



CONDITIONED GOODS

Onderzoeksrapport

Opdrachtgever: Spark! LivingLab

Begeleider(s): Chris Verhoef

cq.verhoef@windesheim.nl

Organisatie: Hogeschool Windesheim

Begeleider(s): Bram van der Ploeg

aq.vanderploeg@windesheim.nl

Studenten: Robin ter Haar, Noah Venema, Jesse Hoed, Sven van Veen & Kjell

Arendsen

sven.van.veen@windesheim.nl

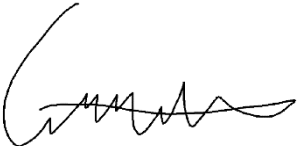
Documentbeheer

Versie	Datum	Aanpassing
0.1	30/09/2020	Opmaak en template
0.2	01/10/2020	Inleiding, context en probleemstelling, methodes, betrouwbaarheid en validiteit.
0.5	05/10/2020	Verwerken van informatie deelvragen
0.9	15/12/2020	Conclusie geschreven, opmaak en bronnen controle
1.0	04/01/2021	Laatste check en afronden document

Distributie

Versie	Datum	Naam
0.8	03/12/2020	Chris Verhoef + stakeholders
1.0	05/01/2021	Chris Verhoef
1.0	05/01/2021	Rachel Herregraven
1.0	05/01/2021	Windesheim

Goedkeuring

Handtekening	Datum	Naam
	05/01/2021	Chris Verhoef

Inhoud

Begrippenlijst	4
1 Inleiding.....	5
1.1 Aanleiding	5
1.2 Onderzoek context.....	5
1.3 Leeswijzer.....	5
2 Onderzoeksoptzet en uitvoering.....	6
3 Validiteit en betrouwbaarheid.....	6
4 Hoe kan blockchain zorgen voor een verbetering in inzicht en integriteit binnen de cold chain? 7	
4.1 Biedt blockchain een goede oplossing?.....	7
4.1.1 Wat is blockchain en hoe werkt het?.....	7
4.1.2 Public vs Private	7
4.1.3 Wat zijn de voor- en nadelen van blockchain?	8
4.1.4 Conclusie	11
4.2 Welke toepassingen van Blockchain zijn er?	12
4.2.1 Ethereum.....	12
4.2.2 Hyperledger.....	16
4.2.3 IOTA.....	24
4.2.4 EOSIO	31
4.2.5 Conclusie	35
5 Conclusie	37
6 Bibliografie	38

Begrippenlijst

Cold chain: De “cold chain”, in het Nederlands ook wel de “koelketen” genoemd, is de doorlopende keten van koeling tijdens het transport van producten vanaf de producent, via groothandelaren, naar retailers en zelfs de eindgebruiker. Het bewaken van de cold chain vormt een belangrijk onderdeel van de kwaliteitsbewaking rondom producten zoals vaccins en levensmiddelen, maar bijvoorbeeld ook van chemische grondstoffen. (TService, 2020)

Cold break: Een cold break is het proces waarin een gekoeld goed uit de koelcel wordt gehaald en verplaatst wordt naar een andere koelcel op vaste locaties. (Start van het Vebabox - Spark! Living Lab project, 2020)

Blockchain: Een Blockchain is een online register waarin transacties worden geregistreerd. Er wordt ook wel gesproken over een digitaal gedecentraliseerd grootboek of een publieke database. Iedereen die deelneemt heeft een kopie van het grootboek of de database op zijn computer staan. Iedere transactie, een block, wordt als het ware door alle nodes geverifieerd. Eenmaal geverifieerd door alle nodes wordt de transactie aan het register toegevoegd. Het goedkeuren door meerdere nodes betekent dat frauderen moeilijker wordt. Op dit systeem is onder andere de virtuele munt Bitcoin gebaseerd. (betekenis c.q. uitleg van Blockchain, n.d.)

Hands on: Is werken in de praktijk waarbij er meer met de handen wordt gewerkt in plaats van theoretisch.

Nodes: Een node is een apparaat of een structuur, deze kan als onafhankelijke eenheid worden beschouwen. Nodes communiceren met elkaar en functioneren binnen een geautomatiseerd systeem.

TPS: Transactions per second. De hoeveelheid transacties die een blockchain of database per seconde kan uitvoeren

Peer-to-peer (P2P):

Hard fork: Bij een hard fork in de blockchain wordt een chain verlaten en wordt een nieuwe chain opgepakt. Dit kan gedaan worden om bijvoorbeeld een fout uit de chain te halen.

Internet of Things (IoT): IoT is een netwerk van apparaten die connectie hebben tot het internet en die uitgerust zijn met elektronische chips voor het processen en het verzenden van data.

Trinaire logica: Driewaardige logica bestaat uit de waarden ‘true’, ‘false’ en ‘unknown’. Deze waarden, en dus de logica erachter, worden gebruikt om lege velden die de waarde ‘null’ bevatten tegen te gaan. Zie het figuur hiernaast, in het geval van A=T, B=T, A OR B=T A AND B=T en NOT A=F, is zowel waarde A als B ingevuld.

A	B	A OR B	A AND B	NOT A
T	T	T	T	F
T	U	T	U	
T	F	T	F	
U	T	T	U	U
U	U	U	U	
U	F	U	F	
F	T	T	F	T
F	U	U	F	
F	F	F	F	

Figuur 1 Trinaire
(driewaardige) logica

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Momenteel is de cold chain traditioneel ingericht. Er is weinig inzicht in de levertijden, condities en herkomst van de goederen. Daarnaast worden veel handelingen nog op papier uitgevoerd. Hierdoor is het automatisch afhandelen van afspraken met betrekking tot financiële nakoming niet aanwezig. Er is voor de partijen in de keten geen zekerheid wanneer en of er betaald wordt voor het nakomen van een afspraak.

Ook vinden er in de huidige markt cold breaks plaats. Een cold break is het proces waarin een gekoeld goed uit de koelcel wordt gehaald en verplaatst wordt naar een andere koelcel op vaste locaties. Een cold break zorgt voor veel handelingen, omdat deze gegevens elke keer opnieuw gedocumenteerd moeten worden. Het gevolg hiervan is hoge kosten en inefficiëntie. De cold breaks zorgen ook voor kwaliteitsvermindering van de goederen.

Hiernaast is er maar één point of entry, één manier hoe de gegevens opgenomen worden. Hierdoor kan de correctheid en validatie van de transportgegevens in twijfel worden getrokken. Deze traditionele manier van gegevensopslag biedt geen transparantie in het transport. Vanwege het ontbreken van transparantie in de condities van goederen, gedurende de hele reis van producent tot consument, is het onmogelijk om vast te stellen hoelang een goed buiten de koeling is getransporteerd.

1.2 Onderzoek context

Er is door zowel VebaBox als Spark! Livinglab geconstateerd dat blockchain een mogelijke oplossing is voor dit probleem. De doelstelling van dit onderzoek is dan ook om onderzoek te doen naar verschillende blockchain technieken, de toepassingen hiervan en welke van deze technieken het meest geschikt is om inzicht te creëren binnen de cold chain. Om deze rede is de volgende onderzoeksvraag opgesteld: **“Hoe kan blockchain zorgen voor een verbetering in inzicht en integriteit binnen de coldchain?”**

1.3 Leeswijzer

Hieronder wordt de leeswijzer voor het projectplan weergegeven. Per hoofdstuk wordt een korte beschrijving gegeven over dat hoofdstuk.

1. **Inleiding:** In dit hoofdstuk wordt de aanleiding/probleemstelling en de context van het onderzoek beschreven.
2. **Onderzoeksopzet en uitvoering:** In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe het onderzoek verricht wordt.
3. **Validiteit en betrouwbaarheid:** Bij de validiteit en betrouwbaarheid wordt beschreven hoe valide en betrouwbaar het onderzoek is en hoe dit gedaan gaat worden.
4. **Hoe kan blockchain zorgen voor een verbetering in inzicht en integriteit binnen de cold chain?:** In dit hoofdstuk wordt het onderzoek verricht door middel van deelvragen die antwoord geven op de hoofdvragen.
5. **Conclusie:** In dit hoofdstuk wordt er antwoord gegeven op de hoofdvraag.

2 Onderzoeksopzet en uitvoering

Bij het onderzoek wordt deskresearch en literatuuronderzoek uitgevoerd. Bij deskresearch worden feitelijke gegevens en bestaande onderzoeksdata verzameld om onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden (Krul, Hoe doe je deskresearch?, 2020). Met literatuuronderzoek wordt theoretische kennis verzameld over het onderwerp en de probleemstelling. Deze kennis terug te vinden in wetenschappelijke artikelen, boeken, papers, scripties en archiefmateriaal.

Een methode die ook toegepast wordt is experimenteel onderzoek. Tijdens een onderzoek wordt een bepaalde variabele gemanipuleerd (zoals een omstandigheid of verschijnsel), waarna het effect van de manipulatie wordt bekeken. In dit onderzoek zal dit toegepast worden bij het hands on werken (Krul, Zo doe je een literatuuronderzoek of literatuurstudie, 2020).

3 Validiteit en betrouwbaarheid

Validiteit en betrouwbaarheid zijn de toetssteen van elk onderzoek. Om de validiteit en betrouwbaarheid te verhogen zijn een aantal punten van belang. Daarnaast zijn er ook een aantal punten waardoor de validiteit en betrouwbaarheid in gevaar kan worden gebracht.

Betrouwbaarheid is de nauwkeurigheid en precisie van een meetprocedure. De betrouwbaarheid garandeert echter niet de validiteit van een meting, maar is wel een voorwaarde. Een belangrijk punt van de betrouwbaarheid is de stabiliteit. De stabiliteit is het waarborgen van consistente resultaten bij herhaalde metingen van dezelfde onderzoeker met hetzelfde instrument. Bij het uitvoeren van experimenteel onderzoek zal de stabiliteit van de meetwaarden gewaarborgd worden.

Een ander belangrijk punt voor de betrouwbaarheid is de afhankelijkheid. Hier is het belangrijk dat de onderzoeker dient te zorgen voor volledigheid en juistheid van de documenten en helder te zijn over het coderingschema en het data-analyseproces. Bij het selecteren van bronnen zal de afhankelijkheid in acht worden genomen.

De validiteit is de mate waarin wordt gemeten wat er daadwerkelijk gemeten moet worden. De validiteit is te categoriseren in twee hoofdtypen:

- Externe validiteit: de mogelijkheid om de data te generaliseren over personen, situaties en perioden. Hierin is de rol voor de onderzoeker een heldere omlijning te schetsen hoe de context de mogelijkheid biedt om de onderzoeksvraag te beantwoorden. De deelvragen in dit onderzoek zullen een antwoord geven op de hoofdvraag.
- Interne validiteit: de mate waarin een causale conclusie op basis van een studie is gerechtvaardigd. Een dergelijk oordeel wordt gevormd door de mate waarin een studie systematische fouten of bias minimaliseert. De conclusies in dit onderzoek worden gebaseerd op studies, zowel uit deskresearch als experimenteel onderzoek, en bevatten geen vooroordelen.

Daarnaast wordt er gebruik gemaakt van triangulatie. Dit wil zeggen dat er gebruik wordt gemaakt van verschillende databronnen, methoden en theorieën om zoveel mogelijk bevestigend bewijs te verschaffen. Voor de onderzoeksmethoden deskresearch en literatuuronderzoek zal voornamelijk gebruik worden gemaakt van triangulatie. (Tubbing, 2002)

4 Hoe kan blockchain zorgen voor een verbetering in inzicht en integriteit binnen de cold chain?

4.1 Biedt blockchain een goede oplossing?

Om antwoord te kunnen geven op de vraag waarom blockchain een goede oplossing kan bieden, zal er eerst dieper gekeken worden naar de werking van blockchain. Hieronder zal worden uitgelegd wat blockchain is en hoe het werkt. Daarnaast zal ook worden onderzocht wat de voor- en nadelen van blockchain zijn en op welke vlakken blockchain zich onderscheidt van andere technieken. Hierdoor wordt er een duidelijk beeld gecreëerd of blockchain een oplossing zou kunnen bieden. Deze resultaten worden verwerkt in de conclusie.

4.1.1 Wat is blockchain en hoe werkt het?

In simpele woorden uitgedrukt is blockchain een chain van blocks. De blocks representeren data en de chain representeert een publieke database. De data die in de blocks geregistreerd wordt zijn transacties of andere digitale events. Alle nodes die deelnemers zijn van het netwerk hebben een kopie van deze database. Alle nieuwe entries worden gecontroleerd door alle nodes waardoor het vrijwel onmogelijk om eerdere entries aan te passen. (Reiff, 2020)

Een blockchain netwerk is dus een vorm van een Peer2Peer netwerk. Om een nieuwe block toe te kunnen voegen moet er een extreem complex rekenprobleem opgelost worden. Het resultaat van het rekenprobleem wordt ook wel “proof of work” genoemd. De nodes die het rekenprobleem oplossen worden beloond met de desbetreffende cryptocurrency (Michael Crosby, 2016).

Alle nodes binnen het netwerk communiceren met elkaar. De validiteit van de chain wordt gewaarborgd door gebruik te maken van hashes. Op het moment dat een node data aan een block toevoegt wordt hier een hash van gemaakt en in de chain gezet. Als een andere node data toevoegen aan de chain wordt de vorige hash in de nieuwe hash opgenomen. Doordat alle hashes steeds mee worden genomen is het vrijwel onmogelijk om eerdere entries aan te passen zonder dat dit opgemerkt wordt. Dit heeft te maken met hoe hashes gegenereerd worden, zodra een block bewerkt wordt verandert de hash. Het veranderen van een hash verandert ook alle volgende hashes, omdat iedere hash meegenomen wordt naar het volgende block, waardoor bewerkte entries makkelijk te detecteren zijn. (Michael Crosby, 2016)

4.1.2 Public vs Private

Over de jaren heen zijn er verschillende soorten blockchains ontstaan, ieder met zijn eigen eigenschappen of smaak. Toch zijn alle blockchains public of private en dit heeft veel invloed op de werking van de blockchain, hieronder gaan we dieper in op de belangrijkste verschillen.

Een openbaar of ook wel **public** blockchain netwerk is volledig open en is voor iedereen vrij toegankelijk om mee te doen en bij te dragen aan de activiteiten van de blockchain. In een public blockchain kan iedereen lezen, schrijven en de activiteit op de blockchain controleren. Hierdoor kan een public blockchain zelfbesturend blijven. De public blockchain wordt ook wel de ‘public permissionless blockchain’ of ‘permissionless blockchain’ genoemd vanwege de openbare opzet en werking. Openbare blockchains werken met beloningen dat nieuwe deelnemers aanmoedigt om zich aan te sluiten en het netwerk flexibel te houden. Public blockchains bieden een netwerk dat zowel

gedecentraliseerd, gedemocratiseerd en autoriteitsvrij is. Toch kent een public blockchain netwerk ook een aantal nadelen zoals het hoge energie verbruik, gebrek aan volledige privacy en anonimiteit en kwaadwillende kunnen ook deelnemen aan het netwerk om tokens te stelen, hacken of het netwerk te vertragen. Voorbeelden van public blockchains zijn Bitcoin en Ethereum.

