



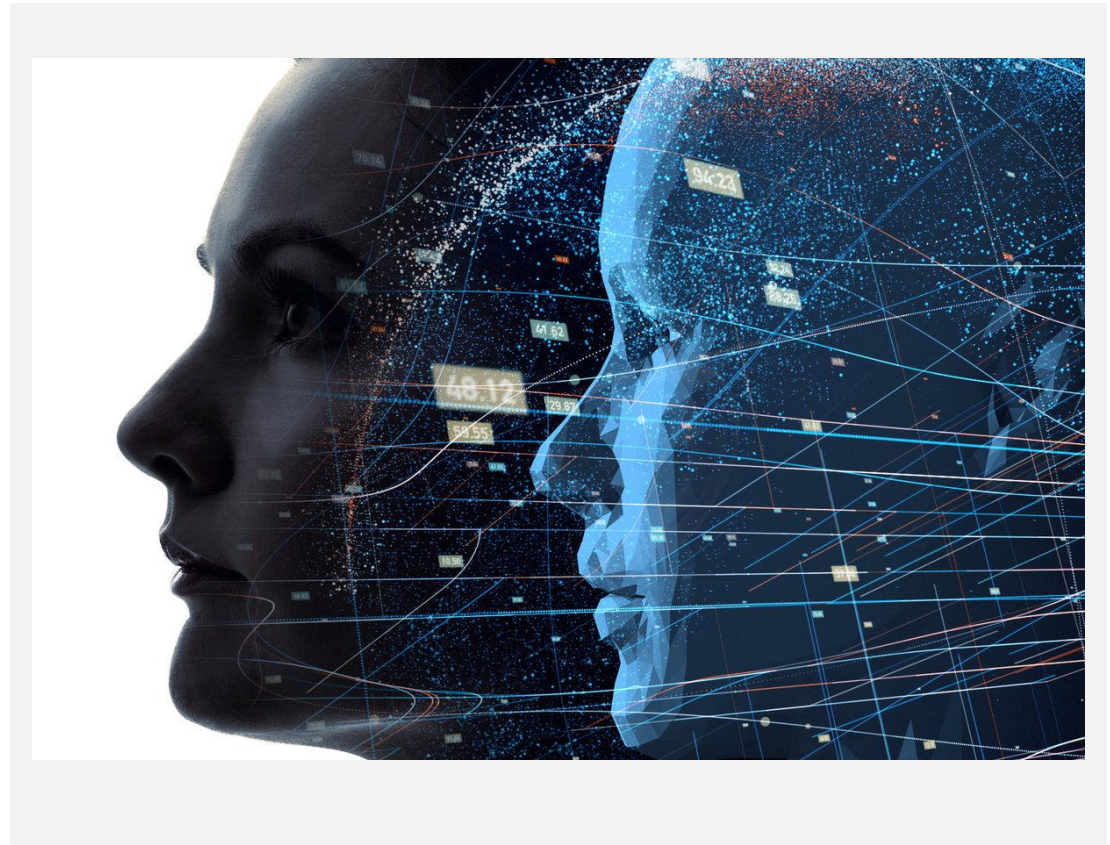
BTO Verkennend Onderzoek



Digitale tweelingen

Samenvatting

Digitale tweelingen zijn virtuele replica's van fysieke apparaten of systemen. Door grote hoeveelheden real-time informatie van sensoren kan de werkelijkheid steeds nauwkeurigere digitale worden gesimuleerd. Tevens biedt de toegenomen rekenkracht volop mogelijkheden om verschillende modellen te integreren en verschillende scenario's te analyseren. Digitale tweelingen worden momenteel al toegepast in bijvoorbeeld de geneeskunde, productontwikkeling en operationele systemen. Voor de watersector biedt deze technologie volop kansen om op slimme en efficiënte wijze het drinkwatersysteem te beheren en zo kosten te besparen. Digitale beveiliging en het expliciet meenemen van risico's zijn belangrijke randvoorwaarden voor een succesvolle toepassing van deze veelbelovende technologie.



Met behulp van geïntegreerde modellen en een grote hoeveelheid real-time sensorgegevens, kunnen virtuele replica's van fysieke apparaten en systemen worden ontwikkeld. Deze digitale tweelingen bieden volop kansen om systemen robuust en efficiënt in te richten en te beheren.



