen in dezentrale Systeme ersetzt werden. In dezentralen Finanzanwendungen besteht zwar Transparenz, jedoch bedarf es auch entsprechender Fachkenntnisse. Die Mehrheit der Endnutzer dürfte kaum mit vertretbarem zeitlichen Aufwand in der Lage sein, die Programmcodes nachzuvollziehen. Im Vergleich zu konventionellen Finanzanwendungen kann es dadurch für Nutzer schwieriger werden, Produkte zu verstehen. Nutzer müssen darauf vertrauen, dass qualifizierte Individuen – und damit dann doch vertrauensvolle Dritte – den Programmcode

Konsumentensouveränität wird durch komplexe Technik erschwert

⁶³ Siehe: Financial Stability Board (2019).

⁶⁴ Vgl.: Benston und Smith (1976).

⁶⁵ Für vergleichbare Effekte bei öffentlichen Blockchains siehe: Pike und Capobianco (2020).

⁶⁶ Vgl.: Schär (2021).

Hohes inhärentes Innovationspotenzial ...

überwachen, sodass es nicht zu Softwarefehlern oder schädlichen Attacken kommt. Ansonsten werden dezentrale Finanzanwendungen die Transaktionskosten in einer Volkswirtschaft nicht erfolgreich senken können.

Sollten dezentrale Finanzanwendungen an Bedeutung gewinnen, könnten einige konventionelle Geschäftsmodelle der Finanzwirtschaft unter Druck geraten. Dies könnte durch eine regulierungsfreie und damit innovationsfreundliche Umgebung begünstigt werden. Anders als im konventionellen Finanzsystem bestehen durch die oftmals nicht durchsetzbare oder fehlende Regulierung und die geringen Investitionskosten für neuen Programmcode niedrige Markteintrittsbarrieren. Weiterhin eröffnen der frei verfügbare Programmcode und die Kombinierbarkeit von Anwendungen eine hohe Dynamik für Weiterentwicklungen, die keiner Erlaubnis durch die ursprünglichen Entwickler bedarf.⁶⁷⁾

... könnte mangels Monetarisierungsoptionen gebremst werden

Allerdings besteht die Gefahr, dass die ökonomischen Anreize für eine nachhaltige dynamische Entwicklung nicht ausreichen. Das Erzielen positiver Renditen aus entsprechenden Investitionen in Projekte dezentraler Finanzanwendungen könnte sich tendenziell als schwierig erweisen, da bestehender Code kopiert und mit geringen Anpassungen neu veröffentlicht werden kann.⁶⁸⁾ Die arbeitsintensive Entwicklung von innovativen Lösungen mit dem Ziel der zukünftigen Abschöpfung von Gewinnen wäre aufgrund fehlender Lizenzeinnahmen deshalb mit erheblichen Risiken verbunden. Jedoch könnten Entwickler versuchen, Renditen über Zusatzangebote wie Beratung oder Dienstleistungen im Bereich Softwaresupport zu generieren.⁶⁹⁾

Insgesamt scheint die finanzielle Unsicherheit die Innovationsdynamik dezentraler Finanzanwendungen derzeit nicht zu bremsen. Darüber hinaus könnten sich viele der innovativen Entwicklungen auch auf bestehende zentrale Systeme übertragen lassen. Daraus ergibt sich angesichts der inhärenten Probleme vollständi-

ger Dezentralität möglicherweise das größte technologische Potenzial für bestehende wirtschaftliche Strukturen.

Einige etablierte Unternehmen könnten – in Kombination mit der Implementierung der DLT – Innovationen absorbieren oder Interoperabilität mit eigenen Anwendungen anbieten. Dem könnten regulatorische Unsicherheiten und hoher Kooperationsbedarf zwischen Wettbewerbern zur Schaffung von interoperablen Infrastrukturen entgegenstehen.⁷⁰⁾

■ Fazit

Dezentrale Finanzanwendungen ermöglichen eine breiter werdende Palette von Finanzdienstleistungen. Neben der neuartigen Technik sind kreative Geschäftsmodelle und Unternehmensformen von besonderem Interesse. Die hohe Innovationsdynamik und ein schnelles Wachstum könnten zunehmende Auswirkungen dezentraler Finanzanwendungen auf das konventionelle Finanzsystem implizieren.

