

2021 • 2022

Faculteit Industriële Ingenieurswetenschappen  
master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

## Masterthesis

Digitale ondersteuning van klanten verbeteren via augmented reality en een digital twin alsmede het opzetten van een virtueel prototype

PROMOTOR :

ing. John BIJNENS

PROMOTOR :

ing. Tom GEURTS

ing. Frank VALKENBORGH

COPROMOTOR :

ir. Joep VAN DE VEN

Daan Cuppens, Nick Hendrikx

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

Gezamenlijke opleiding UHasselt en KU Leuven



KU LEUVEN



KU LEUVEN

2021 • 2022

Faculteit Industriële Ingenieurswetenschappen  
master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

## Masterthesis

Digitale ondersteuning van klanten verbeteren via augmented reality en een digital twin alsmede het opzetten van een virtueel prototype

**PROMOTOR :**

ing. John BIJNENS

**PROMOTOR :**

ing. Tom GEURTS

ing. Frank VALKENBORGH

**COPROMOTOR :**

ir. Joep VAN DE VEN

**Daan Cuppens, Nick Hendrikx**

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: elektromechanica



**KU LEUVEN**



## Woord vooraf

Deze masterproef is het finaal onderzoek van onze opleiding industriële wetenschappen, elektromechanica aan de gezamenlijke opleiding van de UHasselt en KU Leuven. De masterproef is uitgevoerd voor IPTE Factory Automation en situeert zich rond het onderzoek naar verschillende technologieën die gebruik maken van *augmented* en *virtual reality*.

Dit academisch onderzoek was een leerrijke ervaring over *augmented* en *virtual reality*. Ondanks dat onze kennis over deze domeinen voor de aanvang van de masterproef nog beperkt was hebben wij veel bijgeleerd over deze technologieën. *Augmented* en *virtual reality* zijn twee onderwerpen die ons erg interesseren en we hopen dat dit onderzoek een bijdrage levert voor IPTE.

Wij zouden graag de volgende personen willen bedanken die een bijdrage hebben geleverd aan deze masterproef. Ten eerste willen we onze promotoren Ing. Tom Geurts en Ing. Frank Valkenborgh van IPTE bedanken om ons de kans te geven deze masterproef uit te voeren.

Ook gaat onze dank uit naar Ir. Joep Van De Ven van GPO Solutions voor de technische hulp en ondersteuning het hele jaar. Zijn kennis en inzichten hebben een grote bijdrage geleverd aan deze masterproef.

Daarnaast willen we onze interne promotor Ing. John Bijnens bedanken voor zijn goede begeleiding en de inzichten die hij ons heeft bijgebracht. Zonder zijn hulp hadden we deze opdracht niet kunnen realiseren.

Ook bedanken we Yves Agten, PLC *software engineer* bij IPTE, voor de steun en begeleiding m.b.t. het PLC programma. Zonder zijn kennis was het onmogelijk om de *digital twin* in Emulate3D te realiseren.

Ten slotte zouden wij graag nog een apart dankwoord uitbrengen.

Deze alinea bevat een persoonlijk dankwoord van Daan Cuppens.

Ten eerste zou ik graag in het bijzonder mijn ouders willen bedanken voor de jarenlange steun en de mogelijkheid tot het volgen van deze masteropleiding. Zonder hun was deze masterproef niet mogelijk geweest. Daarnaast zou ik graag mijn partner Ing. Nick Hendrikx willen bedanken voor de vlotte samenwerking en om samen deze masterproef tot een goed einde te volbrengen! Ik zou ook graag mijn vriendin willen bedanken voor haar steun en luisterend oor gedurende deze masterproef. Ten slotte wil ik mijn vrienden bedanken voor hun steun. Een dikke 'merci' aan iedereen die mij ondersteund heeft gedurende deze opleiding!

Deze alinea bevat een persoonlijk dankwoord van Nick Hendrikx.

In het bijzonder zou ik graag mijn ouders willen bedanken voor hun steun gedurende de hele opleiding en het mede mogelijk maken tot het volgen van deze opleiding. Daarnaast zou ik graag mijn vriendin en vrienden willen bedanken voor hun luisterend oor gedurende deze masterproef. Ten slotte zou ik graag mijn partner Ing. Daan Cuppens willen bedanken voor de goede samenwerking gedurende deze masterproef.

Cuppens Daan  
Hendrikx Nick

Diepenbeek, juni 2022



# Inhoudsopgave

<b>Woord vooraf</b> .....	<b>1</b>
<b>Lijst van tabellen</b> .....	<b>7</b>
<b>Lijst van figuren</b> .....	<b>9</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>13</b>
<b>Abstract in English</b> .....	<b>15</b>
<b>1 Inleiding</b> .....	<b>17</b>
1.1 Situering.....	17
1.2 Probleemstelling.....	18
1.2.1 Verbeteren van de <i>remote support</i> .....	18
1.2.2 Verlenging van de leveringstermijn.....	19
1.3 Doelstelling.....	20
1.3.1 Verbeteren van de <i>remote support</i> .....	20
1.3.2 Verlenging van de leveringstermijn.....	21
1.4 Aanpak.....	22
<b>2 Literatuurstudie</b> .....	<b>23</b>
2.1 Inleiding.....	23
2.2 <i>Virtual reality</i> .....	24
2.2.1 Inleiding.....	24
2.2.2 Werking.....	24
2.2.3 Geschiedenis.....	25
2.2.4 Toepassingen.....	27
2.2.5 De gevaren van <i>virtual reality</i> .....	28
2.3 <i>Augmented reality</i> .....	29
2.3.1 Inleiding.....	29
2.3.2 Geschiedenis.....	30
2.3.3 Werking.....	31
2.3.4 Apparaten.....	31
2.3.5 Toepassingen.....	32
2.3.6 Resultaten.....	33
2.4 Toekomstvisie VR en AR.....	34
2.5 <i>Virtual prototyping</i> .....	36
2.5.1 Inleiding.....	36

2.5.2	Voordelen .....	36
2.5.3	Types <i>virtual prototyping</i> .....	36
2.5.4	AR en VR in <i>virtual prototyping</i> .....	37
2.5.5	Eigenschappen .....	37
2.6	<i>Digital twin</i> .....	38
2.6.1	Inleiding .....	38
2.6.2	Waardetoevoegingen .....	38
2.6.3	Toepassingen .....	39
2.7	Industrie 4.0 .....	40
2.7.1	Inleiding .....	40
2.7.2	Basisprincipes .....	40
2.7.3	<i>Internet of Things</i> .....	41
2.7.4	<i>Cloud computing</i> .....	42
2.7.5	<i>Cyber-Physical System</i> .....	43
2.8	Conclusie .....	44
<b>3</b>	<b>Onderzoek naar softwarepakketten .....</b>	<b>45</b>
3.1	Inleiding .....	45
3.2	PTC Vuforia Chalk .....	45
3.3	PTC Creo Illustrate .....	47
3.4	PTC Vuforia Studio .....	51
3.5	PTC Vuforia View .....	56
3.6	PTC ThingWorx .....	58
3.7	Emulate3D .....	65
3.8	Conclusie .....	71
<b>4</b>	<b>Praktische uitwerking .....</b>	<b>73</b>
4.1	Inleiding .....	73
4.2	Creo Illustrate .....	74
4.2.1	Spindelmotor vervangen .....	76
4.2.2	Opstarten installatie .....	79
4.2.3	Demonderen transportband linkerkant transportsectie .....	80
4.2.4	Demonderen achterste motor transportsectie .....	80
4.2.5	Demonderen transportband rechterkant transportsectie .....	81
4.2.6	Demonderen voorste motor transportsectie .....	81

4.3	Vuforia Studio .....	82
4.3.1	Inleiding.....	82
4.3.2	<i>Views</i> aanmaken .....	82
4.3.3	Startscherm.....	87
4.3.4	Applicatie compatibel met elk toestel .....	89
4.3.5	<i>Targets</i> .....	92
4.4	Vuforia Chalk.....	99
4.4.1	Mobiele applicatie .....	99
4.4.2	<i>Admin center</i> .....	101
4.5	Emulate3D.....	102
4.5.1	Opstart .....	102
4.5.2	<i>CAD is The Model</i> .....	102
4.5.3	Catalogen.....	106
4.5.4	Voorbeelden .....	107
4.5.5	PLC.....	119
4.5.6	Creo <i>add-in</i> .....	121
4.5.7	Connecteren met een PLC op afstand.....	123
4.6	Conclusie .....	124
<b>5</b>	<b>Kostenraming.....</b>	<b>125</b>
5.1	Inleiding.....	125
5.2	Kosten en besparingen.....	125
5.3	Conclusie .....	127
<b>6</b>	<b>Conclusie.....</b>	<b>129</b>
	<b>Referentielijst.....</b>	<b>131</b>