Trendbeschrijving en achtergrond

Wat is een digitale tweeling?

Digitale tweelingen zijn virtuele replica's van fysieke apparaten of systemen die zich zo veel mogelijk hetzelfde gedragen als de werkelijkheid. Dit kan door verschillende modellen aan elkaar te koppelen en door nauwkeurige real-time sensorgegevens te gebruiken om simulaties uit te voeren. Ook is het mogelijk dat een digitale tweeling wordt ontwikkeld voor het uitvoeren van verschillende testsimulaties voordat deze daadwerkelijk in het fysieke systeem wordt gebouwd. Zo kan inzicht worden geboden in de consequenties van verschillende potentiële problemen, en hoe deze het best kunnen worden opgelost.

Digitale tweelingen krijgen steeds meer aandacht. Zo wordt het samen met bijvoorbeeld kunstmatige intelligentie en blockchain technologie genoemd in de toonaangevende Gartner's top 10 van strategische technologische trends van 2017, 2018 en 2019¹. Het aantal digitale tweelingen neemt naar schatting toe in de orde van grootte van miljarden per jaar. Het digitale tweelingen concept vindt haar oorsprong in de ruimtevaart. Tijdens de ontwerp- en productiefase werden ruimtecapsules op ware grootte gemaakt om zo problemen te simuleren en te diagnosticeren die zich mogelijk ook voordoen tijdens de lancering of in de ruimte. Deze replica's maakte gaandeweg plaats voor digitale replica's.

Digitale tweelingen vinden al concrete toepassingen in bijvoorbeeld het ontwerp en operationele controle van auto's, vrachtschepen, vliegtuigmotoren of turbines. Digitale tweelingen kunnen grote kostenbesparingen realiseren. Zo kunnen voorgestelde onderhoudswerkzaamheden eerst digitaal worden getest alvorens deze daadwerkelijk wordt ingevoerd.

Digitale tweeling versus simulatiemodellen

Simulatiemodellen bestaan uit een wiskundige beschrijving die de fysieke omstandigheden zo nauwkeurig mogelijk nabootst. Dit is een integraal bouwwerk van systeemkarakteristieken – en condities (b.v. locatie of temperatuur), gegevens van specifieke gebeurtenissen (zoals tijdsreeksen) en rekenregels en algoritmen voor het herkennen, interpreteren en communiceren van relevante datapatronen voor besluitvorming. Er zijn echter twee kernkarakteristieken die digitale tweelingen onderscheiden:

1. Een grote hoeveelheid real-time sensorgegevens van de fysieke tegenhanger vormen een belangrijke en voortdurende kalibratie. De hoeveelheid sensorgegevens is dermate groot dat we spreken van 'big data'. Door de sterk toegenomen rekenkracht kunnen we voorheen onopgemerkte patronen herkennen. Hiermee kunnen de modelparameters van de digitale tweeling

steeds nauwkeuriger worden bepaald. Dit heet 'data assimilatie'. Deze 'Big data' wordt geleverd door slimme sensoren die, voornamelijk via het internet, met elkaar verbonden zijn. Dit wordt ook wel de 'Internet of Things' of IoT genoemd. Het real-time assimileren van grote hoeveelheden sensordata in steeds nauwkeurigere digitale representatie onderscheidt digitale tweelingen van bestaande simulatiemodellen.

2. Digitale tweelingen hebben de unieke eigenschap om verschillende modellen met elkaar te koppelen en, met de sterk toegenomen rekenkracht, een veelvoud aan verschillende 'what-if' scenario's te simuleren en analyseren. Dit biedt mogelijkheden om zeer gericht nieuwe technologieën, operationele systemen of innovaties te testen en te verbeteren. Vooral het tempo waarmee op deze manier nieuwe technologieën kunnen worden ontwikkeld is veelbelovend.

De snelle opkomst van digitale tweelingen, hangt sterk samen met ontwikkelingen zoals IoT, big data en kunstmatige intelligentie.