Als een blockchain wil draaien die alleen geselecteerde deelnemers toelaat, dan spreken we van een **private** blockchain. Bij het gebruik van een private blockchain kunnen deelnemers alleen deelnemen via een authentieke en geverifieerde uitnodiging. Daarnaast is er ook verificatie van een netwerkbeheerder of protocol nodig om de gebruiker definitief toe te laten tot de blockchain. Het grootste verschil tussen public en private blockchains is dus de toegang tot de chain. Voorbeelden van private blockchains zijn Hyperledger en Ripple.

Daarnaast is er ook nog een derde vorm van de blockchain, namelijk de **permissioned** blockchain. De permissioned blockchain is combinatie tussen de public en de private blockchain die op maat kunnen worden gemaakt of aangepast naar de wensen van de gebruiker doormiddel van rechten, regels en configuraties. Zo is Ripple een voorbeeld die rechten gebaseerde rollen ondersteund. Zo kan een rol gespecificeerd worden om alleen bepaalde activiteiten te mogen uitvoeren op het blockchain netwerk. (Seth, 2018), (Massessi, 2018)

Tenslotte kunnen bepaalde blockchains ook meerdere soorten bieden, bijvoorbeeld Ethereum. Ethereum is standaard een public blockchain, maar er zijn ook private implementaties van de Ethereum blockchain.

4.1.3 Wat zijn de voor- en nadelen van blockchain?

4.1.3.1 Voordelen

Transparantie

Blockchain is, zoals al eerder genoemd, te vergelijken met een publieke database, hierdoor delen alle partijen in het netwerk van de blockchain dezelfde data (informatie en documenten). Ook zorgt de decentralisatie van de database ervoor dat de data(records) op meerdere locaties identiek worden vastgelegd. In plaats van vertrouwen, is data verifieerbaar voor iedereen in de chain. Daarnaast kan de gedeelde informatie of documentatie alleen worden aangepast of toegevoegd als alle partijen hiermee instemmen.

“With blockchain, an organization can go for a complete decentralized network where there is no need for a centralized authority — improving the transparency of the system.” - (Singh, 2019)

Een database doet eigenlijk hetzelfde als een blockchain, het opslaan van data(records). Het grootste verschil hier is dat een database in de meeste gevallen beheerd wordt door één partij, waardoor de data misschien niet te vertrouwen is. Aangezien deze partij beheer rechten heeft op deze database zouden records aangepast kunnen worden zonder dat gebruikers van de database dit doorhebben. Mocht een node iets in de blockchain proberen aan te passen kan de rest van het netwerk deze wijziging weigeren. (Schlapkohl, 2019)

De kern, het hebben van dezelfde data verspreid over een groot netwerk zodat iedereen binnen het netwerk ze kan inzien, zorgt voor meer samenwerking onder de verschillende partijen en de transparantie van de blockchain. (Hooper, 2018), (HBUS, 2018).

Verbeterde beveiliging

Blockchain heeft een aantal beveiligingsvoordelen, te beginnen met de consensus die nodig is voor het opnemen van data in de chain. Zoals eerder al genoemd moeten de betrokken partijen in overeenstemming zijn voordat data (een transactie) wordt opgenomen in de chain. Als de transactie is goedgekeurd, zal deze transactie worden gekoppeld, doormiddel van hashes, aan de vorige transactie waardoor de chain veranderd. De consensus en het koppelen aan vorige transacties in combinatie met het decentrale netwerk van de blockchain, maakt het voor hackers of kwaadwillende bijna onmogelijk om de data in gevaar te brengen en wordt fraude tegengegaan. Tenslotte zijn blocks in de blockchain immutable. Dit wil zeggen dat data niet te veranderen is zodra het verwerkt is in de blockchain. (Hooper, 2018)

Encryptie van de blockchain wordt geregeld door asymmetrische cryptografie. Hierbij wordt gebruik gemaakt van twee aparte sleutels: een sleutel om te de informatie te coderen (privé sleutel) en een sleutel om informatie te decoderen (publieke sleutel). Deze sleutels worden gegenereerd doormiddel van cryptografische algoritmes die gebaseerd zijn op wiskundige 'one-way' functies. Het voordeel van asymmetrische cryptografie is dat gebruikers nooit hun privé sleutels te hoeven af te geven, waardoor de kans wordt verkleind dat cybercriminelen de key van een persoon kunnen verkrijgen tijdens de overdracht. Daarnaast kiest de gebruiker er zelf voor met wie de publieke sleutel wordt gedeeld en wie dus de versleutelde informatie kan inzien. (Lord, 2018), (Stallings, 1999)

Efficiëntie

Momenteel gaan veel transacties nog via de bank of een derde partij, of wordt er nog gewerkt met papieren processen tijdens transacties. Dit kost niet alleen meer tijd, maar vergroot ook de kans op fouten. Blockchain kan deze menselijke fouten tegen gaan. Daarnaast kan het tijd consumerende processen, zoals 'P2P cross-border transfers', automatiseren doormiddel van een digitale valuta en menselijke fouten worden hiermee vermeden. De gedecentraliseerde database zorgt voor één netwerk waar alle transacties worden opgenomen en direct worden uitgevoerd om de efficiëntie te bevorderen. (Koksal, 2019)

Traceerbaarheid

Met blockchain kunnen supply chains, of zoals in dit geval cold chains, worden opgezet door bedrijven die samenwerken met zowel de afnemers als de leveranciers. Iedere keer als er een transactie wordt opgenomen in het grootboek, wordt er ook een audit trail gecreëerd om te kunnen traceren waar de goederen vandaan kwamen. Dit helpt niet alleen bij het verbeteren van de veiligheid of het voorkomen van fraude, maar ook bij het verifiëren van de authenticiteit van de verhandelde activa (Koksal, 2019). Kortom stelt het participerende partijen in staat om goederen te traceren en kunnen deze partijen verifiëren dat goederen niet veranderd, misbruikt of verloren zijn gegaan in de supply chain. (Singh, 2019)

Open Source

Naast de eis vanuit Spark! LivingLab voor een open source oplossing, biedt open source hier ook voordelen. Omdat blockchain open source software is, zijn er verminderde toegangsbarrières die leiden tot een sterkere ontwikkelaarsbasis en verbeterde transparantie. Open source software wordt vrij gedeeld, gezamenlijk geproduceerd, transparant ontwikkeld en gepubliceerd voor het belang van de gemeenschap. (Omnitude, 2019)

4.1.3.2 Nadelen

Data modificatie

Waar onverenigbaar data een voordeel is, kan het ook een nadeel zijn. Als data eenmaal is toegevoegd aan de blockchain is het heel moeilijk, dan wel niet aan te passen. Waar data consistentie dus een voordeel is, is het niet altijd even handig wanneer er bijvoorbeeld fouten m.b.t. data in de blockchain staan. Data veranderen in de blockchain is een erg veel eisend proces, vaak is hiervoor een zogenaamde 'hard fork' nodig. Hierbij wordt een chain verlaten en wordt een nieuwe chain opgepakt. (Blockchain Advantages and Disadvantages, 2020) (Iredale, 2020)

Efficiëntie

Blockchain varianten die gebruik maken van de 'Proof of Work' methode, zijn erg inefficiënt. Omdat het oplossen van de rekenvraag erg competitief is en er kan maar één winnaar per 10 minuten zijn, gaat het werk en dus resources die daarvoor nodig zijn verloren. Door constant te zoeken naar een oplossing voor de proof of work, nemen deze varianten ook extreem veel energie. Zo consumeert Blockchain bijvoorbeeld al meer energie dan het totale energie verbruik van sommige landen (Denemarken, Ierland of Nigeria). (Blockchain Advantages and Disadvantages, 2020) (Iredale, 2020)

Ook hebben de meeste blockchain technieken op het moment een redelijk lage TPS. Een traditionele database kan wel tot in de miljoen transacties per seconde uitvoeren zolang er maar genoeg resources beschikbaar zijn. Ethereum 1.0 heeft bijvoorbeeld een TPS van ongeveer 3000 op dit moment. Er worden wel stappen gezet op in Ethereum 2.0 een TPS van wel 100.000 te halen, maar dit is op het moment nog in ontwikkeling (Simmons, Buterin: Ethereum 2.0 will scale to 100,000 TPS in phase 1, 2020). Bitcoin daarentegen heeft maar tussen de 3.3 en 7 TPS. Dit betekent hoe groter het blockchain netwerk hoe langzamer het wordt. Dus hoe meer nodes naar de blockchain schrijven hoe langzamer het wordt. Ook de consensus methode vertraagt dit proces nog meer, aangezien iedere node binnen het netwerk de wijzigingen moeten goedkeuren.

Sleutel gebaseerd

Om encryptie toe te passen maakt blockchain gebruik van 'public-key' of ook wel 'asymmetrische' cryptografie genoemd. Hoewel dit zorgt voor de beveiliging van de technologie kan het, afhankelijk van het gebruik van de technologie, ook een nadeel zijn. Om gebruikers toegang te geven aan hun cryptovaluta, hoort bij ieder blockchainadres een 'private-key'. Deze privésleutel moet ten alle tijden, zoals het woord al zegt, privé worden gehouden. Met deze sleutel kunnen gebruikers bij hun cryptovaluta en acteren ze als hun eigen bank. Het nadeel hiervan is de sleutel zelf, zodra deze verloren raakt is de cryptovaluta niet meer benaderbaar zonder dat de gebruiker verder iets aan kan doen. (Blockchain Advantages and Disadvantages, 2020)

Integratie

Omdat blockchain nog een hele nieuwe technologie is en nog verre weg van worden gestandaardiseerd, kan het voor bedrijven die nog gebruik maken van huidige technologie en systemen lastig en duur zijn om blockchain technologie te implementeren/integreren. Hiervoor zal de huidige omgeving van die bedrijven namelijk volledig moeten worden omgegooid en dat is niet haalbaar voor veel bedrijven. (Iredale, 2020)

Support

Veel blockchain oplossingen of valuta's zitten nog in een vroeg stadium, zien er op het moment veelbelovend uit, maar zouden binnen 2 jaar toch kunnen falen. Daarnaast is het reëel om te stellen dat de support voor sommige oplossingen op het moment beperkt of slecht is en dat het zomaar kan zijn dat deze weg valt over 2 jaar, tenzij het zich anders zal bewijzen. (d'Auria, 2020)

4.1.4 Conclusie

Hoewel blockchain nog verre weg is van de standaard, kan de technologie zijn vruchten al afwerpen. De structuur en opbouw van blockchain biedt een aantal unieke voordelen ten opzichte van traditionele systemen. Door de transparante opzet hoeven gebruikers niet meer te vertrouwen op een externe partij, maar kan data zoals transacties geverifieerd worden door de gebruikers zelf. Daarnaast wordt de integriteit van data gewaarborgd doormiddel van de consensus-methode en 'immutable' data in de chain. Ook moet er rekening gehouden worden met het schommelen van crypto valuta's als deze gebruikt zouden worden als betaal en/of transactie middel.

4.2 Welke toepassingen van Blockchain zijn er?

De hieronder beschreven oplossingen zijn vier verschillende blockchain technieken uit een veel grotere selectie. Om een zo volledig mogelijk onderzoek te doen is er gekozen om deze vier technieken verder in detail uit te werken.

4.2.1 Ethereum

4.2.1.1 Wat is Ethereum?

Ethereum is een opensource, blockchain-based, decentralized software platform dat gebruikt wordt voor eigen cryptocurrency. Het biedt de mogelijkheid om smart contracts en distributed applications te bouwen en te draaien zonder enige downtime, fraude, controle of een onderbreking van een derde partij (Frankenfield, Ethereum, 2020).

Ethereum is een blockchain staat het meest bekend om dat het een public blockchain is dat miljarden dollars in waarde verwerkt als transactions. Maar de meeste mensen weten niet dat Ethereum op code gebaseerd is waardoor het ook gebruikt wordt door bedrijven om wereldwijd business netwerken te vormen. Velen van deze private, permissioned Ethereum instanties zijn gescheiden van de public chain, maar kunnen wel als optie een brug vormen naar de data of waarde op vaste public Ethereum network. (5 reasons why enterprise Ethereum is so much more than a DLT, n.d.)

Ethereum onderscheidt zich van blockchain doordat het programmeerbaar is waardoor andere middelen, waaronder andere cryptovaluta, ook gebruikt kunnen worden, dus ook blockchain. Verder kan het ook toegepast worden voor andere usecases naast betalingen. Voorbeelden hiervan zijn: financiële services, games en apps die geen data kunnen stelen en monitoren.

Ethereum wordt gebruikt vanwege de volgende aspecten:

Banking for everyone

Niet iedereen heeft toegang tot financiële services. Met Ethereum gaat uitlenen, lenen en sparen van producten via een internetverbinding.

A more private internet

Persoonlijke gegevens hoeven niet uitgewisseld te worden om een Ethereum app te kunnen gebruiken. Ethereum bouwt een economie gebaseerd op waarde en niet op toezicht.

A peer-to-peer network

Ethereum biedt de mogelijkheid om geld te verplaatsen of afspraken te maken direct met een andere persoon. Dit hoeft niet langs intermediaire bedrijven.

Censorship-resistant

Zowel de overheid als bedrijven hebben geen controle over Ethereum. Decentralisatie maakt het vrijwel onmogelijk om ontvangende payments of gebruikte services op Ethereum te stoppen.

Commerce guarantees

Ethereum maakt een groter speelveld. Klanten hebben een veilige, ingebouwde garantie dat geldmiddelen alleen van eigenaar wisselen als de producten of service waarop een akkoord gegeven was geleverd is. Hiervoor is geen groot bedrijf voor nodig om zaken te kunnen doen.

Compatibility for the win

Betere producten en ervaringen waren gebouwd, omdat Ethereum producten van zichzelf al compatible zijn. Bedrijven kunnen op elkaars succes bouwen. (What is Ethereum, 2020)

De voordelen van decentralized Ethereum platform

Decentraliserende apps draaiend op blockchain bieden de volgende voordelen:

- Onveranderbaar: Een derde partij kan niet de data veranderen.
- Corruptie en fraudebestendig: Apps zijn gebaseerd op een netwerk gevormd rond het principe van algemene instemming en maakt censorship onmogelijk.
- Veilig: Met geen central point of failure en beveiligd met cryptografie, zijn applicaties goed beveiligd tegen hackaanvallen en frauduleuze activiteiten.
- Zero downtime: Apps gaan nooit uit de lucht en kunnen niet zomaar uitgezet worden.