## Lijst van tabellen

Tabel 1: Eisenpakket <i>remote support</i> .....	20
Tabel 2: Eisenpakket <i>virtual prototype</i> .....	21
Tabel 3: Botsingscompatibiliteit in Emulate3D .....	67
Tabel 4: Overzicht van de in- en uitgangen.....	120
Tabel 5: Kostentabel.....	126
Tabel 6: Besparingstabel .....	126
Tabel 7: Samenvattingstabel kosten en besparingen .....	126



## Lijst van figuren

Figuur 1: <i>Easy Test Handler</i> [2, p. 1].....	18
Figuur 2: Overzicht bronnenstudie [3] .....	23
Figuur 3: De sensorama door Morton Heilig [6, p. 1263] .....	25
Figuur 4: Zwaard van Damocles door Ivan Sutherland [4, p. 23] .....	25
Figuur 5: VR-handschoen [4, p. 25].....	26
Figuur 6: VR <i>lightsaber</i> spel [10] .....	27
Figuur 7: Gevaren van VR [4, p. 7].....	28
Figuur 8: Voorbeeld van <i>augmented reality</i> [12] .....	29
Figuur 9: <i>Virtual fixtures</i> van Louis Rosenberg [14] .....	30
Figuur 10: AR-Quake [15] .....	30
Figuur 11: AR-Quake <i>graphics</i> [15] .....	30
Figuur 12: Pokémon Go in <i>augmented reality</i> [17].....	32
Figuur 13: AR-navigatie in een auto [18].....	32
Figuur 14: Immersieve technologieën in de onderwijssector [20] .....	34
Figuur 15: Toekomstvoorspelling marktaandeel van immersieve technologieën [21] .....	34
Figuur 16: Marktaandeel AR en VR per sector in 2021 [22] .....	35
Figuur 17: <i>Digital twin</i> van een patiënt [27] .....	39
Figuur 18: <i>Cyber-Physical System</i> [29].....	43
Figuur 19: Vuforia Chalk voorbeeld [36].....	45
Figuur 20: Technische vereisten Vuforia Chalk [35] .....	46
Figuur 21: 2D-tekening PTC Creo Illustrate [39] .....	47
Figuur 22: 3D-animatie PTC Creo Illustrate [40] .....	47
Figuur 23: Demontage 2D-figuur in Creo Illustrate [44] .....	49
Figuur 24: Werking zichtbaar maken 2D-figuur in Creo Illustrate [38] .....	49
Figuur 25: Lokaal inzoomen met <i>insets</i> [45].....	50
Figuur 26: <i>Exploded-view</i> [46].....	50
Figuur 27: Overzicht PTC Creo Illustrate [41].....	50
Figuur 28: Overzicht Vuforia Studio [47] .....	51
Figuur 29: Aanmaken <i>view</i> in Vuforia Studio [41] .....	52
Figuur 30: <i>Image Target</i> in Vuforia Studio [51] .....	52
Figuur 31: ThingMark [52] .....	53
Figuur 32: 2D-afspeelscherm Vuforia Studio [41].....	53
Figuur 33: Microsoft HoloLens [54] .....	54
Figuur 34: RealWear HMT-1 [56] .....	54
Figuur 35: Vuzix M400 [57] .....	54
Figuur 36: 2D-gebruikersinteracties [54] .....	54
Figuur 37: Systeemvereisten Vuforia Studio [58, p. 11].....	55
Figuur 38: Toepassing Vuforia View [60] .....	56
Figuur 39: Technische vereisten Vuforia View mobiel [58, p. 12].....	56
Figuur 40: Technische vereisten Vuforia Studio <i>eyewear</i> [58, p. 13].....	57
Figuur 41: Ondersteunde <i>tracking</i> methodes [58, p. 13].....	57
Figuur 42: <i>Digital Twin</i> principe met Thingworx [41].....	58
Figuur 43: Basisprincipe ThingWorx connectie o.b.v. IoT [63] .....	58
Figuur 44: ThingWorx Studio voorbeeld 1 [66].....	60
Figuur 45: ThingWorx Studio voorbeeld 2 [66].....	60
Figuur 46: ThingWorx <i>Industrial Connectivity</i> [67, p. 1] .....	60

Figuur 47: ThingWorx Foundation integratie [68].....	61
Figuur 48: Overzicht ThingWorx Asset Advisor [71].....	63
Figuur 49: <i>User interface</i> van Emulate3D [75].....	65
Figuur 50: RAY-tracing in Emulate3D [74].....	68
Figuur 51: <i>Mixed reality headsets</i> compatibel met Emulate3D [80].....	69
Figuur 52: Overzicht van de verschillende softwarepakketten .....	71
Figuur 53: Werking van de ETH [83] .....	73
Figuur 54: <i>Fixture</i> van de ETH.....	73
Figuur 55: Stappen benoemen in Creo Illustrate [43] .....	74
Figuur 56: Verschillende functies in Creo Illustrate [43].....	75
Figuur 57: Tijdlijn in Creo Illustrate [43].....	75
Figuur 58: Beginopstelling van de spindelmotor animatiereeks [43].....	76
Figuur 59: Demoneren van de afdekplaat [43].....	76
Figuur 60: Losdraaien van de drive-schroef [43] .....	77
Figuur 61: Roteren van de servo-aandrijving [43] .....	77
Figuur 62: Roteren van de koppeling [43] .....	78
Figuur 63: Koppeling Radex-NC15 EK [84] .....	78
Figuur 64: Demoneren van de spindelmotor [43] .....	78
Figuur 65: Animatiereeks over het opstarten van de installatie [43].....	79
Figuur 66: Beginopstelling demonteren transportband linkerkant transportsectie [43] .....	80
Figuur 67: Demoneren transportband linkerkant transportsectie [43].....	80
Figuur 68: Demoneren achterste motor transportsectie [43].....	80
Figuur 69: Achterste motor van de transportsectie [43] .....	80
Figuur 70: Beginopstelling demonteren transportband rechterkant van de transportsectie [43].....	81
Figuur 71: Demoneren transportband linkerkant transportsectie [43].....	81
Figuur 72: Demoneren voorste motor transportsectie [43] .....	81
Figuur 73: Voorste motor van de transportsectie [43].....	81
Figuur 74: Toevoegen van <i>views</i> in Vuforia Studio [85] .....	82
Figuur 75: Creëren van een nieuwe <i>view</i> in Vuforia Studio [85].....	82
Figuur 76: Plaatsen van het model in Vuforia Studio [85].....	83
Figuur 77: Inladen van het PVZ-bestand [85].....	83
Figuur 78: Selecteren van de <i>sequence</i> [85].....	83
Figuur 79: 2D-view [85].....	83
Figuur 80: <i>Drag and drop interface</i> van Vuforia Studio [85].....	84
Figuur 81: Koppelen 2D-knoppen in het afspeelscherf [85] .....	84
Figuur 82: Functies 2D-knop afspeelscherf [85].....	85
Figuur 83: Openen JavaScript in Vuforia Studio [85].....	85
Figuur 84: JavaScript code voor het label [85] .....	86
Figuur 85: Taakbalk Vuforia Studio [85].....	86
Figuur 86: Voorbeeldweergave van het afspeelscherf [85].....	86
Figuur 87: Voorbeeldweergave van het startscherf [85] .....	87
Figuur 88: Koppelen 2D-knoppen afspeelscherf [85] .....	87
Figuur 89: Functies 2D-knop startscherf [85] .....	88
Figuur 90: Header configureren met appConfig [85].....	88
Figuur 91: Verschillende <i>classes</i> in CSS [85].....	89
Figuur 92: Eigenschappen van de 2D-knop in Vuforia Studio [85].....	90
Figuur 93: iPad <i>portrait</i> [85] .....	91
Figuur 94: iPhone <i>portrait</i> [85].....	91