Toepassingen van digitale tweelingen

De mogelijkheden om digitale tweelingen toe te passen lijken onbeperkt. Zo kunnen bedrijven digitale tweelingen gebruiken om bestaande operationele processen te verbeteren en werknemers te trainen. Ook kunnen nieuwe producten of procedures getest worden voordat ze daadwerkelijk worden gelanceerd in de echte wereld waar het veel duurder en ingewikkelder is om problemen op te lossen. Het biedt dus vele mogelijkheden om innovatie te versnellen en operationele processen te optimaliseren. Het lijkt er zelfs op dat het niet benutten van digitale tweeling technologieën veel bedrijven een onoverbrugbare achterstand gaat opleveren.

Digitale tweelingen kunnen verschillende sectoren zoals de zorg, stedelijke planning en offshore windparken fundamenteel veranderen. In de zorg kunnen bijvoorbeeld draadloze sensors, die mogelijk niet groter worden dan een pleister, constant bloeddruk, hartkloppingen en ademhaling registreren en deze data draadloos streamen, analyseren en evalueren met een digitale tweeling van de patiënt. Op deze manier kan direct preventief gehandeld worden om bijvoorbeeld een hartaanval te voorkomen. Daarnaast kunnen digitale tweelingen feilloos MRI-scans analyseren waardoor het aantal medische missers sterk vermindert.

De binnenstad van Singapore heeft momenteel al een digitale tweeling die tal van voordelen oplevert zoals verhoogde energie efficiëntie, winkels kunnen openingstijden minutieus afstemmen op bezoekersaantallen en verkeerslichten kunnen precies op elkaar afgestemd worden.

Het Verenigd Koninkrijk ontwikkelt momenteel ook een digitale tweeling voor het volledige openbaar vervoernetwerk². De opbrengsten in tijd, efficiëntie en reizigersgemak lijken veelbelovend.

In een project voor offshore windparken in Schotland wordt geschat dat de huidige kostenbesparing van digitale tweeling technologie in het totaal zo'n €12.000 per windturbine bedraagt. Digitale tweelingen verminderen vooral het aantal fysiek inspecties en daarmee de kosten van mogelijke calamiteiten van deze inspecties³.

Digitale tweeling systemen gaan ook steeds meer onafhankelijk functioneren met zeer beperkte vormen van menselijk ingrijpen. Zo zijn er bijvoorbeeld volledig zelfredzame digitale tweelingen voor geautomatiseerde graafmachines die intensief gemonitord worden door tal van sensoren.

Internet of Things & Kunstmatige intelligentie

Met de opkomst van de Internet of Things (IoT) worden sinds kort bijna alle machines en gebouwen voorzien van slimme meetinstrumenten en data entrypoints van waaruit waardevolle informatie verzameld wordt. Door deze grote hoeveelheid aan informatie onder te brengen in digitale tweelingen kunnen productontwikkelingen en operationele werkzaamheden steeds meer geautomatiseerd worden. Met al deze gegevens kunnen problemen vroegtijdig worden geanticipeerd en is er in geval van schade direct een goed beeld van de oorzaak.

Momenteel worden digitale tweelingen voornamelijk gebruikt als databron waar mensen uit kunnen putten. De mogelijkheden van de digitale tweelingen in combinatie met kunstmatige intelligentie zijn echter nog veel groter. Naarmate bots beter en slimmer worden kunnen steeds complexere problemen op afstand en automatisch worden voorspeld, gesignaleerd en door het systeem proactief worden opgelost. Veel experts menen dat het zeer waarschijnlijk is dat digitale tweelingen de standaard gaan worden⁴. Digitale tweelingen verbreden de mogelijkheden van kunstmatige intelligentie en kunnen gezien worden als de belangrijkste driver voor IoT.



Randvoorwaarden voor een goede toepassing

De eerlijkheid gebiedt te zeggen dat er vooral veel onbekend is en daarom ook moeilijk geanticipeerd kan worden op mogelijke bedreigingen. Toch zijn er een aantal concrete risico's te benoemen.