Aus der dezentralen Struktur ergeben sich jedoch zahlreiche Herausforderungen und Risiken, die als Wachstumshemmnisse wirken können. Tendenziell lassen sich viele Hemmnisse durch Formen der Zentralisierung, zum Beispiel organisierte Governance, mindern.

Als weitere Entwicklungsstufe ist eine zunehmende Verflechtung mit dem konventionellen Finanzsystem denkbar. Daraus könnte sich ein stärkerer Wettbewerb ergeben, verbunden mit niedrigeren Transaktionskosten. Gleichzeitig können Risiken für das Finanzsystem entstehen, die regulatorische Anpassungen erforderlich machen, wenngleich die Regulierung dezentra-

⁶⁷ Vgl.: Chen und Bellavitis (2020).

⁶⁸ Bei einer sog. Vampire Attack wird der Programmcode einer Anwendung kopiert und leicht verändert veröffentlicht. Durch die Belohnung mit Governance-Token werden Nutzern Anreize gesetzt, auf die neue Anwendung zu wechseln. Siehe: Berg (2021).

⁶⁹ Vgl.: Chaum et al. (2021).

⁷⁰ Vgl.: World Economic Forum (2021).

ler Finanzanwendungen dabei eine besondere wirtschaftlichen Auswirkungen dezentraler Herausforderung darstellt. Vor diesem Hintergrund sollten die Entwicklungen und gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen dezentraler Finanzanwendungen verstärkt untersucht und beobachtet werden.

■ Literaturverzeichnis

Aave (2020), Aave Protocol Whitepaper V2.0, Dezember 2020, <https://github.com/aave/protocol-v2/blob/master/aave-v2-whitepaper.pdf>.

Adams, H., N. Zinsmister und D. Robinson (2020), Uniswap v2 Core, <https://uniswap.org/whitepaper.pdf>.

Benston, G.J. und C.W. Smith (1976), A Transactions Cost Approach to the Theory of Financial Intermediation, *Journal of Finance*, Vol. 31, Nr. 2, S. 215–231.

Berg, C. (2021), Rent Seeking in Blockchain Governance: The Awkward Transition From Market Decision Making to Non-market Decision Making, Working Paper, https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3801103.

Binance (2020), Binance Smart Chain: A Parallel Binance Chain to Enable Smart Contracts, Juni 2020, <https://github.com/binance-chain/whitepaper/blob/master/WHITEPAPER.md>.

Bitkom (2020), Decentralized Finance (DeFi) – A new Fintech Revolution?, https://www.bitkom.org/sites/default/files/2020-07/200729_whitepaper_decentralized-finance.pdf.

Brühl, V. (2021), Decentralised Finance (DeFi) – wie die Tokenisierung die Finanzindustrie verändert, Center for Financial Studies, Working Paper Series, Nr. 655.

Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (2019), Blockchain sicher gestalten, https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Krypto/Blockchain_Analyse.pdf?__blob=publicationFile&v=3.

Buterin, V. (2014), DAOs, DACs, DAs and More: An Incomplete Terminology Guide, <https://blog.ethereum.org/2014/05/06/daos-dacs-das-and-more-an-incomplete-terminology-guide/>.

Buterin, V. (2013), A Next-Generation Smart Contract and Decentralized Application Platform, <https://ethereum.org/en/whitepaper/>.

Chaum, D., C. Grothoff, und T. Moser (2021), How to issue a central bank digital currency, *Swiss National Bank Working Papers*, 2021–03.

Chen, Y. und C. Bellavitis (2020), Blockchain disruption and decentralized finance: The rise of decentralized business models, *Journal of Business Venturing Insights*, Vol. 13.

Corbet, S., D. J. Cumming, B. M. Lucey, M. Peat und S. A. Vigne (2020), The destabilising effects of cryptocurrency cybercriminality, *Economics Letters*, Vol. 191.

Daian, P., S. Goldfeder, T. Kell, Y. Li, X. Zhao, I. Bentow, L. Breidenbach und A. Juels (2020), Flash Boys 2.0: Frontrunning in Decentralized Exchanges, Miner Extractable Value, and Consensus Instability, 2020 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP), San Francisco, S. 910–927.

Deutsche Bundesbank (2021), Digitales Geld: Optionen für den Zahlungsverkehr, Monatsbericht, April 2021, S. 61–80.

Deutsche Bundesbank (2019), Krypto-Token im Zahlungsverkehr und in der Wertpapierabwicklung, Monatsbericht, Juli 2019, S. 39–60.