Wat is het nadeel van decentralized Ethereum applicaties

Tegenover de voordelen van Ethereum zitten ook nadelen. Smart contract code is geschreven door mensen en zijn dus ook alleen evengoed als de persoon die het heeft geschreven. Bugs in de code en onoplettendheid zorgen ervoor dat onbedoeld verkeerde acties worden uitgevoerd. Als een fout wordt misbruikt, dan is er geen efficiënte manier om een aanval of misbruik tegengehouden kan worden dan de code herschrijven. Dit gaat tegen de essentie in dat blockchain onveranderbaar is. (Rosic, 2020)

4.2.1.2 *Hoe kan Ethereum toegepast worden?*

Ethereum Smart contract

Smart contract is een uitdrukking om computercode te beschrijven dat de uitwisseling van geld, content, eigendom, shares of iets anders van waarde is. Een smart contract in de blockchain wordt een zelf uitvoerend computerprogramma wat automatisch taken uitvoert wanneer specifieke condities vervuld zijn. Omdat smart contracts op de blockchain draaien kan het uitgevoerd worden zonder een kans van censuur, downtime, fraude of onderbreking van een derde partij. Bij alle blockchains is de mogelijkheid om codes uit te voeren maar vaak gelimiteerd. Met Ethereum krijgen developers de mogelijkheid om alles te maken wat nodig is voor het product. Dit betekent met smart contracts dat developers duizenden verschillende applicaties kunnen bouwen.

Ethereum Virtual Machine

Vele cryptocurrencies zijn ontworpen om exclusief te opereren als peer-to-peer digital currencies. Developers lopen tegen het probleem dat het uitbreiden van functies via Bitcoin en andere applicaties vaak complex en tijdrovend zijn. Ethereum is een nieuwe benadering voor die situatie. Ethereum Core innovation Ethereum Virtual machine is een complete software wat op het Ethereum netwerk draait. Het geeft de mogelijkheid dat elk programma uitvoerbaar is op elke programmeertaalbasis. Ethereum Virtual Machine maakt het proces van blockchain applicaties maken makkelijker en efficiënter. In plaats van het bouwen van een gehele originele blockchain voor elke applicatie, maakt Ethereum de development van duizenden verschillende applicaties op één platform mogelijk.

Decentralized Autonomous Organizations (DAO)

Ethereum kan gebruikt worden om Decentralized Autonomous Organizations (DAO) te bouwen. Een DAO is een volledig autonome, gedecentraliseerde organisatie zonder een leider. DAO wordt uitgevoerd via geprogrammeerde code op een collectie van smart contracts op Ethereum. De code is ontworpen om regels en structuur van een traditionele organisatie te vervangen, de behoefte

voor mensen te elimineren en gecentraliseerde controle. Een DAO is eigendom van iedereen die tokens betaald.

Cryptocurrencies

Ook wordt Ethereum gebruikt als een platform voor andere cryptocurrencies. Door de ERC20 token, die standaard gedefinieerd is door Ethereum foundation, kunnen andere developers eigen versies van die token uitbrengen en geldmiddelen verzamelen met een initiële coin offering (ICO). In deze fundraising strategie kunnen de uitbrengers van de token bepalen hoeveel ze willen verzamelen, bieden het aan in een crowd sale en ontvangen ze Ether in exchange. (Rosic, 2020)

4.2.1.3 Hoe kan sensordata naar de blockchain geschreven worden?

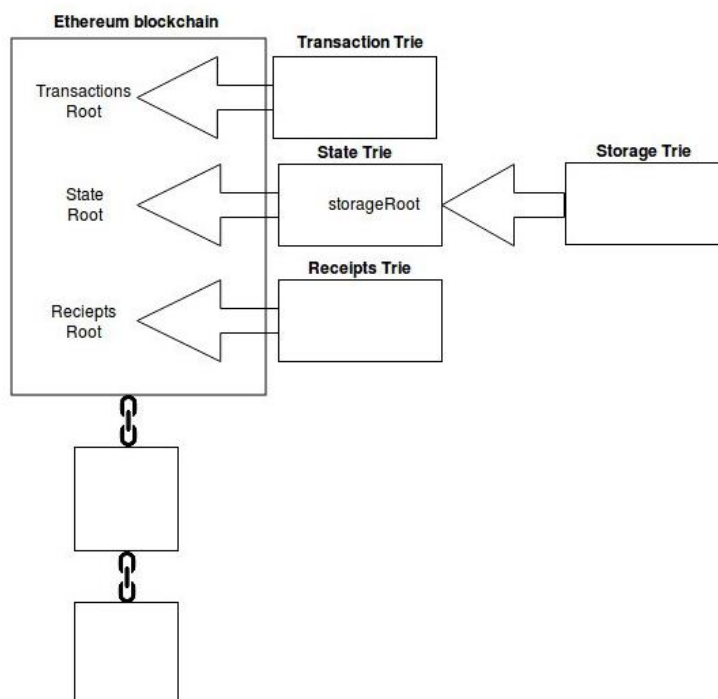
Ethereum storing data

In de blockchain is het belangrijk om de balances en andere details van verschillende gebruikers bij te houden en de details wat er daartussen in de blockchain gebeurt.

Bij het gebruik van Ethereum is het mogelijk om account balances te managen en meer. De status van Ethereum is niet een abstract concept. Het is een onderdeel van de Ethereum's base layer protocol. Ethereum is een transaction based 'state' machine.

De blockchain start met zijn eigen genesis block. Vanaf dit punt (genesis state at block 0) blijven activiteiten zoals transacties, contracts en mining continu de status van de Ethereum blockchain veranderen. In Ethereum zou dit bijvoorbeeld een account balance kunnen zijn, die elke keer door een transactie veranderd.

Data zoals account balances worden niet direct opgeslagen in de blocks van de Ethereum blockchain. Alleen de root node hashes van de transaction trie, state trie en receipts trie zijn direct opgeslagen in de blockchain. Dit is terug te zien in de illustratie hieronder.



Figuur 2 State trie wordt opgeslagen

In de illustratie is te zien dat de root node hash van de storage trie (waar alles van de smart contract dat wordt bewaard) wijst naar de state trie die vervolgens wijst naar de blockchain. De storage trie is waar alle van de contract data leeft.

Er zijn twee verschillende types van data in Ethereum: permanente data en vluchtige data. Een voorbeeld van permanente data is een transactie. Wanneer een transactie volledig is geconfirmed, is het opgeslagen in de transaction trie. Een voorbeeld van vluchtige data is de balance van een bepaald ethereum account address. De balance van een account adres is opgeslagen in de state trie en verandert wanneer de transactie optreedt bij dat specifieke account. Het maakt het logisch dat permanente data, geminede transacties, en vluchtige data opgeslagen moet worden. Ethereum gebruikt hiervoor trie data structuren om data te managen.

State trie

Er is maar één globale state trie in Ethereum die constant wordt bijgewerkt. Het bevat een key en waardepaar voor elk account wat bestaat op het Ethereum netwerk. De key is een 160 identifier (het adres van een Ethereum account). De hash van de state trie's root node wordt gebruikt als een veilige en unieke identifier voor de state trie. De state trie's root node is cryptografisch afhankelijk van alle interne state trie data.

Storage trie

Elk Ethereum account heeft zijn eigen storage trie. Een 256-bit hash van de storage trie's root node is opgeslagen als de storageRoot waarde in de global state trie.

Transaction trie

Ook elk Ethereum block heeft zijn eigen aparte transaction trie. Een block bevat velen transacties. De volgorde van de transacties in een block wordt bepaald door de miner die het block monteert. Het pad naar een specifieke transactie kan via de index achterhaald worden. Geminede blocks worden nooit bijgewerkt, dit betekent dat de positie van de transactie in een block nooit verandert. Wanneer de transactie in een block wordt gelokaliseert in de transaction trie, dan kan het pad meerdere malen benaderd worden wat iedere keer hetzelfde resultaat levert. (Vasa, 2018)

Receipt Trie

De receipt trie heeft het doel om de uitkomst van een transactie op te slaan. Het kan ook gebruikt worden voor zero-knowledge proofs of om te zoeken. Zero-knowledge proof bewijst of een statement klopt zonder informatie te lekken.

(Brickwood, 2018)

(Lynn, n.d.)

4.2.2 Hyperledger

4.2.2.1 Wat is Hyperledger?

Hyperledger is een open-source community gestart in 2015. De community is gevormd door verschillende bedrijven met een gezamenlijke interesse in blockchain. Deze partijen realiseerden dat er meer behaald kon worden wanneer deze partijen met elkaar gingen samenwerken in plaats van te concurreren. Hyperledger ziet zichzelf als een soort 'greenhouse' waar gebruikers, developers en verkopers uit verschillende sectoren en markten samenkomen. Blockchain is een krachtige technologie maar het is geen one-size-fits-all technologie. Dit wil zeggen dat een bedrijf zelf de business eisen moet opstellen en de blockchain op maat gemaakt moet worden. Het is daarom belangrijk dat elk bedrijf haar eigen blockchain ontwerpt.

Gemakkelijk bijhouden van ontwikkelingen

Hyperledger biedt een community waarin communicatie met andere projecten en deelnemers gestroomlijnd is. De communicatie zorgt ervoor dat nieuwe deelnemers snel op de hoogte zijn van de laatste ontwikkelingen.

Betere productiviteit door specialisatie

De projecten zijn verdeeld in verschillende expertises. In plaats van proberen verschillende expertises in één project waardoor er veel taken uitgevoerd moeten worden, zijn Hyperledger projecten gefocust op een bepaalde expertise waar er gefocust kan worden op minder, maar specifiekere, taken.

Samenwerking om dubbele ontwikkelingen te voorkomen

In plaats van met elkaar te concurreren, is het de bedoeling dat verschillende partijen met dezelfde expertises met elkaar gaan samenwerken, zodat er geen gedupliceerde projecten ontstaan.

Betere kwaliteitscontrole van code

Hyperledger heeft een technical governing committee. Deze partij doet een review van alle projecten gedurende de life cycle. Hierdoor wordt de kwaliteit van de code gedurende de life cycle bewaakt.

Ontwerp filosofie

Elk Hyperledger project volgt dezelfde designfilosofie:

- Modular: Ontwikkelaars kunnen experimenteren met verschillende componenten zonder dat het systeem omvalt.
- Highly secure: Hyperledger projecten omarmen security by design en volgen de best practices gespecificeerd door Linux Foundation's Core Infrastructure Initiative.
- Cryptocurrency-agnostic: Hyperledger projecten zijn onafhankelijk van alt-coins, cryptocurrency en tokens. Het doel van Hyperledger is niet het creëren van een cryptocurrency platform, maar een blockchain software creëren voor ondernemingen.
- Complete with APIs: Alle Hyperledger projecten hebben de mogelijkheid voor interoperabiliteit met andere systemen. (The Hyperledger White Paper Working Group, 2018)



Figuur 3 Ontwerp filosofie Hyperledger

4.2.2.1.1 Hyperledger Fabric

Hyperledger Fabric is een open-source enterprise-grade private permissioned distributed ledger technology platform, ontworpen voor gebruik in enterprise context. Hyperledger Fabric heeft een hoge modulaire en configureerbare architectuur. Hierdoor is de architectuur geschikt voor innovatie, veelzijdigheid en optimalisatie voor een breed bereik aan verschillende industrieën.

Fabric ondersteunt smart contracts “authored in general-purpose programming languages”. Dit betekent dat smart contracts geschreven kunnen worden in programmeertalen zoals Java, Go en Node.js. Een groot voordeel hiervan is dat de meeste bedrijven al over de vaardigheden beschikken om smart contracts te ontwikkelen.

Het Fabric platform is permissioned. Anders dan een permissionless platform zijn de deelnemers op een permissioned platform wel bekend met elkaar. Een groot voordeel aan een permissioned platform is dat het netwerk functioneert volgens een governance model waar gespecificeerd wordt welke trust bestaat tussen verschillende deelnemers op het netwerk.

Eén van de belangrijkste punten van Fabric is het de ondersteuning van “pluggable consensus protocols”. Dit betekent dat er, gebaseerd op de specifieke use case en trust modellen, een consensus protocol gekozen kan worden. Voor een kleine omgeving zou een consensus protocol als crash fault-tolerant geschikt kunnen zijn, terwijl voor een grotere omgeving het byzantine fault tolerant consensus protocol een requirement is. De consensus protocollen van Fabric zijn niet afhankelijk van een cryptocurrency waarbij gebruik gemaakt moet worden van mining om consensus op de blockchain te creëren. Een groot voordeel hiervan is de kosten voor het uitrollen van het platform. De kosten zijn namelijk vergelijkbaar met de uitrol kosten van een gedistribueerd systeem.

Modulariteit

Hyperledger Fabric is met een modulaire architectuur ontworpen. Op deze manier kan het platform geconfigureerd worden om aan de verschillende business requirements te voldoen. Op een hoog level bestaat Fabric uit de volgende modulaire componenten:

- Een “pluggable ordering service” zorgt voor consensus in de volgorde van transacties en zend gecreëerde blocks naar alle peers.
- Een “pluggable membership serviceprovider” is verantwoordelijk voor het koppelen van entiteiten in het netwerk aan crypto grafische identiteiten.
- Smart contracts draaien in een container omgeving voor isolatie. Smart contracts kunnen geschreven worden in standaard programmeertalen maar hebben niet direct toegang tot de ledger state.

- De ledger kan geconfigureerd worden met ondersteuning van verschillende Database Management Systems (DBMMs)
- Policies voor applicaties kunnen per applicatie geconfigureerd worden.

Smart contracts

Een smart contract, ook wel chaincode genoemd door Fabric, functioneert als een gedistribueerde applicatie die security/trust krijgt van de blockchain en de consensus van alle peers. In de chaincode zit de business logica van de blockchain applicatie. In Fabric kennen smart contracts drie belangrijke punten:

- Meerdere smart contracts draaien naast elkaar op het netwerk.
- Smart contracts kunnen dynamisch uitgerold worden.
- Applicatie code moet behandeld worden als niet vertrouwelijk en potentieel malicious.

De meeste blockchain platformen met smart contracts maken gebruik van de order-execute architectuur waarbij het consensus protocol eerst transactie valideert en rangschikt en vervolgens verspreid naar alle peer nodes. Elke peer voert ten slotte alle transacties sequentieel uit. Smart contracts in een order-execute architectuur moeten deterministisch zijn om consensus te bereiken. Hiervoor is het belangrijk dat alle smart contracts geschreven worden in een domain specific language zoals Solidity. Een nadeel hiervan is dat het wide-spread-adoption kan hinderen, omdat de programmeurs een nieuwe taal moeten leren.

Fabric heeft hiervoor een nieuwe aanpak bedacht, namelijk de execute-order-validate architectuur. De architectuur bestaat uit drie stappen:

- Execute een transactie en controleer de correctheid, het bevestigen van de transactie.
- Order transacties via een pluggable consensus protocol.
- Validate transacties tegen een applicatie specifieke endorsement policy voordat transacties doorgevoerd worden naar de ledger.

Het grote verschil met de order-execute architectuur is het feit dat smart contracts niet deterministisch hoeven te zijn. De transactie wordt namelijk eerst uitgevoerd voordat de transacties gerangschikt worden. Hiermee is het mogelijk om standaard programmeertalen zoals Java te gebruiken voor smart contracts.