Figuur 95: iPhone <i>landscape</i> [85] .....	91
Figuur 96: Toekennen van een <i>spatial target</i> [85] .....	92
Figuur 97: <i>View</i> met <i>spatial target</i> [87] .....	92
Figuur 98: Toekennen van een <i>model target</i> [85] .....	93
Figuur 99: <i>Detection configuration</i> [85] .....	93
Figuur 100: Detectiescherm bij een <i>model target</i> [87] .....	94
Figuur 101: Animatie die de achterplaat verwijdert in AR [87] .....	94
Figuur 102: Animatie die de drive opendraait in AR [87] .....	94
Figuur 103: ETH-assenstelsel in het midden [85] .....	95
Figuur 104: ETH-assenstelsel vanonder [85] .....	95
Figuur 105: CAD exporteren naar STEP [88] .....	95
Figuur 106: Protocol ap214 [88] .....	95
Figuur 107: Coördinaten van het systeem selecteren [88] .....	96
Figuur 108: Tabblad Experiences [85] .....	96
Figuur 109: ThingMark 51244:1 [85] .....	96
Figuur 110: Koppelen van de <i>slider</i> [85] .....	97
Figuur 111: Functie van de <i>slider</i> definiëren [85] .....	97
Figuur 112: ETH op <i>ThingMark</i> met deur open [87] .....	98
Figuur 113: ETH op <i>ThingMark</i> met gesloten deur [87] .....	98
Figuur 114: Inlogpagina van de Vuforia Chalk applicatie [89] .....	99
Figuur 115: Startscherm van Vuforia Chalk voor de techniker [89] .....	99
Figuur 116: Deelnemers van het gesprek [89] .....	99
Figuur 117: Menu vuforia Chalk [89] .....	100
Figuur 118: Overzicht deelnemers [89] .....	100
Figuur 119: Aantekening in AR op de ETH [89] .....	100
Figuur 120: Aantekening in AR op de ETH onder een andere hoek [89] .....	100
Figuur 121: Vuforia Chalk <i>Admin Center</i> [89] .....	101
Figuur 122: Vuforia Chalk <i>Admin Center</i> verschillende encryptietypes [89] .....	101
Figuur 123: “CAD Is The Model” <i>toolbar</i> in Emulate3D [75] .....	102
Figuur 124: <i>Physics geometry</i> in Emulate3D [75] .....	102
Figuur 125: Sensoren in Emulate3D [75] .....	103
Figuur 126: Soorten kinematische <i>joints</i> in Emulate3D [75] .....	103
Figuur 127: Soorten motoren in Emulate3D [75] .....	104
Figuur 128: Soorten transportbanden in Emulate3D [75] .....	104
Figuur 129: Soorten motor <i>controllers</i> in Emulate3D [75] .....	104
Figuur 130: Lampen en knoppen toevoegen in Emulate3D [75] .....	105
Figuur 131: Catalogen in Emulate3D [75] .....	106
Figuur 132: Soorten standaard transportbanden in Emulate3D [75] .....	106
Figuur 133: Oppervlak waaraan transportband is toegekend [75] .....	107
Figuur 134: <i>Aspect viewer</i> van een rechte transportband [75] .....	107
Figuur 135: <i>Aspect viewer</i> van een transportbandmotor [75] .....	108
Figuur 136: Schuifdeur van installatie geopend [75] .....	109
Figuur 137: Schuifdeur van installatie gesloten [75] .....	109
Figuur 138: <i>Aspect viewer</i> van een <i>kinematic prismatic joint</i> [75] .....	109
Figuur 139: <i>Aspect viewer</i> van een motor [75] .....	110
Figuur 140: <i>Aspect viewer</i> van een <i>generic controller</i> [75] .....	110
Figuur 141: <i>Aspect viewer</i> van een <i>limit sensor</i> [75] .....	111
Figuur 142: Magnetisch contact van de schuifdeur geopend [75] .....	111

Figuur 143: Magnetisch contact van de schuifdeur gesloten [75].....	111
Figuur 144: <i>Aspect viewer</i> van de <i>mesh physics</i> [75].....	112
Figuur 145: <i>Aspect viewer</i> van de botsingsdetectie [75] .....	112
Figuur 146: Voordeur van het model geopend [75] .....	113
Figuur 147: Groepering van de deur [75].....	113
Figuur 148: <i>Aspect viewer</i> van de <i>kinematic revolute joint</i> [75].....	113
Figuur 149: Stopper die de printplaat tegenhoudt [75].....	114
Figuur 150: <i>Aspect viewer</i> van de <i>actuation controller</i> [75].....	114
Figuur 151: Optische sensoren met laserstraal getekend in CAD [75] .....	115
Figuur 152: <i>Aspect viewer</i> van de cilinder fysica [75] .....	115
Figuur 153: <i>Aspect viewer</i> van de botsingsensor normaal open [75] .....	115
Figuur 154: Drukknoppen van de ETH [75] .....	116
Figuur 155: <i>Aspect viewer</i> van de drukknop [75] .....	116
Figuur 156: <i>Aspect viewer</i> van de indicatorlamp [75].....	116
Figuur 157: Bovenaanzicht Emulate3D [75].....	117
Figuur 158: <i>Aspect viewer</i> van externe drukknoppen [75].....	117
Figuur 159: <i>Load creator</i> op de transportband [75].....	118
Figuur 160: Parameters van de <i>load</i> en <i>load creator</i> [75].....	118
Figuur 161: IO browser in Emulate3D [75] .....	119
Figuur 162: Connecteren met PLC in Emulate3D [75].....	119
Figuur 163: Praktische opstelling PLC en HMI .....	120
Figuur 164: Tekstbestand config.pro voor Emulate3D <i>ribbon</i> in Creo.....	121
Figuur 165: Emulate3D <i>ribbon</i> in Creo [88].....	121
Figuur 166: <i>Add aspect</i> in PTC Creo [88] .....	122
Figuur 167: <i>Kinematic prismatic joint</i> in PTC Creo [88].....	122
Figuur 168: <i>Manage aspects</i> in PTC Creo [88].....	122
Figuur 169: IP-adressen voor de connectie met een PLC op afstand [93] .....	123
Figuur 170: VPN-connectie met een PLC op afstand [93].....	123

## Abstract

De firma IPTE ontwerpt installaties voor het produceren en testen van printplaten. In de huidige situatie wordt een klant met een probleem ondersteund via een combinatie van verschillende communicatietools (telefoon, TeamViewer, ...). Dit vergt veel tijd en kan leiden tot onduidelijkheden. Indien problemen niet opgelost geraken moet een techniker ter plaatse gaan.

Een ander probleem is dat de Covid19-pandemie heeft gezorgd voor een grote verlenging van de leveringstermijn van onderdelen. Hierdoor kan een CAD-ontworpen machine niet gebouwd en getest worden. Deze masterproef zoekt een oplossing om de *remote support* te verbeteren en een methode om pas ontworpen CAD-installaties virtueel te testen.

Eerst is de werking van verschillende softwarepakketten onderzocht voor beide problemen. Hierna is de werking van de geschikte softwarepakketten uitgebreid uitgetest op een installatie van IPTE. Tot slot is een kostenraming uitgevoerd van de softwarepakketten om te controleren of ze rendabel zijn.

Uit de testen is gebleken dat het mogelijk is om de *remote support* te verbeteren via een combinatie van verschillende softwarepakketten. Vuforia Studio laat toe om een applicatie te creëren met duidelijke stappenplannen in AR. Vuforia Chalk is een toepassing waarmee heldere communicatie mogelijk is. Emulate3D kan een virtuele representatie van een fysieke machine maken. Deze kan ook gebruikt worden om een nieuw ontworpen CAD-installatie virtueel te testen. Tot slot blijkt uit de kostenraming dat de softwarepakketten rendabel zijn voor IPTE.





## Abstract in English

The company IPTE designs systems for the production and testing of circuit boards. In the current situation, a customer with a problem is supported via a combination of different communication tools (telephone, TeamViewer, etc.). This requires a lot of time and can lead to confusion. If problems are not solved, a technician has to go on site.

Another problem is that the Covid19 pandemic has greatly extended the delivery period for parts. As a result, a CAD designed machine cannot be built and tested. This thesis tries to find a solution to improve remote support and a method to virtually test newly designed CAD installations.

First, the functioning of different software packages for both problems was investigated. Afterwards, the functionality of the suitable software packages was extensively tested on an installation of IPTE. Finally, an estimation of the costs of the software packages was made to check whether they are profitable.

The tests showed that it is possible to improve remote support through a combination of different software packages. Vuforia Studio allows the creation of an application with clear step by step plans in AR. Vuforia Chalk is an application that enables clear communication. Emulate3D can create a virtual representation of a physical machine. It can also be used to virtually test a newly designed CAD system. Finally, the cost estimate shows that the software packages are profitable for IPTE.



# 1 Inleiding

## 1.1 Situering

De firma IPTE, kort voor *Integrated Production and Test Engineering*, ontwikkelt machines voor de productie, het testen en de behandeling van printplaten. De machines worden gebruikt in verschillende industrieën zoals de automobiel-, telecommunicatie- en (consumenten)elektronicasector. IPTE beschikt over 14 vestigingen verspreid over de hele wereld, met de hoofdzetel in Genk [1].

In de vestiging gelegen te Genk worden de productieprocessen ontworpen en getekend, gaande van *stand-alone units* tot volledig geautomatiseerde productielijnen. Er worden klantspecifieke machines, maar ook gebruiksklare oplossingen gefabriceerd. Ze bieden zowel handmatige, halfautomatische als volautomatische assemblagelijnen aan. Ook bieden ze eindtesten aan voor de laatste stap van een productielijn waar de geassembleerde printplaat getest kan worden [1].

## 1.2 Probleemstelling

Bij IPTE worden gedetailleerde 3D-modellen gecreëerd. Aan deze modellen moet meer toegevoegde waarde gecreëerd worden. Het probleem is dat momenteel weinig digitalisering in de vorm van *virtual* en *augmented reality* aanwezig is bij IPTE terwijl de huidige markt hier wel om vraagt.