Deutsche Bundesbank (2017), Distributed-Ledger-Technologien im Zahlungsverkehr und in der Wertpapierabwicklung: Potenziale und Risiken, Monatsbericht, September 2017, S. 35–50.

Europäische Zentralbank (2021), The use of DLT in post-trade processes, Advisory Groups on Market Infrastructures for Securities and Collateral and for Payments, April 2021.

Financial Stability Board (2019), Decentralised financial technologies, Juni 2019, <https://www.fsb.org/wp-content/uploads/P060619.pdf>.

Fraunhofer-Gesellschaft (2017), Blockchain und Smart Contracts, https://www.sit.fraunhofer.de/fileadmin/dokumente/studien_und_technical_reports/Fraunhofer-Positionspapier_Blockchain-und-Smart-Contracts.pdf?_=1516641660.

Grassegger, H. (2016), Die erste Firma ohne Menschen, Zeit Online, 26. Mai 2016.

Groce, A., J. Feist, G. Grieco und M. Colburn (2020), What are the Actual Flaws in Important Smart Contracts (And How Can We Find Them)?, in: J. Bonneau und N. Heninger (Hrsg. 2020), Financial Cryptography and Data Security, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 12059, S. 634–653.

Gudgeon, L., D. Perez, D. Harz, B. Livshits und A. Gervais (2020), The Decentralized Financial Crisis, 2020 Crypto Valley Conference on Blockchain Technology (CVCBT), S. 1–15.

Jensen, J. R., V. von Wachter und O. Ross (2021), An Introduction to Decentralized Finance (DeFi), Complex Systems Informatics and Modelling Quarterly, Vol. 26, S. 46–54.

Klages-Mundt, A., D. Harz, L. Gudgeon, J.-Y. Liu und A. Minca (2020), Stablecoins 2.0: Economic foundations and risk-based models, in Proceedings of the 2nd ACM Conference on Advances in Financial Technologies, S. 59–79.

Lin, L. (2019), Deconstructing Decentralized Exchanges, Stanford Journal of Blockchain Law & Policy, Vol. 2, Nr. 1.

Ludwin, A. (2017), A Letter to Jamie Dimon and anyone else still struggling to understand cryptocurrencies, Blogbeitrag vom 16. Oktober 2017, <https://blog.chain.com/a-letter-to-jamie-dimon-de89d417cb80>, zuletzt abgerufen am 16. August 2019.

Nakamoto, S. (2008), Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System, abrufbar unter: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>.

OECD (2020), The Tokenisation of Assets and Potential Implications for Financial Markets, <http://www.oecd.org/finance/The-Tokenisation-of-Assets-and-Potential-Implications-for-Financial-Markets.pdf>.

Pesch, P. J. (2019), Blockchain, Smart Contracts und Datenschutz, in: M. Fries, B. P. Paal (Hrsg. 2019), Smart Contracts, S. 13–23.

Pike, C und A. Capobianco (2020), Antitrust and the trust machine, <http://www.oecd.org/daf/competition/antitrust-and-the-trust-machine-2020.pdf>.

Santos, F. (2018), The DAO: A Million Dollar Lesson in Blockchain Governance, MA Thesis Tallinn University of Technology.

Schär, F. (2021), Decentralized Finance: On Blockchain- and Smart Contract-Based Financial Markets, Federal Reserve Bank of St. Louis Review, Second Quarter 2021, Vol. 103, Nr. 2, S. 153–74.

Szabo, N. (1997), Formalising and Securing Relationships on Public Networks, <https://journals.uic.edu/ojs/index.php/fm/article/view/548/469>.

Teis, S. (2020), How has crypto contributed to the transformation of the financial service industry? Will DEFI bring the next innovation boost?, https://medium.com/@stefan.teis_25337/how-has-crypto-contributed-to-the-transformation-of-the-financial-service-industry-5e6fb8e042e2.

Walch, A. (2019), Deconstructing “Decentralization”: Exploring the Core Claim of Crypto Systems, in: C. Brummer (Hrsg. 2019), Cryptoassets, S. 39–51.

World Economic Forum (2021), Decentralized Finance (DeFi) Policy-Maker Toolkit, White Paper, June 2021, http://www3.weforum.org/docs/WEF_DeFi_Policy_Maker_Toolkit_2021.pdf.