In Fabric specificeert een applicatie-specifieke endorsement policy welke peer nodes, en hoeveel van deze, moeten instemmen voor een correcte executie van een smart contract. Omdat alleen de peer nodes noodzakelijk voor het instemmen nodig zijn, kunnen transacties parallel uitgevoerd worden. Deze parallelle executie van transacties zorgt voor een toename van de performance.

Privacy en confidentialiteit

Fabric zorgt voor confidentialiteit door een channel architectuur. In channels kunnen deelnemers van het netwerk sub netwerken aanmaken waar alleen leden van het sub netwerk inzicht in hebben. Hierdoor wordt de privacy en de confidentialiteit van data op het blockchain platform gewaarborgd. (Hyperledger, 2020)

4.2.2.1.2 Hyperledger Sawtooth

Hyperledger Sawtooth is een enterprise blockchain platform voor het bouwen van gedistribueerde ledger applicaties en netwerken. De filosofie van Sawtooth is ledger gedistribueerd houden en de veiligheid van smart contracts waarborgen. Sawtooth is bijgedragen door Intel.

Sawtooth kan daarnaast zowel permissioned als permissionless geïmplementeerd worden. Welke implementatie het meest geschikt is voor de ontwikkelaar hangt af van de business requirements voor een use case.

De architectuur van Sawtooth vereenvoudigt blockchain applicatie development. De core system wordt van het application domain gescheiden. Hierdoor kunnen aanpassingen aan de applicatie de core system van Sawtooth aantasten en daarmee het systeem plat leggen. Net als bij Hyperledger Fabric, kunnen smart contracts in Sawtooth geschreven worden in standaard programmeertalen.

Een tweede gelijkenis met Fabric is de hoge modulariteit. Het core ontwerp van Sawtooth maakt het mogelijk voor ontwikkelaars om transaction rules, permissioning en consensus protocollen te kiezen die het best bij de business requirements passen.

Privé netwerken en confidentialiteit

Clusters van Sawtooth nodes kunnen gemakkelijk uitgerold worden met aparte permissioning. Hierdoor bestaat de mogelijkheid om privé netwerken aan te maken. Wanneer een deelnemer niet over de juiste permissioning bezit, kan deze deelnemer geen data inzien uit dit netwerk. Daarnaast is er geen gecentraliseerde service waar mogelijk transactiepatronen of andere vertrouwelijke informatie kan lekken.

De instellingen van de permissies van identiteiten op het netwerk worden opgeslagen door de blockchain. Hierdoor hebben alle deelnemers op het netwerk toegang tot de informatie die deze entiteiten nodig hebben.

Parallele transactie executie

Net als bij Fabric worden transacties op Sawtooth parallel uitgevoerd. Hierdoor neemt de performance van het blockchain platform aanzienlijk toe.

Event systeem

Hyperledger biedt de mogelijkheid voor het aanmaken en uitzenden van events. Deelnemers op het Sawtooth netwerk kunnen abonneren op events. Events kunnen acties zijn zoals commitments van een nieuw blok in de blockchain of een switch naar een nieuwe fork.

Sawtooth-Ethereum

Sawtooth-Ethereum (Seth) is een integratieproject tussen Hyperledger Sawtooth en Ethereum. Het project biedt Sawtooth de ondersteuning voor Ethereum Virtual Machine smart contracts. Dit kan een goede keuze zijn voor ontwikkelaars met de vaardigheden voor Ethereum. Wanneer er al bestaande Ethereum smart contracts zijn binnen een bedrijf, kunnen deze geïntegreerd worden in het Sawtooth platform. (Hyperledger Sawtooth, 2018)

Dynamische consensus

Sawtooth heeft net als Fabric de mogelijkheid om meerdere consensus protocollen te gebruiken. Consensus protocollen worden als consensus engines toegevoegd. De engine interacteert met de validator door een consensus API. Hierdoor is het mogelijk om consensus protocollen te veranderen, ook nadat het blockchain netwerk gecreëerd is. (Hyperledger, 2017)

4.2.2.2 Hoe kan Hyperledger toegepast worden?

Momenteel zijn er veel verschillende projecten in verscheidene sectoren waarin Hyperledger een grote rol speelt. In dit onderzoek wordt enkel gekeken naar Hyperledger Fabric en Hyperledger Sawtooth. Deze twee frameworks zijn geschikt voor de supply chain use case.

Hieronder worden een aantal use cases beschreven in de supply chain industrie. Hierin wordt een probleem beschreven en wordt duidelijk welke oplossing Hyperledger kan bieden voor het probleem. Naast de industrie supply chain, wordt Hyperledger ook in andere industrieën toegepast. Voorbeelden hiervan zijn: gezondheidszorg, verzekeringen en overheid. Dit onderzoek zal zich echter focussen op de industrie supply chain, zodat er een concreet antwoord komt op de hoofdvraag van het onderzoek.

LedgerDomain

LedgerDomain is actief in het bevorderen van gebruik van blockchain om de zekerheid van de farmaceutische levering rechtstreeks aan patiënten te stimuleren. Momenteel bestaan er een aantal grote problemen in de farmaceutische supply chain. Het komt voor dat een patiënt het verkeerde medicijn krijgt, een over datum medicijn of een medicijn van iemand anders. De farmaceutische supply chain is een verzameling van traditionele databases en ouderwets papierwerk. Hierdoor zijn fouten in de keten heel moeilijk te identificeren.

De visie van LedgerDomain is een interoperabel systeem creëren waarin medicijnen worden getraceerd, producten geverifieerd kunnen worden en verdachte medicatie gedetecteerd kan worden.

Om deze visie te behalen, heeft LedgerDomain voor Hyperledger Fabric gekozen vanwege het feit dat het project open source is en een grote community en enterprise support heeft. Hyperledger Fabric is gebouwd met beheer en privacy als kern. Dit is belangrijk vanwege de gevoelige informatie in deze industrie, namelijk patiëntgegevens. Omdat informatie in de blockchain immutable is, bestaat er maar één waarheid van de gegevens. Hierdoor kunnen producten geverifieerd worden. Daarnaast kunnen medicijnen met een barcode op de verpakking getraceerd worden met behulp van een app. Dit is naast de productgegevens ook data uit de blockchain. (Hyperledger, 2020)

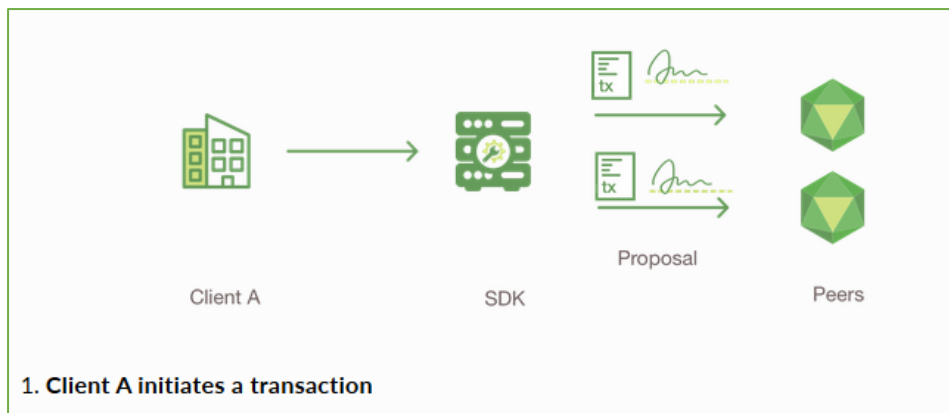
ScanTrust

De onderneming Cambio Coffee is een koffie bedrijf die graag meer inzicht en transparantie wil creëren in de volledige keten van producent naar consument. Een aantal jaar geleden is hiervoor het bedrijf ScanTrust ingezet. ScanTrust heeft de verpakking van de koffieproducten voorzien van een QR-code. Cambio Coffee en ScanTrust wilden dit doormiddel van een blockchain oplossing naar een hoger niveau brengen.

Er is gekozen voor Hyperledger Sawtooth vanwege de focus op IOT implementations en open source community. Het doel van de CEO van Cambio Coffee is de klant verbinden met het verhaal van de oorsprong van het product. Met de blockchain oplossing moet er meer inzicht en transparantie gecreëerd worden in de volledige keten. De QR-code op de verpakking bevat data uit de blockchain. Hierdoor kunnen de gegevens van producten gebruik maken van de voordelen van blockchain, zoals immutable en decentralisatie. (Hyperledger, 2019)

4.2.2.3 Hoe kan sensordata naar de blockchain geschreven worden?

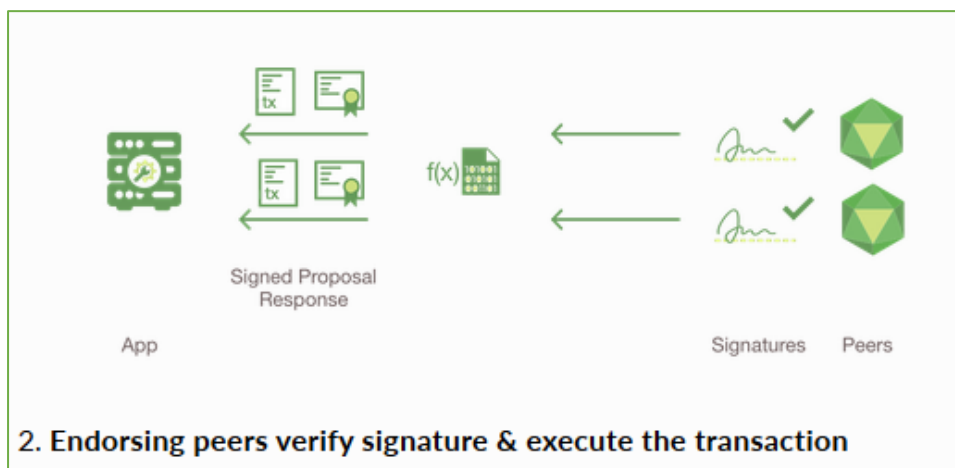
De transactiestroom van Hyperledger werkt anders dan een standaard public blockchain technologie. De transactiestroom kan het best worden beschreven aan de hand van een aantal stappen verwerkt in een voorbeeld.



Figuur 4 Client initiates transaction

Client A stuurt een transactie request naar de peers op het netwerk betrokken bij de transactie. De peers worden vastgesteld in de endorsement policy. De peers zijn verantwoordelijk voor het bevestigen van de transactie.

De SDK is verantwoordelijk voor het voorstellen van een transactie. Zo'n transaction proposal wordt gegenereerd door een beschikbare API. Een transaction proposal is een voorstel om een transactie naar de blockchain door te voeren. In de transaction proposal staat de chaincode waarin de business logica geschreven staat. In het geval van de sensor data kan dit zijn dat er gegevens over een product naar de blockchain geschreven moeten worden op het moment dat een koelcel een tijd heeft open gestaan. Daarnaast gebruikt de SDK de cryptografische credentials van een gebruiker waarmee een unieke digitale handtekening wordt gegenereerd voor de transaction proposal.

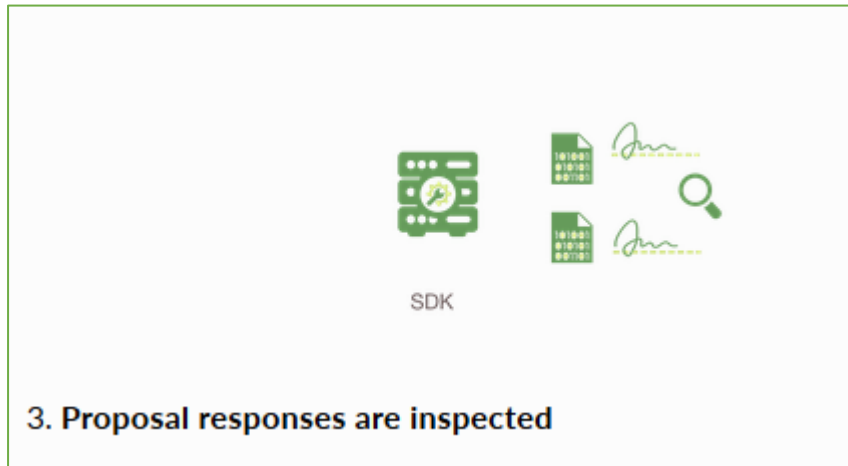


Figuur 5 Endorsing peers, verify signature & execute transaction

De bevestigende peers verifiëren dat de transactie proposal goed is opgesteld, dat het geen proposal is die al ingediend is in het verleden (replay-attack protection), de digitale handtekening valide is en dat de client geautoriseerd is om een transactie te doen op een bepaalde channel.

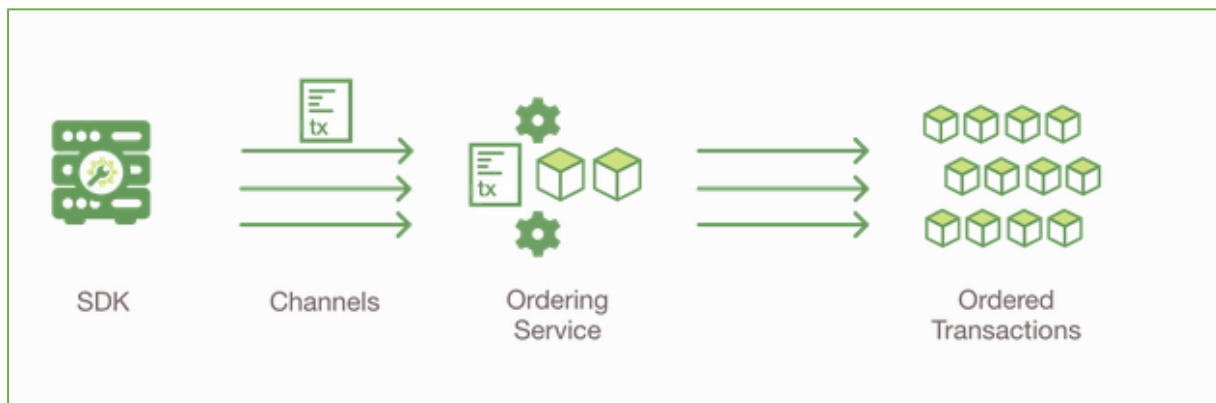
De peers gebruiken de inputs in de transaction proposal als arguments in de ingeroepen chaincode function. In het geval van de cold chain, zouden dit temperatuur en locatiegegevens kunnen zijn. De

chaincode wordt vervolgens uitgevoerd tegen de current state database om transactieresultaten te genereren. De transactieresultaten bevatten een respons value, read set en een write set. Er worden in deze fase nog geen updates aan de ledger uitgevoerd. De set met de waarden, gezamenlijk met de digitale handtekening van de peers wordt als 'proposal response' teruggestuurd naar de SDK. De SDK koppelt deze waarden terug naar de applicatie.



Figuur 6 Proposal responses inspected

De applicatie verifieert de digitale handtekening van de peers en vergelijkt deze met de proposal responses om vast te stellen of de proposal responses hetzelfde zijn.