Het eerste hoofdprobleem is het verbeteren van de *remote support* vanuit IPTE naar de klant toe. Dit bevat alles wat te maken heeft met het ondersteunen van de klant vanop afstand. Het tweede hoofdprobleem is de aanzienlijke verlenging van de leveringstermijn van onderdelen door de Covid19-pandemie. Beide hoofdproblemen worden hieronder verder verduidelijkt. Het verband tussen de twee hoofdproblemen is het digitaliseren van IPTE d.m.v. *virtual* en *augmented reality*.

### 1.2.1 Verbeteren van de *remote support*

IPTE ondersteunt niet enkel huidige klanten met een probleem, maar biedt ook ondersteuning tijdens het opbouwen en opstarten van een nieuw aangekochte ‘standaard’ machine.

Op dit moment wordt een huidige klant met een probleem ondersteund via een combinatie van allerhande communicatietools (telefoon, TeamViewer, ...). Ten eerste leidt dit in bepaalde gevallen tot onduidelijkheden en daarenboven vergt het veel tijd om het via dergelijke communicatietools uit te leggen. Indien een probleem niet opgelost kan worden d.m.v. *remote support* moet een techniekter ter plaatse gaan. Dit leidt tot een lange productiestop omdat de klant moet wachten tot de techniekter aanwezig is.

Wanneer een klant een nieuwe ‘standaard’ machine koopt zoals de *Easy Test Handler*, weergegeven in Figuur 1, worden techniekters ter plaatse gestuurd om de machine op te bouwen en op te starten. Door deze verplaatsing kunnen kosten (werkuren, hotel, vliegtuig, ...) oplopen tot 5000 euro. De klant kan kiezen om de machine zelf op te starten aan de hand van een handleiding. De huidige handleiding van de *Easy Test Handler* is een uitgebreide handleiding met veel informatie. Veel van deze informatie heeft de klant niet nodig tijdens de opstart van de installatie. Ook is het moeilijk om op basis van foto's, die slechts een 2D-beeld geven, duidelijk te maken welke stappen de klant moet uitvoeren.



Figuur 1: *Easy Test Handler* [2, p. 1]

### 1.2.2 Verlenging van de leveringstermijn

Door de Covid19-pandemie is er een aanzienlijke verlenging van de leveringstermijn van onderdelen. Waar voorheen de leveringstermijn ongeveer twee weken bedroeg, kan dat nu oplopen tot meer dan tien weken. Het gevolg van deze verlengde leveringstermijn van de onderdelen is dat een in CAD ontworpen machine niet gebouwd en getest kan worden.

### 1.3 Doelstelling

De hoofddoelstelling van deze masterproef omvat het onderzoek naar verschillende softwarepakketten. Dit zijn enerzijds softwarepakketten voor het verbeteren van de *remote support* vanuit IPTE naar de klant toe en anderzijds pakketten voor het uitwerken van het virtuele prototype.

#### 1.3.1 Verbeteren van de *remote support*

Een eerste doelstelling is een manier vinden waarbij de klant zelf de opbouw en opstart van een nieuwe machine kan realiseren. De klant moet op een gemakkelijke manier alle informatie krijgen en hiermee zelf in staat zijn om de machine op te bouwen en op te starten. Door een duidelijk stappenplan te voorzien zal er geen support vanuit IPTE nodig zijn voor de klant. Hierdoor zal de machine sneller gebruiksklaar zijn en is er een kosten- en tijdsbesparing voor de klant.

Een tweede doelstelling is een nieuwe manier vinden om direct en duidelijk te kunnen communiceren met de klant wanneer problemen optreden. Deze doelstelling moet tot minder onduidelijkheden leiden en een tijdsbesparing opleveren ten opzichte van de huidige communicatiemethode.

Een derde doelstelling is het opzetten van een *digital twin*. Dit is een digitale representatie van de werkelijke machine. Een *digital twin* moet het mogelijk maken om op een eenvoudige manier fouten in de machine op te sporen zonder ter plaatse te gaan bij de klant.

Voor het onderzoek naar de verschillende softwarepakketten wordt rekening gehouden met de eisen van IPTE zoals vermeld in Tabel 1.

Tabel 1: Eisenpakket *remote support*

<b>Eisenpakket</b>	
Klant kan zelfstandig de nieuwe machine opbouwen en opstarten.	Compatibel met PTC Creo en SolidWorks.
Een duidelijke weergave van het stappenplan om onderdelen van de installatie te vervangen.	Een duidelijke weergave van het stappenplan om een nieuwe installatie op te bouwen en op te starten.
Kostenbesparing voor de klant en IPTE.	Klant kan zelfstanding onderdelen vervangen.
Vereenvoudigt de service interventie en verkort de productiestop.	<i>Realtime</i> monitoren van de installatie.
Mogelijkheid om de installatie in <i>augmented reality</i> te zien.	Documenten toevoegen bij onderdelen.
Duidelijke live digitale communicatie.	Eenvoudig dingen aanduiden tijdens live digitale communicatie.

### 1.3.2 Verlenging van de leveringstermijn

De laatste doelstelling is een softwarepakket vinden waarbij fouten en tekortkomingen gedetecteerd kunnen worden voordat het toestel effectief gebouwd is. Binnen IPTE worden twee CAD-pakketten gebruikt, namelijk PTC Creo en SolidWorks. Er moet een oplossing gevonden worden waarbij de verschillende gedefinieerde bewegingen vanuit beide CAD-pakketten niet verloren gaan.

Voor het onderzoek naar de verschillende softwarepakketten wordt rekening gehouden met de eisen van IPTE zoals vermeld in Tabel 2.

Tabel 2: Eisenpakket *virtual prototype*

<b>Eisenpakket</b>	
Compatibel met PTC Creo en SolidWorks.	Mogelijkheid om een virtueel model te creëren.
Testen kunnen uitgevoerd worden op het virtueel model.	Mogelijkheid om sensoren en actuatoren te definiëren.
PLC-programma's kunnen gesimuleerd worden op het virtueel model.	Gedefinieerde mechanisme uit PTC Creo en SolidWorks blijven behouden.
Levert een tijdsbesparing op voor IPTE doordat achteraf minder tijd moet gestoken worden in het testen van de installatie en het optimaliseren van de installatie.	



## 1.4 Aanpak

Ten eerste wordt een literatuurstudie uitgevoerd naar de verschillende technieken, zoals de verschillende immersieve technologieën, *virtual prototyping* en *digital twin*.

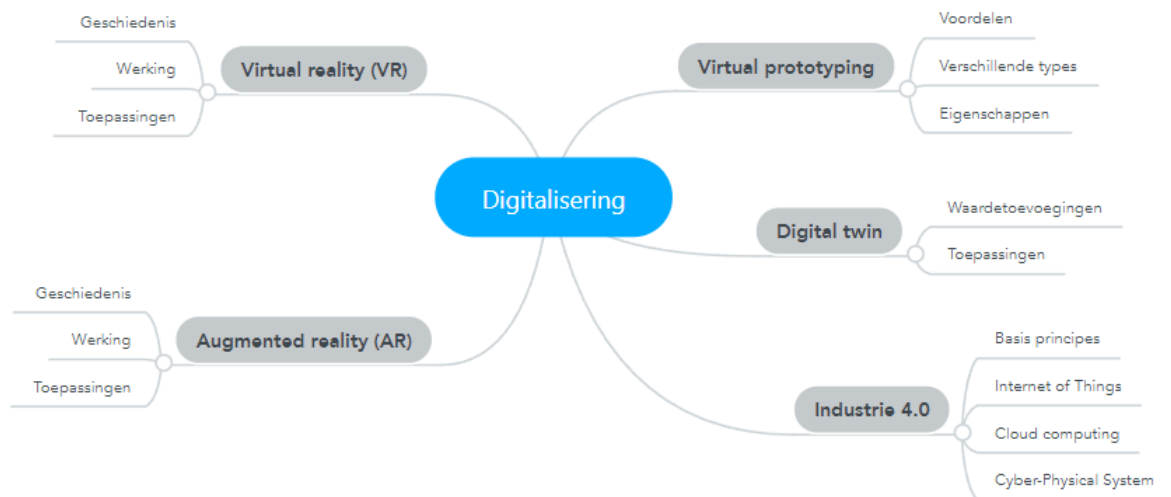
Vervolgens zal aan de hand van bovenstaande eisen van IPTE een onderzoek gestart worden naar geschikte softwarepakketten voor de verschillende doelstellingen. Aangezien bij IPTE CAD-modellen ontworpen worden met PTC Creo en SolidWorks moeten alle gekozen softwarepakketten hiermee kunnen samenwerken. Ook moet rekening gehouden worden met de proeftijd van alle softwarepakketten. Meestal is een gratis proeftijd per softwarepakket van 30 dagen ter beschikking. Deze tijd moet optimaal gebruikt worden om het softwarepakket te testen.