Digitale tweelingen zijn een belangrijke aanjager van het op grote schaal via internet met elkaar verbinden van apparaten (IoT). Dit biedt bijna onbegrensde mogelijkheden. Tegelijkertijd waarschuwen veel experts dat dit een "beveiligingsnachtmerrie" kan zijn. Ten eerste, zijn IoT-apparaten vaak niet voldoende beveiligd. Ten tweede, IoT systemen kunnen misbruikt worden door zogenoemde 'Botnets'. Dit zijn zelfstandig opererende softwarerobots die vaak geïnstalleerd zijn door een computerworm of Trojaans paard. Botnets kunnen bijvoorbeeld ongewenst reclame advertenties verspreiden (adware), ongevraagd informatie verspreiden dat is opgeslagen binnen een IoT-systeem (spyware) of een situatie creëren waarin het computersysteem functies weigert uit te voeren (Denial of service). Het consistent catalogiseren van elk aangesloten apparaat op een netwerk is gezien de omvang en complexiteit van IoT moeilijk. Daarnaast zijn veel beheerders zich onvoldoende bewust van de IoT-aanwezigheid dat ten grondslag ligt aan fundamentele processen zoals bedrijfsvoering, risicobeheersing en andere grote beslissingen.

Hoewel dit beveiligingsvraagstuk niet specifiek voor digitale tweelingen geldt, zijn zij wel onlosmakelijk hiermee verbonden. De snelle ontwikkeling van beveiligingssoftware vraagt om regelmatige beveiligings-updates van fabrikanten. Hier kan het nog wel eens aan ontbreken. Zeker voor grote complexe systemen waarin elk apart onderdeel een ingang kan vormen voor botnets, is het noodzakelijk dat altijd alle onderdelen optimaal beveiligd zijn. In feite is het systeem zo sterk als de zwakste schakel. Er ligt een grote rol en verantwoordelijkheid voor de productgebruikers om continu alert te zijn. In feite is het voorkomen, beperken en snel reageren op steeds geavanceerdere botnets een voortdurende wapenwedloop⁵. Om de vruchten te plukken van de veelbelovende digitale tweelingtechnologieën zijn bedrijven dus genoodzaakt forse investeringen te doen in hun digitale beveiligingssystemen.

Wanneer we ons specifiek richten op digitale tweelingen lijkt het vooral een noodzaak dat deze op de juiste wijze worden geprogrammeerd. In verschillende sectoren waaronder ook de drinkwatersector, wordt er nog veel gewerkt met deterministische modellen. In deze modellen wordt nauwelijks rekening gehouden met inherente onzekerheden in bijvoorbeeld de modelparameters, veranderende omstandigheden en beperkte data betrouwbaarheid. Wanneer digitale tweelingen voortbouwen op zo'n deterministische benadering

bestaat er het risico dat er een schijnzekerheid ontstaat waardoor belangrijke operationele, tactische of strategische keuzes verkeerd kunnen uitpakken. Een meer probabilistische benadering waarin rekening gehouden wordt met inherente onzekerheden die digitale modelsimulaties hebben lijkt de oplossing. Met andere woorden, de aanname dat digitale tweelingen nooit volledig de werkelijkheid kunnen simuleren is essentieel. Alleen met het expliciet integreren van onzekerheden kunnen digitale tweelingen echt zinvolle kennis leveren waardoor risico's, tijd en kosten daadwerkelijk sterk vermindert worden.

Relevantie voor de drinkwatersector

Ook voor de drinkwatersector bieden digitale tweelingen en geavanceerde simulatiemodellen veel kansen. Zo is in het drinkwater distributienetwerk een toenemende digitalisering merkbaar en zijn simulatiemodellen een 'must' om te voldoen aan toenemende klantverwachtingen, wet -en regelgeving en verwachtingen van aandeelhouders. Een leidingnet bevat honderdduizenden leidingen, ieder met een eigen lengte, diameter en materiaal. Het opbouwen van een model bestaat uit het combineren van miljoenen informatie-elementen. De benodigde informatie is soms niet bekend, verouderd en de verzameling en verwerking kost veel tijd. De informatie kan daarom niet 100% betrouwbaar worden gemaakt en daarmee kunnen simulatieresultaten zoals de drukverdeling,



vervuilingsverspreiding en stroomrichting en -snelheid onnauwkeurig zijn. Een belangrijk verbeterpunt daarbij is dat de optelsom van onzekerheid de bijvoorbeeld invoerdata, modelparameters en algoritmen vaak onvoldoende expliciet wordt gemaakt in onzekerheidsmarges die de modelresultaten kunnen duiden⁶. Tevens ontbreekt het hierdoor aan een goed begrip van de mogelijkheden om het model betrouwbaarder te maken.