Figuur 7 Ordered transactions

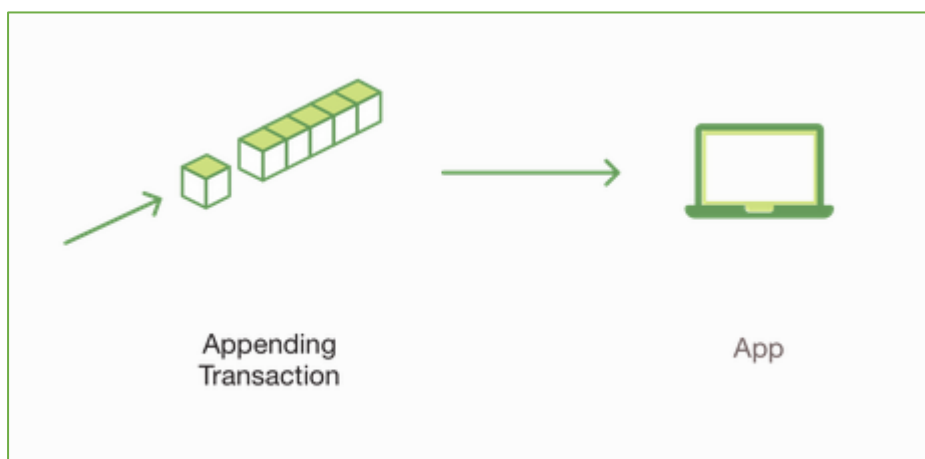
Wanneer de chain code alleen een query response van de ledger nodig heeft, wordt de transactie niet ingediend bij de ordering service. Wanneer chain code een update aan de ledger moet maken, wordt de ordering service wel gebruikt en controleert de applicatie of aan de endorsement policy is voldaan (alle peers hebben de transaction proposal bevestigd).



Figuur 8 Client assembles endorsements into transaction

4. Client assembles endorsements into a transaction

De ordering service bevat de read/write sets, de endorsing peers en de channel ID. De ordering service ontvangt alle transacties van alle channels in het netwerk en rangschikt deze op channels. Vervolgens wordt er een blocks per channel gegenereerd.



Figuur 9 Transaction validation and commit

5. Transaction is validated and committed

De blocks worden geleverd aan alle peers op de channel. De transacties op de blocks worden gevalideerd om te bevestigen dat er aan de endorsement

policy is voldaan.

6. Ledger updated

Elke peer append de block aan de chain van de channel en voor elke valide transactie worden de write sets toegewijd aan de current state database. Door elke peer wordt een event gestuurd om de applicatie een notificatie te sturen dat een transactie is toegevoegd aan de chain. (Hyperledger Fabric, 2020)

4.2.3 IOTA

4.2.3.1 *Wat is IOTA?*

IOTA (Internet Of Things Accosiation) is een cryptocurrency gebaseerd op een nieuwe datastructuur genaamd “Tangle”, deze datastructuur heeft geen blocks, chains of miners nodig. Een van de belangrijkste toepassingen van IOTA-technologie, volgens developers, is de Internet of Things (IoT). (Crypto Info, 2019)

Het algemene idee van het project IOTA was om een betaalmethode te maken die relatief makkelijk is voor de implementatie van het toekomstige concept van IoT.

De makers van IOTA hebben IOTA benoemd als een “public persmission-less backbone” voor de IoT dat meerdere devices toelaat om met elkaar te verbinden. (Frankenfield, IOTA Definition, 2018)

4.2.3.2 *Hoe kan IOTA toegepast worden?*

IOTA kan op meerdere manieren worden toegepast. Een voorbeeld hiervan is een koelkast. Door IOTA zou je op je smartphone een knop kunnen indrukken. Op het moment dat deze knop wordt ingedrukt, dan begint je koelkast te ontdooien. Ook kan er bijvoorbeeld een fitnessarmbandje zo worden geprogrammeerd dat fysieke indicatoren van je lichaam, tijdens een training, worden gemeten en stuurt deze rapportages naar je telefoon.

Samen met deze “smart” technologieën kan er een beveiligd communicatiekanaal gemaakt worden met IOTA, waardoor deze ook betaald kunnen worden in deze zelfde kanaal door de extreme beveiliging. Dit idee is eerst definitief gemaakt door Sonstebo, de uitvinder van IOTA. (IOTA Foundation, 2020) Volgens de ontwikkelaars kunnen gebruikers met behulp van een platform hun technologische middelen verkopen of verhuren aan andere mensen, apparatuur of zelfs ruimte op de harde schijf.

De visies van IoT gaan ver en komen bijna in alle industriële omgevingen terug. Daardoor is er veel ruimte voor toepassingsgebieden voor een automatische valuta, ook al is deze op het moment surrealistisch. De IOTA Foundation heeft ervoor gezorgd dat zij met hun eigen valuta (IOTA) een deel van de markt kunnen krijgen, echter zijn deze fases nog erg in ontwikkeling. Of er nou veel kritische of enthousiasten zijn van IOTA, het is al wel duidelijk dat er sommige bedrijven zijn die erg veel interesse hebben in IOTA. Denk aan: Blocklab, Bosch, Dell en nog vele andere.

Momenteel is de IOTA Foundation bezig om hun toepassingen uit te breiden. Er zijn verschillende punten waar ze zich op het moment op focussen. Deze zijn, maar niet gelimiteerd tot:

- **Auto's en mobiliteit**
- **E-gezondheid**
- **Smart cities**
- **Smart home**
- **Supply Chain Management**
- **Smart contracts**

Deze toepassingen worden hieronder kort besproken over wat de bedoelingen zijn van IOTA Foundation met deze toekomstige plannen.

4.2.3.2.1 Auto's en mobiliteit

De auto/mobiliteit branche staat op het punt van verandering. Volgens IOTA Foundation zullen e-cars, e-bikes, scooters en ook drones een grote rol spelen in de toekomst. (IOTA Foundation, 2020) Een toepassingsgebied dat steeds prominenter wordt is het autonoom rijden. Autonome voertuigen kunnen in principe over 10 jaar al een deel uitmaken het verkeer. Ooit heeft Google beloofd dat ook mensen op deze manier zouden kunnen autorijden. (Waymo, sd) De basiswaarde voor autonoom rijden is de veilige en efficiënte uitwisseling van gegevens en betalingen. Deze uitwisselingen vereist een basistechnologie zoals IOTA, die door meerdere partijen decentraal, verifieerbaar en onveranderlijk kan worden ingezet.

Het zogenaamde "platooning" van autonome voertuigen zou mogelijk zijn. Bij platooning vormen autonome voertuigen een kolom om brandstof te besparen door in de slipstream te rijden. Omdat alleen de achterste voertuigen profiteren van de slipstream, moeten de achterste voertuigen de voorste voertuigen rechtstreeks via IOTA betalen. (IOTA Foundation, 2020)

4.2.3.2.2 E-gezondheid

Ook de geneeskunde kan profiteren van het Internet of Things. Online doctoren, virtuele spreekkamers en een steeds groeiend aantal intelligente gezondheidsapps zorgen er allemaal voor dat je niet helemaal naar de dokter hoeft te gaan. Door middel van draagbaren sensoren, kunnen dokters, bijvoorbeeld, bloeddruk monitoren of andere vitale symptomen remote zien, in real time. Google doet bijvoorbeeld onderzoek naar een elektronische contactlens voor diabetici. De contactlens bepaalt elke seconde de huidige bloedsuikerwaarden van de drager en informeert hem over enige schommelingen. De ingebouwde chip en sensor zijn zo klein als een glitterdeeltje, zelfs de antenne is dunner dan mensenhaar. (IOTA Foundation, 2020)

De constante monitoring van bloeddruk, polsslag en/of andere lichaamsfuncties maakt het mogelijk om opkomende ziekten te identificeren voordat ze levensbedreigend worden. De markt voor het monitoren van lichaamsfuncties zal volgens IOTA Foundation de komende jaren drastisch toenemen. (IOTA Foundation, 2020)

Om de betrouwbaarheid en veiligheid waar te borgen moet iedereen de macht behouden over zijn eigen gegevens. Medische gegevens zijn buitengewoon gevoelig en waardevol. Patiëntgegevens kunnen veilig worden opgeslagen via het IOTA-netwerk. De gevoelige gegevens worden niet beheerd door een centrale autoriteit. In conventionele systemen is er altijd een zogenaamde entiteit, in het geval van elektronische patiëntgegevens is dat een ziekenhuis of een arts in de privépraktijk. De feitelijke eigenaren van de data (de patiënten) hebben geen enkele controle over wat er met de data gebeurt. In het gedecentraliseerde IOTA-systeem kunnen alle deelnemers de juistheid van de gegevens controleren, maar mogen ze alleen onder bepaalde omstandigheden nieuwe gegevens schrijven. Onjuiste invoer en onbevoegde toegang zijn niet mogelijk. De patiënt zou een digitaal patiëntendossier ontvangen die zijn volledige medische geschiedenis bevat. Elke vraag voor toegang door een arts vereist de toestemming van de patiënt.

4.2.3.2.3 Smart cities

Smart cities worden beschouwd als een veelbelovende markt. Als je naar de cijfers kijkt, neemt het aantal mensen in steden over de hele wereld gestaag toe. In de afgelopen 60 jaar is het aandeel van de bevolking in stedelijke gebieden wereldwijd gestegen van 30 procent naar meer dan 50 procent. (IOTA Foundation, 2020) Als je kijkt naar de mobiliteit in een stad, dan moeten de verkeerslichten op elkaar zijn afgestemd. De snelheid van deze verkeerslichten zouden moeten aangepast worden op het moment wanneer er file ontstaat of als de weersomstandigheden het niet toelaten om sneller te gaan. Hiervoor zou er een grote hoeveelheid van informatie moeten worden vastgelegd:

Voertuigsnelheid, verkeersdichtheid en de weersomstandigheden. (IOTA Foundation, 2020) Deze weergegevens zouden weer gekocht kunnen worden met IOTA.

Lokale ondernemingen zou dus kunnen worden vervangen met IOTA. Voor de samenleving en IOTA is transparantie en veiligheid de belangrijkste factoren. (IOTA Foundation, 2020)

Volgens IOTA Foundation is de wereldwijde markt voor slimme stadsproblemen enorm. Sensoren kunnen bijvoorbeeld informatie geven over de bezetting van parkeergarages of juist informatie over welke vuilnisbakken geleegd moeten worden. Andere zeer belangrijke toepassingsgebieden in de “Smart City” zijn onder meer: Onderwijs, gezondheid, openbaar bestuur, energie en milieu, gebouwen en energie-efficiëntie.

- Onderwijs: educatieve platforms, digitale leerformaten
- Gezondheid: geneeskunde, gezondheidsinformatiesystemen, hulpsystemen voor senioren
- Openbaar bestuur: digitaal openbaar bestuur, e-diensten voor burgers/inwonende
- Gebouwen: Smart Facility Management, Intelligent House Technology, Smart Planning en Construction Management
- Mobiliteit: intelligente verkeersmanagementsystemen, slimme diensten voor openbaar vervoer, slimme logistiek
- Energie en milieu: slimme energiesystemen, slim waterbeheer, slim afvalbeheer

(IOTA Foundation, 2020)

4.2.3.2.4 Smart home

“In 2025 zullen smarthome-functies deel uitmaken van de basisuitrusting, vooral in nieuwbouw” (IOTA Foundation, 2020). Een mooi voorbeeld is de intelligente koelkast die een einde maakt aan het schrijven van boodschappenlijstjes. Camera's binnenin controleren op elk moment de inhoud van de koelkast en scannen ook de vervaldatum van het voedsel. De informatie is overal toegankelijk via een smart home-app. In de toekomst zou de koelkast zelfstandig voedsel kunnen nabestellen en rechtstreeks via IOTA kunnen betalen. Een ander voorbeeld is de volautomatische koffiemachine, die via internet voorraden bestelt zodra de voorraad koffiebonen opraakt.

Ook zijn er veel onderdelen van een “normale” home die aangepast zouden kunnen worden om het smart te maken. Denk aan:

Licht: In een smart home gaat het licht automatisch aan als je door de deur loopt. Een afstandsbediening kan vervolgens worden gebruikt om verdere aanpassingen aan de lichtomstandigheden te maken. Er zouden zelfs veranderingen in het licht ingesteld kunnen worden ter bescherming tegen inbrekers.

Energie besparen: Energie besparen is relatief makkelijk in een smart home. Ventilatie en verwarming kunnen individueel worden geprogrammeerd en op elkaar worden afgestemd. Rolluiken en jaloezieën kunnen reageren afhankelijk van het weer of de tijd. Bovendien kan het volledige stroomverbruik van de woning worden geoptimaliseerd en gelogd.

Ramen: Regensensoren kunnen een weersverandering detecteren en automatisch de dakramen sluiten als het regent. U hoeft zich dus bij het ventileren geen zorgen te maken dat de dakconstructie later mogelijk onder water komt te staan.

Muziek: Wil je door het hele huis naar muziek kunnen luisteren zonder je zorgen te maken over kabels? Dit kan ook door de smart home technologie. De apparaten van het multiroom audio-overzicht coördineren via radio of de voeding. Gloeilampen met ingebouwde luidsprekers zijn niet veelvoorkomend: ze halen stroom via de lampfitting en communiceren via WLAN met de multimediaserver.

Rookmelder: Bij brand worden bewoners met een waarschuwingssignaal op de brand gewezen, ook wordt automatisch een noodoproep gedaan en worden ramen gesloten.

(IOTA Foundation, 2020)

4.2.3.2.5 Supply Chain Management

Het doel van Supply Chain Management (SCM) is om de logistieke goederenstroom van leveranciers naar klanten d.m.v. bedrijven heen te beheersen. Alle dienstverleners in de logistieke supply chain zijn inbegrepen. De supply chain kan profiteren van gedistribueerde grootboektechnologie. Sommige zaken die een paar jaar geleden nog bijna ondenkbaar waren (door gebrek aan vertrouwen van bedrijfsoverstijgende partijen), zijn nu haalbaar. (IOTA Foundation, 2020)

De Food Chain stelt speciale eisen aan logistiek en supply chain management. Om de eindklant te voorzien van kwalitatief voedsel is een goed kwaliteitsborgingssysteem nodig.

Temperatuurgevoelige voedingsmiddelen stellen bijvoorbeeld hoge eisen aan klimatologische omstandigheden. Labels met ingebouwde chips kunnen gegevens (opslagtemperatuur, herkomst en dergelijke) opslaan. Dit is transparant en onveranderlijk via het IOTA-netwerk. Op deze manier kan er achteraf voor worden gezorgd dat bijvoorbeeld de cold chain niet is onderbroken. Een essentieel onderdeel van het monitoren van deze gegevens is het compenseren van goederen die kapot zijn gegaan tijdens de rit van bedrijf A naar bedrijf D.

4.2.3.2.6 Smart contracts

Smart contracts zijn één van de belangrijkste opkomende blockchain technieken. (IOTA Foundation, 2020) Echter zit IOTA nog steeds in een test fase bij de Foundation. (IOTA Foundation, 2020) Door weinig support en weinig documentatie van de smart contracts kan er hierover weinig verteld worden. In oktober is er door IOTA Foundation de eerste Pre-Alpha uitgebracht van de "IOTA Smart Contracts". Hierdoor is het onmogelijk om een volledig project te ondersteunen met iets dat nog niet af is.