Indien geschikte softwarepakketten gevonden worden voor de verschillende doelstellingen zullen *testcases* uitgevoerd worden voor ieder gevonden softwarepakket. Tot slot wordt een kostenanalyse uitgevoerd voor de geschikte softwarepakketten.

## 2 Literatuurstudie

### 2.1 Inleiding

De literatuurstudie is opgebouwd volgens Figuur 2. Hierin wordt dieper ingegaan op twee immersive technologieën, namelijk: *virtual* en *augmented reality*. *Industry 4.0* verwijst naar de vierde industriële revolutie. Deze vierde industriële revolutie wordt aangedreven door het *Internet of Things* en *Cyber-Physical Systems*. Voorbeelden van *Cyber-Physical Systems* zijn *Virtual Prototypes* en *Digital Twins*.



Figuur 2: Overzicht bronnenstudie [3]

## 2.2 *Virtual reality*

### 2.2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de geschiedenis en toepassingen van *virtual reality* (VR) besproken. “*Virtual reality* is een driedimensionale computer-gegenereerde omgeving waarin gebruikers zich kunnen onderdompelen” [4, p. 18]. Deze virtuele omgeving wordt gerealiseerd door het dragen van een VR-bril. Bij sommige VR-systemen kan de gebruiker zich verplaatsen in de virtuele wereld en handelingen uitvoeren met objecten door middel van controllers of speciale handschoenen. Het hoofddoel van VR-systemen is de gebruiker laten vergeten dat deze in een virtuele wereld is.

Hieronder worden de twee vormen van *virtual reality* beschreven [4].

- **180 of 360 graden-video's**  
Hier zullen video's getoond worden, maar deze zijn niet *realtime* computer gegenereerd. Bij 180 graden-video's heeft de gebruiker een kijkhoek van 180 graden terwijl deze bij 360 graden-video's een kijkhoek heeft van 360 graden.
- **Geanimeerde VR**  
Hier zal de gebruiker een virtuele wereld met meer dynamische interactie ervaren.

### 2.2.2 Werking

*Virtual reality* is een immersieve technologie. Dit is het gevoel van onderdompeling in een kunstmatige omgeving. Het is belangrijk dat de gebruiker gelooft dat de virtuele omgeving de realiteit is. Om dit te realiseren zijn drie aspecten belangrijk: *tracking*, *rendering* en *display*. Als deze drie aspecten niet afgesteld zijn op elkaar dan kan de gebruiker last krijgen van *simulation sickness*. Dit vindt plaats als de sensorïële waarnemingen niet zijn afgeregeld op elkaar [5].

#### 2.2.2.1 *Tracking*

Tijdens de *tracking*-fase worden de lichaamsbewegingen gemeten. Deze worden omgezet naar een x-, y- en z-vector. De gemeten lichaamsbewegingen kunnen zijn: de rotatie van het hoofd, bewegingen van de handen, ... *Tracking* draagt het meest bij tot een realistische ervaring in de virtuele omgeving [5].

#### 2.2.2.2 *Rendering*

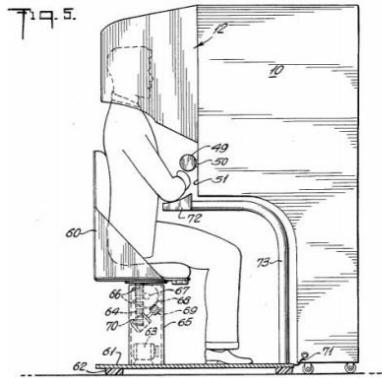
Het 3D-model, dat wordt weergegeven in de virtuele omgeving, wordt gecreëerd tijdens de *rendering*-fase. Als naar een object gekeken wordt uit een specifieke hoek en deze hoek verandert dan moeten de variabelen die het beeld voor de gebruiker creëren ook veranderen [5].

#### 2.2.2.3 *Display*

De gerenderde informatie wordt zichtbaar gemaakt voor de gebruiker via het *display*. De gebruiker kan naar deze informatie kijken via een *head-mounted display* [5].

### 2.2.3 Geschiedenis

Onderzoek naar *virtual reality* begon ongeveer 60 jaar geleden. In het jaar 1962 werd de ‘sensorama’ ontwikkeld door Morton Heilig (zie Figuur 3). Dit is een cabine die de gebruiker toelaat om virtueel motor te rijden. Door dit systeem werden de zintuigen van de gebruiker volledig beïnvloed. Om deze rijervaring zo realistisch mogelijk te maken, maakte het systeem gebruik van 3D-beeld, geluid, wind, trillingen en geuren. De ‘sensorama’ werd gezien als het eerste VR-systeem [6].



Figuur 3: De sensorama door Morton Heilig [6, p. 1263]

In het jaar 1968 vond Ivan Sutherland het ‘Zwaard van Damocles’ uit, dit is de eerste *VR-headset* (zie Figuur 4). Dit was een hele vooruitgang ten opzichte van de ‘sensorama’ van Morton Heilig. Door deze *VR-headset* zal het beeld in de virtuele wereld *realtime* aangepast worden bij een hoofdbeweging van de gebruiker. “Sutherland geloofde dat het ultieme doel van VR was om gebruikers te laten rondlopen in een virtuele omgeving en hen te laten handelen met objecten in de virtuele wereld alsof deze werkelijk bestaan” [4, p. 22].

Deze ontwikkeling ligt aan de basis van de huidige *virtual reality* technologie [4].



Figuur 4: Zwaard van Damocles door Ivan Sutherland [4, p. 23]

In het jaar 1986 werd voor het eerst de term *virtual reality* gebruikt door technologiepionier Jaron Lanier. Dit zorgde ervoor dat boeken, films en conferenties over VR op de markt kwamen. Ook Bedrijven gingen focussen op de VR-technologie.

Door deze ontwikkeling waren de verwachtingen hoog. Er werd voorspeld dat binnen de 5 jaar, 10% van de mensen een VR-bril zou dragen op het openbaar vervoer. Deze voorspelling werd gedaan door Nicholas Negroponte, de oprichter van het MIT Medialab. Achteraf bleek dat het te vroeg was om hier een commercieel product van te maken omdat de technologie nog niet ver genoeg ontwikkeld was. Ook was het niet mogelijk om een vloeiende VR-ervaring te genereren wat leidt tot *simulation sickness*. Hierna werden een lange periode weinig investeringen gedaan naar de technologie, overwegend het Amerikaanse leger en NASA hadden interesse in de technologie.

Pas in de jaren 90 kwam het eerste systeem op de markt dat gericht was op het grote publiek. Deze systemen waren de *WorldToolKit* van Sense8 die in 1992 op de markt kwam en de *Virtual Reality Toolkit* ontwikkeld door Dimension International uit 1993. Deze systemen maakten gebruik van menu's en iconen om te programmeren, hierdoor waren de systemen veel toegankelijker.

De echte vooruitgang kwam door de invloed van smartphones. Deze gebruikt technologieën die ook gebruikt worden in *VR-headsets* zoals: hoge kwaliteit *displays*, gyroscopen en accelerometers. Hierdoor is ook de VR-technologie drastisch verbeterd, maar ook de kosten zijn enorm gedaald. Er zijn ook allerlei attributen die gebruikt kunnen worden in combinatie met een *VR-headset* zoals bijvoorbeeld VR-handschoenen, deze zijn te zien op Figuur 5 [4], [5].



Figuur 5: VR-handschoen [4, p. 25]

## 2.2.4 Toepassingen

Hieronder worden enkele mogelijke toepassingen van VR beschreven.

- **Medische toepassingen**

Wanneer een patiënt langere tijd in het ziekenhuis moet verblijven zal het gebruik van *virtual reality* de gemoedstoestand, pijn, angst en stress positief beïnvloeden. Dit komt doordat de patiënt afleiding heeft, maar het kan ook gebruikt worden voor een levensecht contactmoment met hun naasten [7].

*Virtual Reality* kan ook gebruikt worden voor geestelijke gezondheidszorg. Deze vorm wordt *virtual reality exposure therapy* (VRET) genoemd. Denk bijvoorbeeld aan het behandelen van PTSS en angststoornissen. Tijdens deze therapie sessies zal de patiënt blootgesteld worden aan een traumatische situatie [8].

- **Vliegtuig- en rijsimulaties**

Piloten kunnen leren vliegen door middel van *virtual reality*. Omdat deze in een virtuele wereld zitten kan iedere mogelijke situatie gesimuleerd worden. Wanneer de piloot een fout maakt zal dit niet leiden tot kosten of mensenlevens. Gelijkaardig kunnen rijsschoolsimulaties gebeuren onder alle mogelijke omstandigheden (regen, sneeuw, files, ...) [9].

- **Chirurgische simulaties**

Omdat bij chirurgische operaties één fout kan leiden tot de dood van de patiënt, kan *virtual reality* hier ook een oplossing bieden. Virtueel kan de chirurg verschillende operaties op verschillende patiënten uitoefenen. Het hoeft niet zomaar een willekeurige patiënt te zijn maar het kan ook een 3D-model zijn van de ingeplande patiënt [9].