Vaak zijn deze modelsimulaties relatief goed in staat om de zogenaamde 'steady state' van een drinkwaternet te simuleren. De onnauwkeurigheden van deze simulaties komen echter pas aan het licht wanneer ongewone situaties zich voordoen zoals in de overgang naar bijvoorbeeld een andere watervraag door bluswerkzaamheden, lekkage of defecte klepsluitingen. In zo'n geval blijkt vaak dat de modellen onvoldoende de werkelijke processen kunnen simuleren. Juist in deze ongewone situaties is er geen tijd voor uitgebreide doorrekeningen en is de beschikbaarheid van kalibratiedata beperkt⁶.

De toegenomen rekenkracht en beschikbaarheid van real-time sensordata, die digitale tweelingen bieden, maken het mogelijk om ook in ongewone situaties voldoende informatie te verzamelen en verwerken. Door digitale tweelingen kan het drinkwaternet dus meer waarheidsgetrouw worden gesimuleerd. De digitale integratie van

pompregelaars is momenteel al ver gevorderd. Er ligt vooral nog veel potentieel in het aansluiten van verschillende systeemcomponenten met behulp van sensoren. Steeds betere communicatie tussen de verschillende delen van het waterproductieproces - bijvoorbeeld tussen drinkwaterwinning, zuivering en distributie - kan zowel de leveringszekerheid bevorderen als de energie- en grondstoffenefficiëntie verhogen. Ook het digitaal simuleren van extremen zoals overstromingen, cyberaanvallen, aardbevingen of besmettingen zijn belangrijk om watersystemen veerkrachtiger en toekomst bestendig te maken. Momenteel wordt hier al werk van gemaakt binnen KWR^{7,8}.

In Duitsland wordt al sterk ingezet op digitalisering door het German Water Partnership in water 4.0 werkgroep⁹. Ook het Zweedse Ramboll project investeert in een digitale tweelingen om zo optimaal mogelijk de verwachte €1,5 miljoen per jaar te investeren in Zweedse drinkwaterproductie¹⁰. Dichter bij huis wordt er op dit moment een digitale tweeling ontwikkeld van het Brainport Smart District waarin een slimme woon- en werkwijk wordt ontworpen in samenhang met nieuwe technologieën voor vervoer, gezondheid, energieopwekking en -opslag en circulair bouwen. Verschillende drinkwaterbedrijven en KWR zijn hierbij betrokken om ook het watersysteem te integreren in dit systeem¹¹.

De huidige ontwikkelingen in simulatiemodellen en digitale tweelingen bieden mogelijkheden voor geïntegreerde modellen die een breder scala aan systemen zoals drinkwater, afvalwater, grijs water, hemelwater, oppervlaktewater of zelfs energie of verkeerssystemen geïntegreerd kan analyseren. Deze modellen worden steeds complexer en zijn afhankelijk van grote hoeveelheden informatie. Het is belangrijk kennis te ontwikkelen over de kwaliteit van deze informatie, hoe deze verwerkt wordt, welke onzekerheidsmarges de uitkomsten hebben en welke onzekerheidsmarges zijn toegestaan. Meer informatie is daarom niet per definitie beter. Het gaat primair om een goede interpretatie¹². Deze interpretatie moet gedaan worden door experts die goed onderlegd zijn in zowel het watersystemen als de modellen. Dit wordt wellicht een hele waardevolle en tegelijkertijd schaarse 'asset'.

Digitale tweelingen bieden veel mogelijkheden voor assetbeheer. De toenemende veroudering van drinkwaternetwerk betekent dat steeds meer leidingen, sluiters, pompen en drukregelaars het einde van hun levensduur naderen. Er is sprake van een grote saneringsbult die, afhankelijk van de locatie, rond 2030 haar hoogtepunt gaat bereiken. Om de noodzakelijke investeringen zoveel mogelijk te spreiden is het van essentieel belang dat er veel conditiemetingen gedaan worden van de huidige staat van de infrastructuur. Op deze manier kan er veel gericht en kostenefficiënter



onderhoudswerkzaamheden en saneringen worden gedaan. Dit nauwkeurige inzicht in de huidige staat van assets is van groot belang omdat de kosten hoog zijn en tegelijkertijd het zeer ongewenst is om een veelvoud aan ongecontroleerde incidenten te hebben door gebrekkig onderhoud. De toenemende hoeveelheid sensoren en real-time data die digitale tweelingen kunnen gebruiken om nauwkeurige inschattingen te maken van de daadwerkelijke conditie van leidingen, sluiters, drukregelaars etc., zijn daarom in de toekomst misschien wel onmisbaar. Digitale tweelingen kunnen vooral een belangrijke rol vervullen als het om zeer hoogwaardige of kwetsbare infrastructuur gaat zoals leidingen in dijken of leidingen die water leveren aan essentiële processen zoals koelinstallaties of ziekenhuizen.