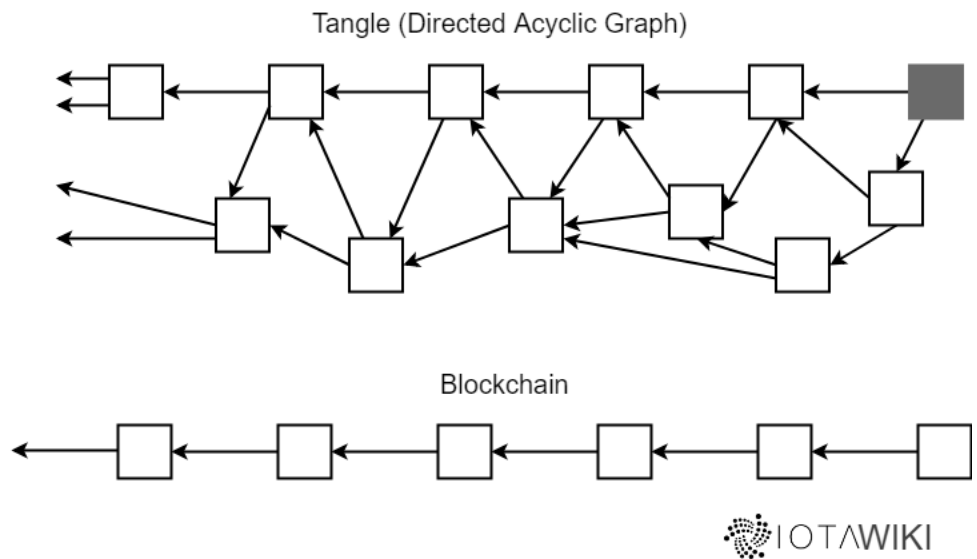
4.2.3.3 Hoe kan sensordata naar de Tangle geschreven worden?

Zoals eerder vermeld is IOTA is niet gebaseerd op blockchain-technologie zoals Bitcoin, Ethereum, Hyperledger, etc., maar op een bijna oneindig schaalbare technologie genaamd Tangle (Duits: Gewirr). Hierdoor zijn er bij IOTA geen transactiekosten, is de snelheid hoger en kunnen contracten worden geïntegreerd. De Tangle is niets meer dan een boekingssysteem dat alle transacties in het netwerk opslaat. De Tangle wordt gezamenlijk beheerd door de deelnemers en decentraal gehost. Het is niet mogelijk transacties te vervalsen. Het cryptografische proces staat vervalsingen niet toe. Via de Tangle Explorer (thetangle.org) kun je op elk moment zien welk IOTA-adres hoeveel IOTA's heeft. Persoonlijke gegevens worden niet opgeslagen in het netwerk.

Maar hoe worden deze transacties geschreven in Tangle?

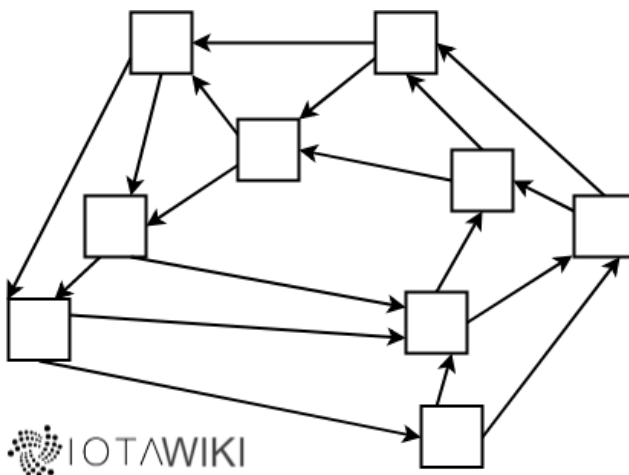
4.2.3.4 DAG

Tangle is gebaseerd op de Directed Acyclic Graph (DAG). "Directed" betekend dat dit systeem maar naar één richting toewijst:



Figuur 10 "Directed" Tangle systeem

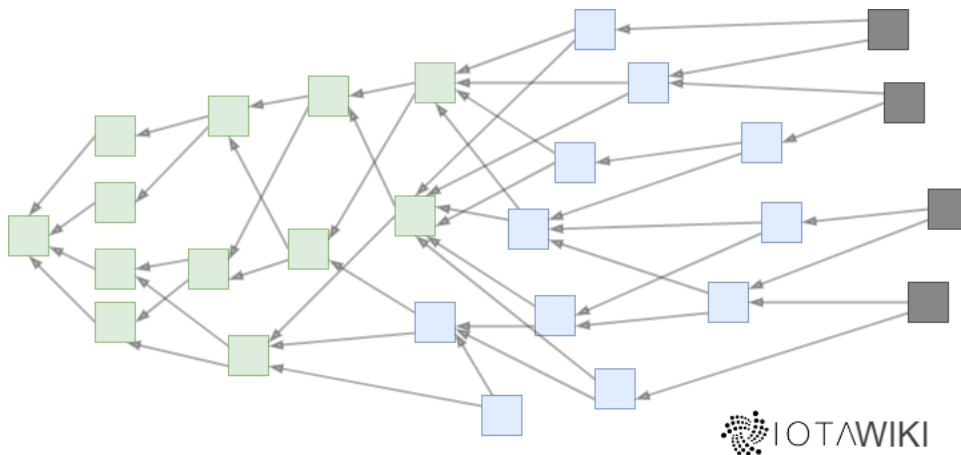
"Acyclisch" betekend dat de grafiek **NIET** cirkelvormig is. Zie hieronder een voorbeeld wat niet zal gebeuren:



Figuur 11 "Acyclisch" tangle systeem

- Elk vierkant van de tangle vertegenwoordigt een verzonden transactie, ook wel een "site" genoemd. Een site bevat informatie over de transactie (ontvanger, afzender, aantal IOTA's).
- Elke site (transactie) valideert 2 eerdere transacties. De verbindingen tussen de afzonderlijke transacties worden "Edges" genoemd. Zie de twee pijlen die van elke transactie naar twee andere transacties wijzen.
- De meest recente transacties (grijs) staan uiterst rechts. De zogenaamde "Tips". Deze zijn nieuw toegevoegd (zie: Transactieproces) en er is nog niet naar verwezen/ bevestigd.

Een voorbeeld voor een "grotere" tangle:

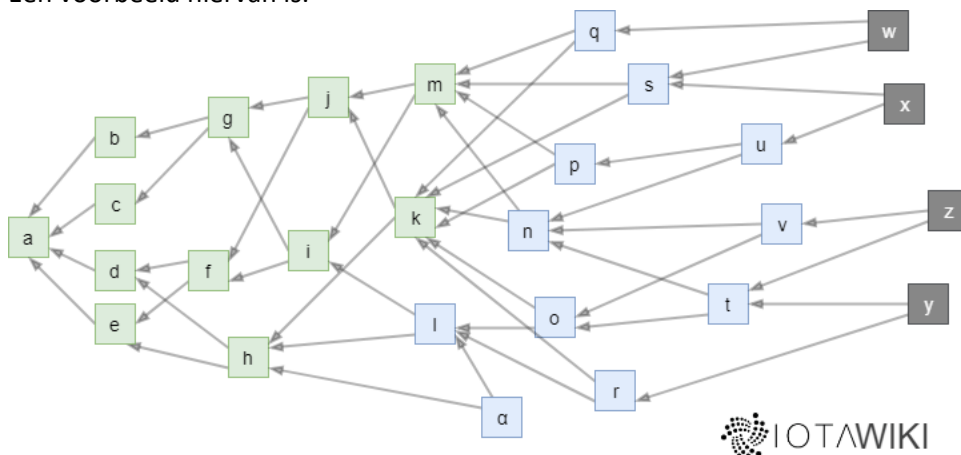


Figuur 12 Voorbeeld van een groot tangle netwerk

Hier, aan het einde van de tangle, zijn er zogenaamde "Tips", de zwarte vierkantjes (onbevestigde transacties zonder inkomende Edges). De blauwe vierkantjes in het midden zijn transacties die meerdere keren zijn gevalideerd. En uiterst links staan transacties die voldoende keer zijn gevalideerd.

Het verschil tussen de groene vierkantjes (meerdere gevalideerde transacties) en de blauwe vierkantjes (voldoende vaak gevalideerde transacties) is dat de groene vierkantjes indirect worden bevestigd door alle Tips. Over deze transacties is overeenstemming bereikt.

Een transactie is dus groen als er vanaf elke Tip een pad naar deze transactie loopt. Een voorbeeld hiervan is:



Figuur 13 Voorbeeld van een groot ingevulde tangle netwerk

Transactie 'm' verwijst naar alle Tips en wordt daarom als bevestigd beschouwd:

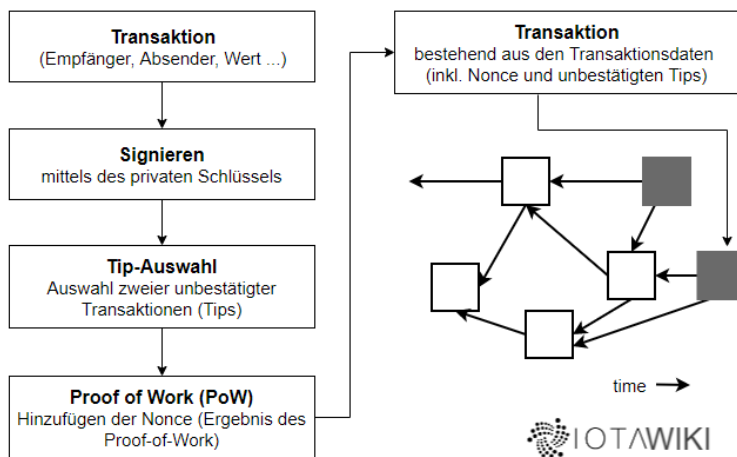
- Transactie "m" naar Tip "w": ja (pad: m > q > w)
 - Transactie "m" naar Tip "x": ja (pad: m > p > u > x)
 - Transactie "m" om "y" te Tippen: ja (pad: m > n > t > y)
 - Transactie "m" naar Tip "z": ja (pad: m > n > v > z)
- (IOTA Foundation, 2020)

Transactie "s" verwijst NIET naar alle Tips en is daarom nog niet volledig bevestigd:

- Transactie "s" naar Tip "w": ja (pad: $s > w$)
- Transactie "s" naar Tip "x": ja (pad: $s > x$)
- Transactie "s" voor Tip "y": nee
- Transactie "s" voor Tip "z": nee

(IOTA Foundation, 2020)

4.2.3.4.1 Transactieproces



Figuur 14 Transactieproces van IOTA

Binnen de tangle kunnen twee soorten transacties worden uitgevoerd:

- Waardetransacties (overdracht van IOTA-tokens)
- Transacties met nulwaarde/ datatransacties (metatransacties, zonder IOTA-tokens)

Het transactieproces bestaat in principe uit vier stappen waarop elke transactie is gebaseerd:

1. Ondertekening: eerst wordt de nieuwe transactie ondertekend met de privésleutel. Dit bevestigt quasi dat u zelf de rechtmatige eigenaar bent van de inputs.
2. Tipselectie: in de tweede stap selecteert een knooppunt twee niet-bevestigde transacties (Tips), waarnaar nu wordt verwezen in de nieuwe transactie.
3. Bewijs van werk: een nonce moet worden berekend als spambescherming. Dit is een uniek nummer dat wordt berekend door het systeem. Hiervoor heeft een moderne computer ongeveer 30 seconden nodig.
4. Publicatie: de voltooide transactie wordt vervolgens naar een knooppunt gestuurd, dat deze vervolgens in het netwerk verdeelt - naar alle burens. Iemand anders zal dan naar deze transactie verwijzen en deze bevestigen.

Deze transacties worden gemeten per seconde, oftewel Transactions Per Second (TPS). Een recente nieuwe versie van IOTA Pollen V.0.2.2 heeft laten zien dat IOTA een snelheid van meer dan 10.000 TPS. (Simmons, New IOTA Pollen V0.2.2 records more than 10,000 transactions per second, 2020)

IOTA-transacties zijn gecodeerd en gebaseerd op driewaardige logica. Een transactie bestaat uit de volgende elementen:

- hash:
- message:
- address:
- value:
- timestamp:
- currentIndex:
- lastIndex:
- bundle:
- trunk:
- branch:
- nonce:

(IOTA Foundation, 2020)

4.2.4 EOSIO

4.2.4.1 *Wat is EOSIO?*

EOSIO is een gratis, open source, software die instaat is om zeer aanpasbare en flexibele blockchains in te zetten waarop gebruikers blockchain applicaties kunnen draaien. Deze software is ontwikkeld en wordt onderhouden door Block One (B1). EOSIO is een blockchain-platform voor de ontwikkeling van gedecentraliseerde applicaties (DApps) met als doel 's werelds krachtigste infrastructuur voor DApps te creëren. (Tanner, 2020)

EOS biedt een reeks besturingssysteem-achtige tools en services voor de EOS.IO-software waarmee gemakkelijk schalen, zowel verticaal als horizontaal, van DApps mogelijk wordt gemaakt. De resulterende technologie is een blockchain-architectuur die uiteindelijk kan worden geschaald naar miljoenen transacties per seconde, gebruikersbijdragen worden geëlimineerd en voor het maken, hosten en uitvoeren van commerciële DApps. Het is een alles-in-een oplossing voor DApp-ontwikkelaars die alles van gebruikersauthenticatie en accounts tot cloudopslag en serverhosting te bieden heeft. (Grunwerg, 2019)

Het kan toegepast worden voor zowel public als private blockchain netwerken. Het kan volgens eos.io aangepast worden naar wat de business nodig heeft. (Advance your business with EOSIO, n.d.) Op een public blockchain en private biedt het beide hoge snelheden. Met private kan het sneller transactions verwerken. Dit is gebleken uit een hackaton in Hongkong. (Four reason why developers and enterprises are looking at EOSIO blockchain protocol, 2019)

Hoewel EOS in veel opzichten te vergelijken valt met Ethereum, zijn er zeker zichtbare verschillen die EOS onderscheid van andere blockchains. Veel blockchains gebruiken hun eigen programmeertaal, hier richt EOS zich meer op de gebruikersvriendelijkheid door programmeurs de mogelijkheid te geven om smart contracts te kunnen maken met een groot aantal veelgebruikte programmeertalen. Verder worden software updates bepaald door te stemmen met EOS. EOS is een aangeboren cryptocurrency in EOS.IO en is nodig om de eigen blockchain te financieren. EOS.IO is het best bekend voor het hebben van de grootste initiële muntaanbod ooit, door het verzamelen van 4 miljard dollar bij het verkopen van 1 miljard EOS in tijdsbestek van een jaar. (Grunwerg, 2019)

De EOS.IO software is gemaakt om de performance van een computer te emuleren, daarom is het zo ontworpen dat de software zelf gebruik maakt van bekende computerconcepten tijdens de operaties. Hieronder staan enkele voorbeelden van resources die de EOS.IO-blockchain verwerkt:

- *Bandwidth (DISK)* – nodig voor informatie-uitwisseling binnen het netwerk.
- *Computation (CPU)* – verwerkingscapaciteit die wordt gebruikt om DApps uit te voeren.
- *State Storage (RAM)* – het opslaan van data op de eigen blockchain.