- **Visualisatie**

Door middel van *virtual reality* kunnen objecten, die aanwezig zijn in de echte wereld, overgenomen worden in een virtuele wereld. Zo kan de gebruiker een historisch gebouw virtueel bezoeken zonder daadwerkelijk aanwezig te zijn in dit gebouw. Historische personages kunnen ook mee overgenomen worden [9].

- **Gaming**

Bij *VR-games* zal de gebruiker actief moeten meespelen in het spel (zie Figuur 6). Hierbij zijn de lichaamsbewegingen en oriëntatie van de gebruiker belangrijk. Uit een marktstudie van Juniper blijkt dat in 2023 de *VR-game*-industrie een omzet van 8,2 miljard dollar verwacht [4].



Figuur 6: VR *lightsaber* spel [10]

## 2.2.5 De gevaren van *virtual reality*

Hieronder zijn de gevaren van *virtual reality* volgens [4] beschreven (zie Figuur 7).

- **Lichamelijke en mentale gevaren**

Er is een kans op verslaving. Gebruikers kunnen zich hechten aan het virtueel personage en aan de VR-wereld. Hierdoor ontstaat een kans dat het contact met de realiteit verloren gaat. Zo kunnen sommige personen moeilijk een onderscheid maken tussen de virtuele wereld en de werkelijke wereld.

- **Sociale gevaren**

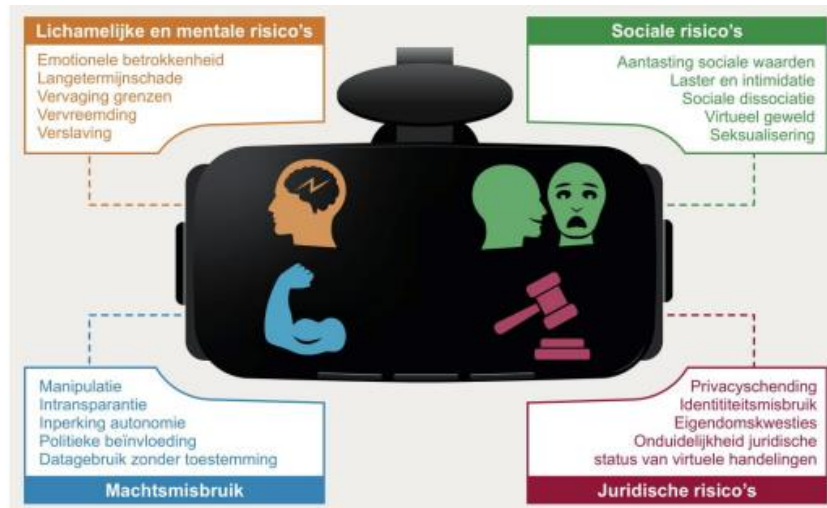
Agressieve en seksuele beelden kunnen leiden tot grensoverschrijdend gedrag in de werkelijke wereld.

- **Machtsmisbruik**

Bij *virtual reality* kan allerlei biometrische data verzameld worden. Dit kan voor de makers inzicht geven in iemand zijn gedrag, persoonlijkheid, ... Hiermee kunnen de makers gerichte reclame aanbieden aan de gebruiker. Ook kan er een politieke voorkeur opgedrongen worden in de virtuele wereld.

- **Juridische gevaren**

Juridisch zit *virtual reality* in een grijs gebied. Is er privacy in de virtuele wereld?



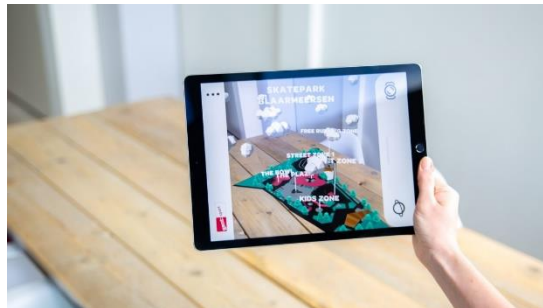
Figuur 7: Gevaren van VR [4, p. 7]

## 2.3 *Augmented reality*

### 2.3.1 Inleiding

*Augmented reality* (AR) is het combineren van de reële wereld en de virtuele wereld zoals te zien in Figuur 8. Met andere woorden het uitbreiden van het beeld van de echte wereld met een virtueel beeld dat extra informatie bevat. Er wordt door een computer een extra laag informatie gelegd op de werkelijke wereld. De virtuele objecten kunnen zijn: tekst, foto's, video's, geluiden, 3D-modellen en animaties. Een AR-systeem is complexer dan een VR-systeem, het toont minder virtuele beelden maar moet vaker verversen. Ook moeten de beelden vaker gesynchroniseerd worden waarbij de vertraging minimaal moet zijn. AR-systemen laten interacties in *realtime* toe en volgen zowel de echte als de virtuele objecten in de omgeving.

Het doel van *augmented reality* is het verbeteren van de waarneming en de doeltreffendheid van de gebruiker door deze te verrijken met extra informatie [9], [11].



Figuur 8: Voorbeeld van *augmented reality* [12]



### 2.3.2 Geschiedenis

In het jaar 1992 ontstaat de term *augmented reality*. “Tom Caudell en David Mizell gebruiken de term *augmented reality* voor de laag van door de computer gegenereerde beelden over de werkelijke wereld”[9, p.56]. In dit jaar vond Louis Rosenberg ook de *Virtual fixtures* uit (zie Figuur 9), dit is het eerste AR-systeem. Dit systeem laat de gebruiker robotarmen zien in plaats van zijn echte armen. Wanneer de gebruiker zijn armen beweegt, bewegen de robotarmen mee [13], [14].



Figuur 9: *Virtual fixtures* van Louis Rosenberg [14]

In de jaren 1997-1999 was er een grote ontwikkeling van draagbare systemen voor GPS en *augmented reality*. In deze periode wordt AR vooral gebruikt voor navigatie in de openlucht. In het jaar 1999 werd ARToolKit ontwikkeld wat tot op de dag van vandaag wordt gebruikt. Deze tool laat de gebruiker toe om AR-apps te creëren [13].

In het jaar 2000 ontstonden de eerste *AR-games* waaronder AR-Quake zoals te zien in Figuur 10 en Figuur 11 [15].



Figuur 10: AR-Quake [15]



Figuur 11: AR-Quake *graphics* [15]

Tijdens de begin jaren 2000 was er een grote doorbraak van mobiele AR. Rond het jaar 2007 begon het adverteren met behulp van AR-apps op te bloeien. In 2008 werden voor het eerst QR-codes gebruikt in tijdschriften om iets tot leven te laten komen op de bladzijde. In het jaar 2009 is de *browser layer* ontstaan, dit laat de gebruiker toe om een visuele laag over de werkelijkheid heen te zien op een mobiele telefoon [13].

Vanaf het jaar 2010 krijgt AR een grote doorbraak. Dit is mede mogelijk gemaakt door de ontwikkeling van smartphones. Omdat smartphones beschikken over GPS, gyroscoop en kompas zijn deze ideaal voor op *layer* gebaseerde AR [13].

### 2.3.3 Werking

De basisvereisten van *augmented reality* volgens [16] zijn:

- er moet een camera aanwezig zijn om de fysische wereld te filmen;
- er moet voldoende opslag zijn voor de virtuele objecten;
- de processor moet krachtig genoeg zijn om de virtuele objecten op de fysische wereld te zetten;
- een interface moet aanwezig zijn zodat de gebruiker kan communiceren met de virtuele objecten.

Dit zijn de basisvereisten. Om de *augmented reality* ervaring uit te breiden kunnen andere technologieën worden toegevoegd. Volgens [13] zijn deze technologieën:

- GPS-systeem,
- afbeelding herkenningsoftware,
- luidsprekers en een microfoon,
- internet toegang,
- intuïtieve interface zoals een *touchscreen*.

### 2.3.4 Apparaten

Volgens [13] kan AR bekeken en afgespeeld worden met de volgende apparaten:

- smartphone,
- tablet,
- brillen (HoloLens, RealWear, ...).

### 2.3.5 Toepassingen

Hieronder worden enkele toepassingen van AR beschreven.

- **Entertainment**  
AR wordt gebruikt voor games zoals het beroemde spelletje Pokémon Go (zie Figuur 12) [17].