Kortom, de toepassingsmogelijkheden zijn veelbelovend. Echter, op dit moment is er nog relatief weinig ervaring met digitale tweelingen in de Nederlandse drinkwatersector. Een eerste stap is daarom vooral om de meerwaarde en het potentieel van digitale tweelingen te demonstreren. Het detecteren van anomalieën tussen de digitale tweeling in haar fysieke tegenhanger is daarbij belangrijk. Wanneer een digitale tweeling een ander gedrag vertoont dan de fysieke tegenhanger, kan dit twee dingen betekenen: hetzij de digitale tweeling niet representatief genoeg, hetzij er is een afwijking in het distributiesysteem (b.v. onbekende

lekkage of verkeerde afsluiter). Om deze anomalieën te detecteren is het essentieel dat de digitale tweeling de actuele toestand representeert op basis van real-time meetgegevens. Een tweede stap om de meerwaarde van digitale tweelingen te demonstreren zijn scenariosimulaties. In deze studies wordt met behulp van geïntegreerde modellen geanalyseerd hoe het systeem presteert onder verschillende omstandigheden. Op dit moment zijn verschillende drinkwaterbedrijven bezig met een belangrijke randvoorwaarde om digitale tweelingen te gebruiken, namelijk het standaardiseren van digitale sensoren in het distributienetwerk. Ook worden de eerste pilots opgezet. Daarmee gaan we een steeds beter beeld vormen van de concrete kansen, bedreigingen en toepassing van deze veelbelovende ontwikkeling.



Meer informatie

¹ Cartner's top 10 strategic technology trends for 2019.

<https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2019/>

² Todd F (2019) Digital twin examples: Simulating Formula 1, Singapore and wind farms to improve results. <https://www.compelo.com/digital-twin-examples-formula1-singapore/>

³ EO Offshore Engineering (2019) Digital twin examples: Simulating Formula 1, Singapore and wind farms to improve results. <https://www.oedigital.com/news/443249-the-digital-twin-evolution-for-offshore-wind>

⁴ Heikens W (2019) Waarom IoT en AI een vlucht gaan nemen door de Digital Twin. <https://www.tjip.com/publicaties/waarom-iot-ai-digital-twin>

⁵ Gold J (2019) What is IoT? How the internet of things work. <https://www.networkworld.com/article/3207535/what-is-iot-how-the-internet-of-things-works.html>

⁶ Hutton CJ, Kapelan Z, Vamvakieridou-Lyroudia L, Savic DA, Asce AM (2014) Dealing with uncertainty in water distribution system models: A framework for real-time modeling and data assimilation. Journal of water and resources planning and management. 140:169-183

⁷ Vertommen I, Van Thienen P, van Laarhoven K, Blokker M, Makropoulos C (2018) Veerkracht van leidingnetwerken onder crisisscenario's. <https://www.kwrwater.nl/projecten/veerkracht-van-leidingnetwerken-onder-crisisscenarios/>

⁸ Castro Gama M (2018) Modelling how to repair distribution networks after an earthquake. <https://www.kwrwater.nl/en/actueel/modelling-how-to-repair-distribution-networks-after-an-earthquake/>

⁹ German Water Partnership (2019) Water 4.0 https://www.germanwaterpartnership.de/fileadmin/pdfs/gwp_materialien/GWP_Brochure_Water_4.0.pdf

¹⁰ Ramboll (2018) Ramboll joins project about digital twins for water treatment. <https://ramboll.com/media/rgr/digital-twins-for-water-treatment>

¹¹ Brainport Smart district. <https://brainportsmartdistrict.nl/>

¹² Mesman G, Sperber V van Thienen P (2014) De informatieparadox van het leidingnetmodelleren. H2O-Online

Keywords

Digitale tweeling - Hydro informatica - Internet of Things - Simulatie