De cryptovaluta EOS is dus nodig voor het financieren van de bovengenoemde resources. Dit houdt in dat developers betalen met EOS om DApps uit te voeren op de blockchain. Voor DApps die gebouwd zijn op EOS.IO zijn gebruikers niet vereist om te betalen voor transacties, waardoor EOS gratis kan worden overgedragen door DApp-gebruikers. De transactionfees verdwijnen hiermee dus niet, alleen worden deze fees verhaald op de developers van applicatie. (Kraken, n.d.)

Delegated Proof-of-Stake (DPoS)

Om EOS.IO veilig te houden, wordt er gebruik gemaakt van een systeem genaamd 'Delegated Proof-of-Stake' of te wel DPoS. Dit systeem gebruikt een real-time stem en reputatie systeem om te bepalen wie het volgende blok in de blockchain mag maken. Dit houdt in dat wie in bezit is van EOS valuta kan helpen met het opereren van het netwerk. Hoe meer tokens (EOS), hoe groter de kans is dat diegene wordt uitgekozen door de software. Iedere EOS token kan worden ingezet om je stem te representeren. (Kraken, n.d.)

Governance

Als het aan komt op bestuur en regels neemt EOS.IO een actievere benadering aan, zo kunnen gebruikers stemmen en besluiten doorvoeren om de softwareregels aan te passen. Het bezitten van EOS geeft gebruikers de mogelijkheid om te stemmen op besluiten. Besluiten die zijn goedgekeurd zullen worden uitgevoerd door de blockproducers. Blockproducers zijn verantwoordelijk voor het uitvoeren van alle goedgekeurde besluiten of veranderingen. Beide partijen, zowel de gebruikers als de blockproducers, kunnen stemmen om de regelgeving, de "grondwet", van EOS te wijzigen.

Door de macht die EOS blockproducenten hebben over gewone gebruikers, kunnen blockproducers bijvoorbeeld accounts bevriezen. Hiervoor zijn namelijk maar 15 van de 21 EOS blockproducers stemmen nodig om een account te bevriezen. Hierdoor is ook kritiek ontstaan over de werking en het ontwerp van EOS.IO blockchain. De blockchain zou hierdoor slachtoffer kunnen worden van gecentraliseerde controle en misbruik. (Kraken, n.d.)

EOS Tribe is blockproducent en is mede door de hierboven genoemde reden opgestapt om te focussen op andere blockchains met andere implementaties van de EOSIO-software. De co-founder Eugene Lungzin van EOS bevestigde dit met een post op Steemit:

"We at EOS Tribe have never participated in the game of vote trading and stayed to our principles, and hence while we leave EOS as Block Producer, we are also free to speak truth and give warnings to the rest". - Eugene Luzgin (Luzgin, 2019)

De reden waarom Luzgin stopt met de samenwerking is dat het niet langer mogelijk is om fondsen te verdienen voor het onderhouden van de blockchain zonder grote token holders. Deze tokenholders ondersteunen vooral de grote block producenten uit China. Deze block producenten kunnen telkens de 21 block producenten zijn die alles veranderen in de chain, waardoor aanpassingen of besluiten m.b.t. governance alleen via deze block producenten gaan. Dit kan gezien worden als gecentraliseerde controle en misbruik met censuur volgens een onderzoek van CoinDesk. (Dale, 2019)

4.2.4.2 Hoe kan EOSIO toegepast worden

Voor EOSIO zijn er weinig voorbeelden van echte toepassingen. Wat wel veel terug te vinden is waar bepaalde features voor gebruikt kunnen worden met EOS blockchain.

Schaalbaarheid

Het is een van de grootste problemen waar blockchain netwerken tegenaan lopen. Met schaalbaarheid blijft het voor Blockchain het grootste probleem. In 2017 toen Bitcoin populair werd, kon het netwerk de extra belasting niet aan. Transacties waren traag, doordat de schaalbaarheid een probleem was. Elke node op het netwerk moet komen tot een overeenstemming voordat de transactie wordt doorgevoerd. Met de DPOS (Delegated-proof-of-Stake) overeenkomst mechanisme kan EOS blockchain miljoenen transacties per seconde verwerken.

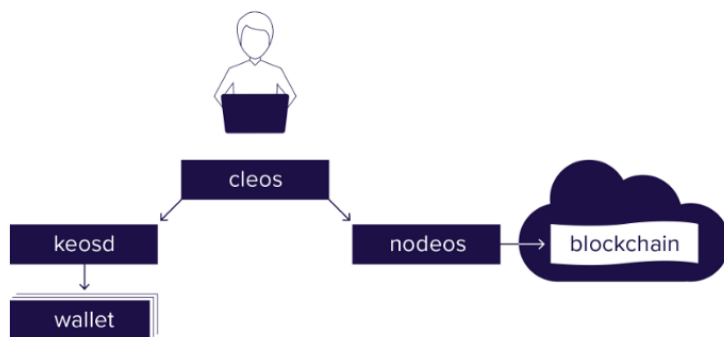
Seamless DApp Performance

Decentralised applications zijn erg bruikbaar op de blockchain, maar het heeft wel invloed op het vertragen van transactie snelheden. Omdat EOS miljoenen transacties per seconde kan verwerken, is het ideaal om op een EOS netwerk DApps te draaien. Hier zijn velen use cases van EOS DApps inclusief games, gokken en social media platforms zoals Voice (Voice Home, n.d.).

EOS is flexibel

Het EOS kan gebruikt worden voor flexibele blockchain netwerken. EOS is gebouwd op een manier dat het beschermd is tegen een DAO-attack. Als een aanval alsnog plaatsvindt op het netwerk, dan wordt de getroffen node op het netwerk gestopt terwijl andere nodes blijven functioneren. De gestopte node wordt pas geactiveerd wanneer het probleem behandeld is.

4.2.4.3 Hoe kan sensordata naar de blockchain geschreven worden?



EOSIO Architecture

Figuur 15 EOSIO Architecture (Sharma, 2019)

EOSIO heeft in de architectuur een omgeving waar alle afhankelijkheden en een wallet met een account op de blockchain. De componenten die in de afbeelding staan worden los beschreven wat het is en welke functie het heeft.

Cleos

Cleos is de command line interface om interactie te maken met het gehele netwerk en configuraties van interacties binnen het netwerk via Nodeos. De block producenten in het netwerk hosten, leveren en onderhouden het meest de resources die geconsumeerd worden door clients wat direct toegang biedt tot informatie over de transacties (Cole, 2018).

Keosd

Keosd is een keymanager service daemon voor het opslaan van keys en het ondertekenen van digitale berichten. Het biedt een veilige key opslagmedium voor keys om ze te versleutelen in de geassocieerde wallet file (Keosd, 2020).

Nodeos

Nodeos is de core component van de node die geconfigureerd als een daemon voor smart contracts verwerken, transacties valideren, blocks produceren en blocks bevestigen om ze op te slaan in de blockchain (Nodeos, 2020).

Nodeos kan in verschillende read modes uitgevoerd worden. Deze modes beheren hoe een node opereert en how het blocks en transactions verwerkt. De volgende modes kunnen toegepast worden:

Speculative: Met speculative kunnen Cleos clients en RCP API de database fase van de huidige head block bekijken. Ook is het mogelijk om transactions uit te voeren die een proof of stake hebben als transaction. De uitvoering van een transaction kan naar elk geldig block toegewezen worden in een fork.

Head: Clients zoals Cleos en RCP API zien de huidige status van de database als het huidige hoofdblok van de blockchain. Sinds het huidige hoofdblok nog niet onomkeerbaar is en short-lived forks mogelijk zijn, status lezen in deze mode kan inaccuraat zijn als Nodeos veranderd naar een betere fork.

Read-only: Clients zoals Cleos en de RPC API zien de huidige status van de database als het huidige hoofdblok van de blockchain. Hierin kunnen veranderingen die bekend zijn op de huidige node, maar nog niet bekend in de complete chain, niet ingezien worden. Denk hierbij aan nog niet goedgekeurde transacties. **De read-only mode is momenteel verouderd, dezelfde functionaliteit kan bereikt worden in headmode door deze op een bepaalde manier te configureren. Dit staat beschreven in de documentatie van EOS. (Nodeos Implementation, 2020)

Irreversible: Als Nodeos is geconfigureerd om in 'irreversible read mode' te werken, dan zullen de meest up-to-date blocks in de 'fork' database nog steeds gevolgd worden. Echter zal de staat van het block achterlopen op

Clients zoals Cleos en RPC API zien de status van de database gewoon als het meest recente hoofdblok. Hierin kunnen veranderingen die bekend zijn op de huidige node, maar nog niet bekend in de complete chain, niet ingezien worden. Denk hierbij aan nog niet goedgekeurde transacties.

Wallet

Wallets zijn standaard op slot en moeten geopend worden met speciaal commando met Cleos. Daarin wordt de key geïmporteerd in de wallet. Wallets representeren als containers voor public-private key pairs die gebruikt worden om operaties in EOS te autoriseren (Cole, 2018).

EOSIO slaat de blockchain informatie op in verschillende datastructuren op verschillende fases van transactie life-cycle. Elke Nodeos instantie maakt interne bestanden om de blockchain status te onderhouden. De bestanden zijn opgeslagen in het installationpath: `~/eosio/nodeos/data`. De volgende bestanden bevindt zich in deze map:

Blocks.log is een toevoeging alleen een log van blocks geschreven naar een schijf en bevat alle onomkeerbare block. Deze blocks bevatten definitief bevestigde transactions.

Reversible_blocks is een geheugen in kaart gebracht bestand en bevat blocks die geschreven zijn naar de blockchain maar nog niet onomkeerbaar zijn. Deze blocks bevatten geldig gepushte transactions die wachten op bevestiging via de besluiting protocol. De head block is de laatste geschreven block naar de blockchain en is ook terug te vinden in dit bestand.

Chain state/chain database is huidig opgeslagen en gecached in een in memory in kaart gebracht bestand. Het bestand bevat de blockchain staat die met elke block geassocieerd is inclusief account details, uitgestelde transactions en opgeslagen die multi index tabellen gebruiken in smart contracts.

Pending block is een geheugen block wat transacties bevat die verwerkt en gepusht zijn de block. Als de Nodeos instance de producerende node is, dan wordt het wachtende block gedistribueerd naar andere Nodeos instanties.

Buiten de chain state, wordt block data gecached in het RAM-werkgeheugen totdat een block definitief onveranderbaar wordt. Onveranderbare blocks zijn dan terug te vinden in blocks log.

4.2.5 Conclusie

4.2.5.1 Ethereum

Ethereum is opensource blockchain-base, decentralized software platform wat gebruikt wordt voor eigen cryptocurrency. Het wordt vooral gebruikt om smart contracts, distributed applications, Decentralized Autonomous en cryptocurrencies te bouwen te bouwen. Ethereum biedt voordelen als: onveranderbaar, corruptie en fraudebestendig, veiligheid en zero downtime. Uiteraard heeft ook nadeel dat het geschreven code blijft waar foute in kunnen zitten waardoor er misbruik gemaakt kan worden. Code moet dan herschreven worden en daardoor gaat het tegen de essentie van onveranderbaar in.

Een reden om Ethereum te gebruiken is dat het veel vrijheden biedt voor developers met het maken van smart contracts en producten. Er zijn geen limieten met het schrijven van code, waardoor een alles toegevoegd kan worden wat een product of smartcontract nodig heeft.

Wat wel een belangrijke afweging is om te bepalen of het moet werken als een public chain of meer private, permissioned chain. Van origine is het een public chain en kunnen er ook andere blockchains zijn die meer gefocust zijn op private chain.

4.2.5.2 Hyperledger

Hyperledger is een open-source community gestart in 2015. Hyperledger is ontwikkeld met een primaire focus op bedrijven. Het wordt niet gezien als een one-size-fits-all technologie, en daarom is het belangrijk dat bedrijven met elkaar samenwerken om een op maat gemaakt blockchain platform te creëren. Vanwege de primaire focus op bedrijven, zijn Hyperledger blockchain platformen private.

Hyperledger Fabric is private en permissioned, wat wil zeggen dat er een bepaalde trust bestaat tussen de deelnemers op het netwerk. Hyperledger Fabric heeft een andere aanpak dan een standaard blockchain platform als het gaat om smart contracts. Door gebruik van een andere architectuur, kunnen smart contracts in standaard programmeertalen zoals Java en Python geschreven worden.

Ten tweede zorgt een endorsement policy ervoor dat niet alle peers op het netwerk betrokken hoeven te zijn bij het instemmen voor het uitvoeren van een transactie. Hierdoor kunnen transacties parallel worden uitgevoerd wat voor toenemende prestaties zorgt.

Hoewel op papier gesteld wordt dat elk project veel support heeft binnen de community, is dat niet altijd het geval. Hyperledger Sawtooth bijvoorbeeld is een framework waar de documentatie flink verouderd is. De laatste update aan de documentatie heeft in 2017 plaatsgevonden. Ook is support lastig te vinden op het internet. Fabric heeft daarentegen wel een zeer recent bijgewerkte documentatie. Ook is support op het internet goed te vinden.

Kortom biedt Hyperledger Fabric ten opzichte van Sawtooth een betere ondersteuning voor deze use case. Het is wel belangrijk om in acht te nemen dat Hyperledger Fabric een private en permissioned blockchain is. In tegenstelling met een public blockchain, moet bij een private blockchain de infrastructuur geheel geconfigureerd worden. Het is daarnaast belangrijk dat het project een actieve community heeft, zodat ontwikkeling van het platform soepel verloopt.

4.2.5.3 IOTA

Hoewel IOTA op papier een perfect systeem lijkt te zijn. Blijkt IOTA dat in realiteit niet. Op het moment heeft IOTA nog te weinig ondersteuning vanuit de maatschappij en vanuit documentatie, echter zijn er wel steeds meer bedrijven die wel laten zien dat ze erachter staan.

Een voorbeeld van de niet volledige ondersteuning is smart contracts. Smart contracts zijn voor het project erg belangrijk om te implementeren. Sinds dat IOTA dit niet tot bijna niet ondersteund op het moment is IOTA al gelijk een afvaller.

Niet alleen met smart contracts, maar ook voor de supply chain valt IOTA af. Wat IOTA wil, kan en is mogelijk, maar helaas hebben zij dat nog niet gerealiseerd. Dit zijn allemaal nog toekomstplannen.

Om samen te vatten: IOTA is een perfecte keuze op het moment dat IOTA Foundation alle punten die ze willen implementeren, hebben geïmplementeerd.