Figuur 12: Pokémon Go in *augmented reality* [17]

- **Medisch**  
AR wordt ook steeds vaker toegepast tijdens chirurgische operaties. Zo kunnen de inwendige organen van de patiënt op het huidoppervlak geprojecteerd worden. Dit helpt de chirurg de exacte plaats van organen te bepalen. Hierdoor zullen operaties efficiënter en veiliger plaats vinden [11].
- **Opleidingen**  
*Augmented reality* wordt ook vaak gebruikt voor opleidingen. Dit kan gaan om reparaties te oefenen die plaats vinden op moeilijk begaanbare plaatsen zoals: in de zee, in de ruimte, nucleaire omgeving, ... [16].
- **Service**  
Een ingenieur of reparateur kan informatie krijgen zoals temperatuur, levensduur, ... van de verschillende onderdelen van een machine. Ook kunnen instructies weergegeven worden voor de assemblage van een machine [9].
- **Navigatie**  
Tijdens het autorijden kan AR nuttig zijn voor navigatie. Zo kunnen weg- en weeromstandigheden geprojecteerd worden op de voorruit die de chauffeur van extra informatie voorzien, zoals te zien op Figuur 13 [9], [18].



Figuur 13: AR-navigatie in een auto [18]

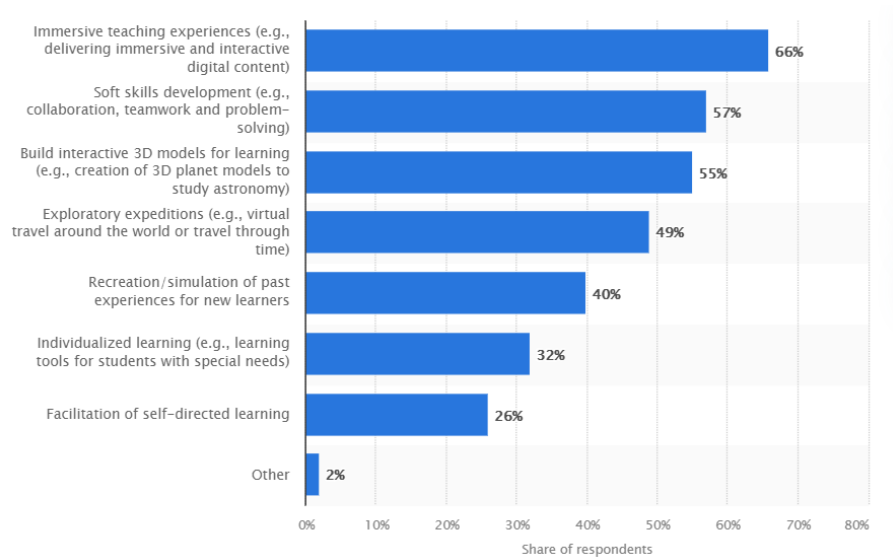
- **Reclame**  
AR wordt gebruikt voor reclame in verschillende sectoren. Bijvoorbeeld: wanneer de gebruiker speciale sokken met een QR-code draagt en deze scant met zijn smartphone, kan de gebruiker schoenen passen. De kleur, het model en accessoires kunnen gemakkelijk veranderd worden. Hierdoor kan de gebruiker zijn geschikte maat vinden en schoenen bestellen zonder daadwerkelijk in de winkel te zijn [9].

### 2.3.6 Resultaten

Wanneer AR-technologie wordt toegepast in een industriële omgeving zal dit meetbare resultaten opleveren. Er zal een verbetering tot 40% zijn van de productiviteit van de medewerkers. Ook zal er een verbetering tot 30% zijn in de *first time fix rate*. De verkoopcyclus zal tot 30% versnellen. Omdat de werknemers stap per stap instructies via AR krijgen zullen de opleidingskosten tot 50% verlagen. De schroot- en herbewerkingskosten zullen verminderen tot 25% [19].

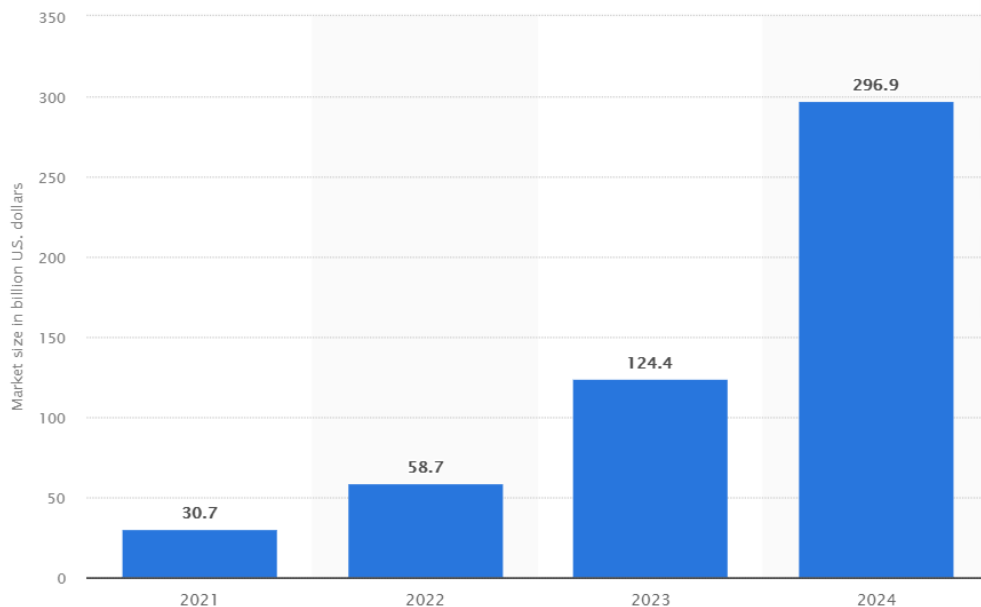
## 2.4 Toekomstvisie VR en AR

Figuur 14 geeft weer hoe toepassingen van *augmented reality* en *virtual reality* in 2024 verdeeld zullen zijn in de onderwijssector [20].



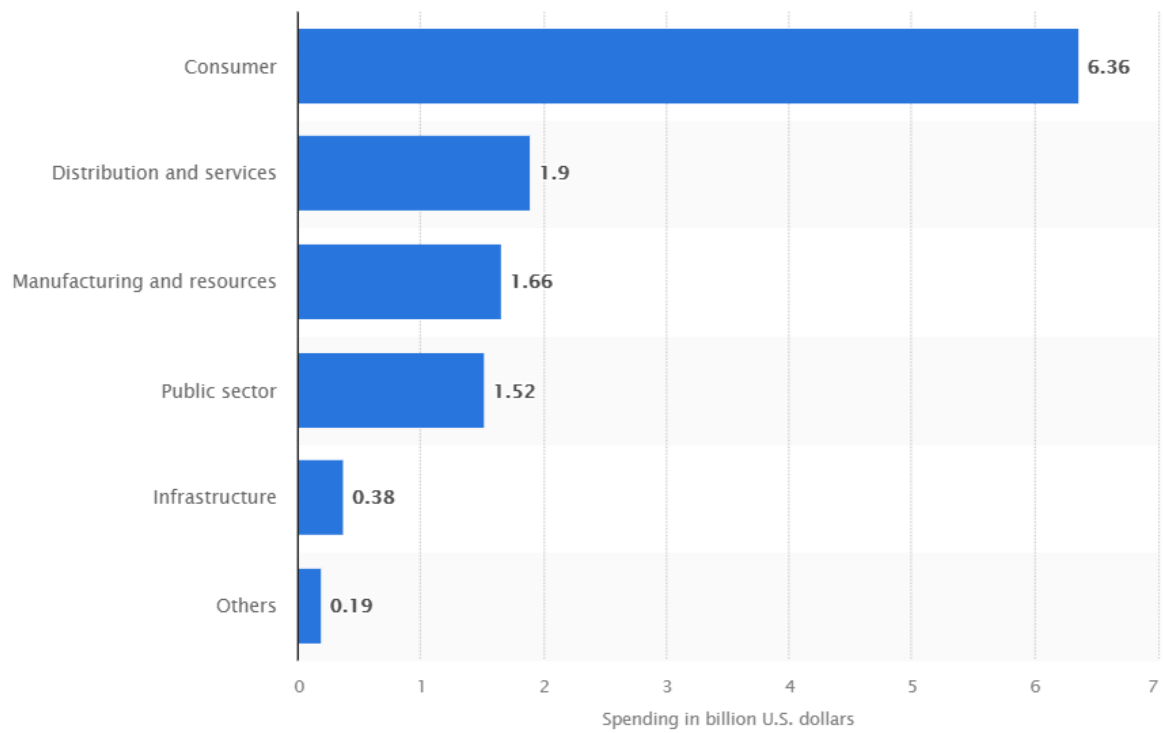
Figuur 14: Immersieve technologieën in de onderwijssector [20]

In Figuur 15 is te zien hoe groot het marktaandeel van *augmented reality* en *virtual reality* zal toenemen tot 2024. Het marktaandeel in 2024 zal stijgen met een factor 9 t.o.v. 2021 [21].



Figuur 15: Toekomstvoorspelling marktaandeel van immersieve technologieën [21]

In Figuur 16 is het marktaandeel van *virtual reality* en *augmented reality* te zien per sector in 2021. Hierin is duidelijk zichtbaar dat de consumentensector het grootste marktaandeel heeft [22].