4.2.5.4 EOSIO

Met EOSIO kan flexibel een blockchain netwerk ingezet worden waarop blockchain applicaties kunnen draaien zoals smart contracts. Met gedecentraliseerd applicaties (DApps) kan de blockchain geschaald worden naar miljoenen transactions. Het kan draaien als zowel een public chain en private chain.

Programmeurs kunnen bekende programmeertalen toepassen en de acties uitvoeren via de consensus delegated proof of stake (DPOS). Met dit consensus zijn er 21 block producenten in de blockchain die kunnen bepalen wat er gewijzigd wordt dit verhoogt de snelheid met het verwerken van transaction, waardoor niet elke node de transaction moet meennemen in een consensus. De gebruiker hoeft niet te betalen voor transactions de kosten komen bij de developer terecht. Dit zou een afweging zijn om te kiezen voor EOSIO.

Een reden om niet te kiezen voor EOSIO is dat het (DPOS) bekritiseerd wordt dat het mogelijk slachtoffer kan zijn van gecentraliseerde controle en misbruik.

5 Conclusie

Ethereum, een public blockchain techniek, maakt gebruik van z'n eigen cryptocurrency voor transacties. Smart contracts en distributed applications zijn hierbij de belangrijkste functies voor het creëren van inzicht. Aangezien Ethereum een veel gebruikte techniek is, is zowel de documentatie als support recent en beschikbaar.

Hyperledger Fabric is een private blockchain techniek. Met een private chain is er meer controle over wie deelneemt en zijn er ook geen transactiekosten. Hiernaast kan Fabric in tegenstelling met traditionele smart contracts laten schrijven in standaard programmeertalen zoals Java en Python. Ook heeft Fabric, ten opzichte van Sawtooth, veel support en uitgebreide documentatie wat zal helpen bij het opzetten van een omgeving.

IOTA is op het moment nog in een vroeg stadium. De functionaliteit voor smart contracts is pas recent uitgebracht in een early alpha stage. Dit betekent dat support nog zeer gelimiteerd is en er ook nog weinig documentatie beschikbaar is. Echter, op papier zit IOTA eruit als de perfecte oplossing. Er kan dus in de toekomst gekeken worden naar de ontwikkeling van deze techniek en er dan mogelijk verdere stappen mee te zetten.

EOSIO heeft zowel de mogelijkheid om een private of public chain te draaien. Er wordt gebruik gemaakt van een DPOS, een consensus methode met maar maximaal 21 block producenten. Deze methode kan het makkelijker maken dan bij andere blockchain technieken om een meerderheid te krijgen waardoor er misbruik van het netwerk gemaakt kan worden. Ook betaald de gebruiker geen transactiekosten, deze kosten worden neergelegd bij de ontwikkelaar van de gebruikte applicaties.

Om de onderzoeksvraag, **Hoe kan blockchain zorgen voor een verbetering in inzicht en integriteit binnen de cold chain?** te beantwoorden; blockchain kan helpen bij het creëren van meer inzicht en integriteit. Met behulp van smart contracts kunnen bijvoorbeeld transacties automatisch uitgevoerd worden bij het bezorgen van producten of het automatisch versturen van notificaties bij extreme temperatuurwisseling. Ook zorgt blockchain ervoor dat al ingevoerde data niet meer aangepast kan worden wat data zoals temperaturen betrouwbaar maakt.

6 Bibliografie

- 5 reasons why enterprise Ethereum is so much more than a DLT.* (sd). Opgehaald van <https://consensus.net/enterprise-ethereum/best-blockchain-for-business/5-reasons-why-enterprise-ethereum-is-so-much-more-than-a-distributed-ledger-technology/>
- Advance your business with EOSIO.* (sd). Opgehaald van eos.io: <https://eos.io/>
- betekenis c.q. uitleg van Blockchain.* (sd). Opgehaald van ICTaccountancy: <https://www.softwarepakketten.nl/betekenis/264&bronw=2/Blockchain.htm#:~:text=Een%20blockchain%20is%20een%20online,ware%20door%20alle%20gebruikers%20geverifieerd>
- Blockchain Advantages and Disadvantages.* (2020, februari). Opgehaald van Binance Academy: <https://academy.binance.com/en/articles/positives-and-negatives-of-blockchain>
- Brickwood, D. (2018, augustus 02). *Understanding Trie Databases in Ethereum.* Opgehaald van Medium: <https://medium.com/shyft-network-media/understanding-trie-databases-in-ethereum-9f03d2c3325d>
- Cole, Z. (2018, november 19). *EOS: An Architectural, Performance, and Economic Analysis.* Opgehaald van hackernoon: <https://hackernoon.com/eos-an-architectural-performance-and-economic-analysis-43a466064712>
- Crypto Info. (2019, mei 21). *What is IOTA (MIOTA)? The beginner's guide.* Opgehaald van Medium: https://medium.com/@crypto_info/what-is-iota-miota-the-beginners-guide-103d4c411f33
- Dale, B. (2019, september 19). *Everyone's Worst Fears About EOS Are Proving True.* Opgehaald van Coindesk: <https://www.coindesk.com/everyones-worst-fears-about-eos-are-proving-true>
- d'Auria, A. (2020, oktober 22). *Ethereum & Hyperledger.* (S. v. Noah Venema, Interviewer)
- Etorox. (sd). *Advantages and Disadvantages of a Blockchain.* Opgehaald van Etorox - Blockchain Academy: <https://etorox.com/blockchain-academy/advantages-and-disadvantages-of-a-blockchain/>
- Four reason why developers and enterprises are looking at EOSIO blockchain protocol.* (2019, augustus 07). Opgehaald van block.one: <https://block.one/news/four-reasons-why-developers-and-enterprises-are-looking-at-the-eosio-blockchain-protocol/>
- Frankenfield, J. (2018, maart 10). *IOTA Definition.* Opgehaald van Investopedia: <https://www.investopedia.com/terms/i/iota.asp>
- Frankenfield, J. (2020, juni 27). *Ethereum.* Opgehaald van Investopedia: <https://www.investopedia.com/terms/e/ethereum.asp>
- Grunweg, A. (2019, mei 21). *Wat is EOS en hoe werkt het? Complete uitleg.* Opgehaald van CoinSpot.nl: <https://coinspot.nl/cryptocurrency/eos/>
- HBUS. (2018, december 19). *The How and Why of Blockchain Transparency.* Opgehaald van Medium: <https://medium.com/hbus-official/the-how-and-why-of-blockchain-transparency-b3f3465f6989>
- Hooper, M. (2018, februari 22). *Top five blockchain benefits transforming your industry.* Opgehaald van IBM: <https://www.ibm.com/blogs/blockchain/2018/02/top-five-blockchain-benefits-transforming-your-industry/>

- Hyperledger. (2017). *Introduction — Sawtooth v1.2.5 documentation*. Opgehaald van Sawtooth Hyperledger: *Introduction — Sawtooth v1.2.5 documentation*
- Hyperledger. (2019, maart 25). *Tantalum from Rwanda Case Study* –. Opgehaald van Hyperledger: <https://www.hyperledger.org/learn/publications/tantalum-case-study>
- Hyperledger. (2020, mei 28). *Chainyard Case Study* –. Opgehaald van Hyperledger: <https://www.hyperledger.org/learn/publications/chainyard-case-study>
- Hyperledger. (2020). *Introduction — hyperledger-fabricdocs master documentation*. Opgehaald van Hyperledger Fabric: <https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/release-2.2/whatis.html#hyperledger-fabric>
- Hyperledger Fabric. (2020). *Transaction Flow — hyperledger-fabricdocs master documentation*. Opgehaald van Hyperledger Fabric: <https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/release-2.2/txflow.html>
- Hyperledger Sawtooth. (2018). *Introduction — Sawtooth Seth latest documentation*. Opgehaald van Sawtooth Hyperledger: <https://sawtooth.hyperledger.org/docs/seth/releases/latest/introduction.html>
- IOTA Foundation. (2020). *Alles über IOTA: einfach und verständlich*. Opgehaald van IOTA Wiki: <https://www.iota-wiki.com/de/>
- IOTA Foundation. (2020, oktober 02). *IOTA Smart Contracts Pre-Alpha Released*. Opgehaald van Blog IOTA: <https://blog.iota.org/iota-smart-contracts-pre-alpha-released-40efad27994b>
- Iredale, G. (2020, april 17). *Top Disadvantages of Blockchain Technology*. Opgehaald van 101 Blockchains: <https://101blockchains.com/disadvantages-of-blockchain>
- Keosd. (2020). Opgehaald van eos: <https://developers.eos.io/manuals/eos/v2.0/keosd/index>
- Koksal, I. (2019, oktober 23). *The Benefits Of Applying Blockchain Technology In Any Industry*. Opgehaald van Forbes: <https://www.forbes.com/sites/ilkerkoksal/2019/10/23/the-benefits-of-applying-blockchain-technology-in-any-industry/#11bba0dc49a5>
- Kraken. (sd). *What is EOSIO? (EOS)*. Opgehaald van Kraken: <https://www.kraken.com/learn/what-is-eosio>
- Krul, A. (2020, april 07). *Hoe doe je deskresearch?* Opgehaald van Scribbr: <https://www.scribbr.nl/scriptie-structuur/hoe-doe-je-deskresearch/>
- Krul, A. (2020, juli 27). *Zo doe je een literatuuronderzoek of literatuurstudie*. Opgehaald van Scribbr: <https://www.scribbr.nl/scriptie-structuur/hoe-doe-je-literatuuronderzoek/>
- Krul, A. (2020, juli 27). *Zo doe je een literatuuronderzoek of literatuurstudie*. Opgehaald van Scribbr: <https://www.scribbr.nl/scriptie-structuur/hoe-doe-je-literatuuronderzoek/>
- Lord, N. (2018, september 07). *What is Public Key Cryptography?* Opgehaald van Digital Guardian: <https://digitalguardian.com/blog/what-public-key-cryptography>
- Luzgin, E. (2019, september). *My reflection on EOS history and current state*. Opgehaald van Steemit: <https://steemit.com/eos/@eostribe/my-reflection-on-eos-history-and-current-state>

- Lynn, B. (sd). *Zero-Knowledge Proofs*. Opgehaald van Stanford: <https://crypto.stanford.edu/pbc/notes/crypto/zk.html>
- Massessi, D. (2018, december 12). *Public Vs Private Blockchain In A Nutshell*. Opgehaald van Medium: <https://medium.com/coinmonks/public-vs-private-blockchain-in-a-nutshell-c9fe284fa39f>
- Michael Crosby, N. P. (2016). *BlockChain Technology: Beyond Bitcoin*. Sutardja Center For Entrepreneurship & Technology.
- Nodeos. (2020). Opgehaald van eos: <https://developers.eos.io/manuals/eos/v2.0/nodeos/index>
- Nodeos Implementation. (2020). Opgehaald van EOSIO Developer Docs: <https://developers.eos.io/manuals/eos/v2.0/nodeos/usage/nodeos-implementation>
- Omnitude. (2019, januari 17). *What are the advantages of blockchain*. Opgehaald van Omnitude: <https://omnitude.tech/what-are-the-advantages-of-blockchain/>
- Redbytes. (2018, juli 26). *Advantages and Disadvantages of Blockchain Technology*. Opgehaald van Redbytes: <https://www.redbytes.in/advantages-and-disadvantages-of-blockchain-technology/>
- Reiff, N. (2020, februari 01). *Blockchain Explained*. Opgehaald van investopedia: <https://www.investopedia.com/terms/b/blockchain.asp>
- Rosic, A. (2020, september 08). *What is Ethereum? [The Most Updated Step-by-Step-Guide!]*. Opgehaald van Bloockgeeks: <https://blockgeeks.com/guides/ethereum/>
- Schlapkohl, K. (2019, januari 03). *What's the difference between a blockchain and a database?* Opgehaald van IBM: <https://www.ibm.com/blogs/blockchain/2019/01/whats-the-difference-between-a-blockchain-and-a-database/>
- Seth, S. (2018, april 10). *Public, Private, Permissioned Blockchains Compared*. Opgehaald van Investopedia: <https://www.investopedia.com/news/public-private-permissioned-blockchains-compared/>
- Sharma, A. (2019, november 11). *Beginner's Guide to EOS and Basic Smart Contracts - QuillHash*. Opgehaald van medium: <https://medium.com/quillhash/beginners-guide-to-eos-and-basic-smart-contract-7d61c41037bb>
- Simmons, J. (2020, juli 01). *Buterin: Ethereum 2.0 will scale to 100,000 TPS in phase 1*. Opgehaald van Crypto-News-Flash: <https://www.crypto-news-flash.com/buterin-ethereum-2-0-will-scale-to-100000-tps-in-phase-1/>
- Simmons, J. (2020, juli 29). *New IOTA Pollen V0.2.2 records more than 10,000 transactions per second*. Opgehaald van Crypto News Flash: <https://www.crypto-news-flash.com/new-iota-pollen-v0-2-2-records-more-than-10000-transactions-per-second/>
- Singh, N. (2019, november 04). *Benefits of Blockchain Technology*. Opgehaald van 101blockchains: <https://101blockchains.com/benefits-of-blockchain-technology/>
- Spark! LivingLab Supply Chain 4.0. (2020). Opgehaald van Spark! LivingLab: <https://sparklivinglab.nl/>
- Stallings, W. (1999). *Cryptography and Network Security: Principles and Practice*. Prentice Hall.

(2020). Start van het Vebabox - Spark! Living Lab project.

Tanner, J. (2020, maart 18). *The difference between EOSIO software and the EOS blockchain*. Opgehaald van Coinmonks: <https://medium.com/coinmonks/difference-between-eosio-software-and-eos-blockchain-13bcc57d1d9d>

The Hyperledger White Paper Working Group. (2018, augustus). *White Papers*. Opgehaald van Hyperledger: https://www.hyperledger.org/wp-content/uploads/2018/08/HL_Whitepaper_IntroductiontoHyperledger.pdf

TService. (2020). *Cold chain (de koelketen)*. Opgehaald van TSERVICE.nl: <https://www.tservice.nl/kennisbank/cold-chain>

Tubbing, L. (2002). *Validiteit en betrouwbaarheid*. Opgehaald van de afstudeerconsultant: <https://deafstudeerconsultant.nl/afstudeertips/onderzoeksmethoden/validiteit-en-betrouwbaarheid/>

Vasa. (2018, augustus 03). *Getting Deep Into Ethereum: How Data Is Stored In Ethereum?* Opgehaald van Medium: <https://medium.com/hackernoon/getting-deep-into-ethereum-how-data-is-stored-in-ethereum-e3f669d96033>

Vebabox Cold Chain Innovators. (2020). Opgehaald van Vebabox.nl: <https://www.vebabox.nl/>

Voice Home. (sd). Opgehaald van Voice: <https://app.voice.com/>

Waymo. (sd). <https://waymo.com>. Opgehaald van Waymo: <https://waymo.com>

Waymo. (sd). *We're building the World's Most Experienced Driver*. Waymo.

What is Ethereum. (2020, oktober 23). Opgehaald van Ethereum: <https://ethereum.org/en/what-is-ethereum/>