Figuur 16: Marktaandeel AR en VR per sector in 2021 [22]

## 2.5 *Virtual prototyping*

### 2.5.1 Inleiding

*Virtual prototyping* is het creëren van een virtueel prototype van het toekomstig product. Een virtueel prototype wordt gebruikt tijdens de ontwikkelingsfase. Dit prototype wordt gebruikt voor het simuleren van de werking van het product. Hierdoor kunnen fouten en tekortkomingen gedetecteerd worden voordat het product daadwerkelijk gemaakt wordt [23].

De basis van een virtueel prototype is het 3D CAD-model. Aan de hand van dit model en simulatieresultaten zoals eindige elementen analyses en kinematische berekeningen, gecombineerd met informatie over de materialen, toleranties, ... kan een virtueel prototype gecreëerd worden met realistische resultaten [23].

### 2.5.2 Voordelen

De voordelen volgens [24] zijn:

- vermindering in de ontwikkelingstijd van het product;
- kostenbesparing omdat er door het virtueel prototype minder fysieke prototypes nodig zijn;
- kwaliteit van het product zal verhogen.

### 2.5.3 Types *virtual prototyping*

De verschillende soorten *virtual prototyping* worden hieronder beschreven [23].

- **Visuele prototypes**  
Hier wordt uiterlijk, kleur en oppervlaktestructuur van het gewenste product bekeken. Hier wordt geen rekening gehouden met de functies.
- **Vorm prototypes**  
Dit wordt gebruikt om de ergonomie van het gewenste product te beoordelen. Hier wordt enkel de vorm van het product gesimuleerd.
- **Functionele prototypes**  
Tijdens deze fase wordt de functionaliteit van het product getest.
- **Volledige fysische prototypes**  
Hier wordt het uiteindelijke ontwerp getest. Er wordt gekeken naar de volledige functionaliteit, vorm en het visuele aspect. Dit is een werkend prototype.

#### 2.5.4 AR en VR in *virtual prototyping*

*Virtual prototyping* is gebaseerd op het gebruik van *virtual* en *augmented reality*. *Virtual reality* is een computer gesimuleerde omgeving die plaatsen en objecten kan simuleren. Deze gesimuleerde omgeving kan verschillen van de werkelijkheid, zoals in *VR-games*. Deze gesimuleerde omgeving kan echter ook gelijk zijn aan de fysische wereld. Dit laatste principe wordt gebruikt bij *virtual prototyping*. Deze simulatie vindt plaats op basis van eindige elementen principes. *Augmented reality* wordt gebruikt om foto's of opnames van de echte fysische wereld in te voegen bij het virtuele model. AR kan het virtuele model en de werkelijke wereld perfect uitlijnen op elkaar. Door *augmented reality* en *virtual reality* te combineren kan een optimaal virtueel prototype gemaakt worden [23].

#### 2.5.5 Eigenschappen

Hoe goed en betrouwbaar een virtueel prototype is, hangt af van verschillende eigenschappen. Hieronder staan de belangrijkste eigenschappen volgens [23].

- **Getrouwheid**  
Deze eigenschap definieert hoe betrouwbaar het virtueel prototype is. Dit wordt ook *fidelity* genoemd. De ontwerper kiest zelf het *fidelity*-niveau.
- **Compleetheid**  
Dit kenmerk geeft aan hoe compleet het virtueel prototype is. Het virtueel prototype kan ook gemaakt worden van een deel van het ontwerp.
- **Flexibiliteit**  
Dit identificeert hoe gemakkelijk veranderingen van het ontwerp te implementeren zijn in het virtueel prototype.
- **Complexiteit**  
Deze eigenschap geeft de complexiteit weer om het virtueel prototype te ontwikkelen. Dit is afhankelijk van de VR/AR-technologieën die worden gebruikt.



## 2.6 *Digital twin*

### 2.6.1 Inleiding

Een *digital twin*, ook een digitale tweeling genoemd, is een virtuele representatie van een fysiek model. Wanneer een aanpassing plaatsvindt in de echte wereld wordt de digitale tweeling automatisch geüpdatet. Het virtueel model past zich continu aan op basis van *realtime* gegevens van sensoren uit het fysiek model. Het virtuele model kan de toekomst voorspellen van het fysieke model door middel van artificiële intelligentie. Een *digital twin* kan voor verschillende toepassingen worden gebruikt, namelijk: simulatie, productontwerp, controle en optimalisatie en het onderhoud [25].

Een *digital twin* bestaat volgens [25] uit 3 belangrijke elementen:

- een fysiek product in de werkelijke omgeving;
- een virtueel product in de virtuele omgeving;
- de fysieke en virtuele omgeving met elkaar verbinden.

### 2.6.2 Waardetoevoegingen

De waardetoevoegingen van een *digital twin* volgens [26] zijn hieronder beschreven.

- **Realtime monitoren en regelen vanop afstand**  
Het *realtime* monitoren van een groot fysiek model is bijna onmogelijk. Een digitale tweeling daarentegen laat monitoring en regeling vanop afstand makkelijk toe.
- **Predictief onderhoud**  
Storingen in het systeem zullen veel eerder opgespoord worden. Hierdoor is het plannen van onderhoud gemakkelijker.
- **Risicobeoordeling**  
Een digitale tweeling maakt het mogelijk om verschillende wat-als-analyses te simuleren. Bij deze simulaties zal het systeem aan onverwachte scenario's blootgesteld worden. Hierdoor kan men bestuderen hoe het systeem op deze scenario's reageert en bijhorende risicobeperkingsstrategieën treffen. Dit maakt een betere risicobeoordeling mogelijk.
- **Betere communicatie en documentatie**  
Door de beschikbare informatie in *realtime* in combinatie met geautomatiseerde verslaggeving zullen belanghebbenden beter op de hoogte gehouden worden.
- **Personalisatie van producten**  
Tegenwoordig stijgt de vraag naar op maat gemaakte producten en diensten. Een digitale tweeling maakt het mogelijk om sneller te schakelen bij veranderende behoeften.

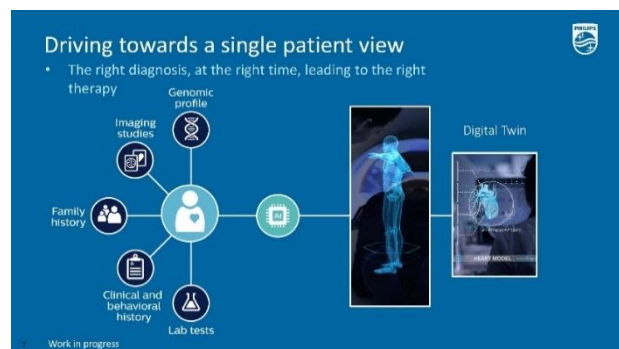
### 2.6.3 Toepassingen

Hieronder worden enkele toepassingssectoren van een *digital twin* beschreven.

- **Gezondheidszorg**

Er kan via verschillende scans (MRI, CT, ...) en proeven een 3D-model van een patiënt gemaakt worden (zie Figuur 17). Hierna kan een *digital twin* gemaakt worden van bijvoorbeeld het hart van een patiënt dat er hetzelfde uitziet en hetzelfde werkt als het echte hart. Zo kunnen simulaties worden toegepast op het virtuele hart en kan gecontroleerd worden hoe het reageert op medicijnen, cardio, ...

De arts kan ook op het virtuele model verschillende operaties uitvoeren en kijken welke het beste resultaat geeft. Wanneer de echte operatie wordt uitgevoerd zullen de veranderingen *realtime* naar het virtuele hart doorgestuurd worden [25].



Figuur 17: *Digital twin* van een patiënt [27]

- **Machinebouw**

Van een echte machine kan ook een *digital twin* gemaakt worden. Hierdoor kunnen door middel van simulaties en gegevens van de echte machine testen uitgevoerd worden op het virtueel model voordat de productie effectief begint [25].

- **Onderhoud**

Alle informatie wordt bijgehouden door de *digital twin*. Hierdoor is predictief onderhoud mogelijk. Er kan op de *digital twin* worden gekeken wanneer onderhoud moet plaatsvinden. Dit is een voordeel omdat hierdoor geen onnodige uitvallen zullen zijn [25].

- **Performance optimalisatie**

De *digital twin* kan een optimale set parameters voorzien. Hierdoor is het mogelijk om het proces te optimaliseren. Bijvoorbeeld, NASA past dit toe om de veiligheid en betrouwbaarheid van een ruimtevaartuig te optimaliseren [26], [28].

## 2.7 Industrie 4.0

### 2.7.1 Inleiding

Industrie 4.0 is de vierde industriële revolutie. Dit houdt het digitaliseren en automatiseren van fabrieken tot een intelligent fabricageconcept in waardoor ze kostenefficiënter, flexibeler en productiever worden. De fysieke en virtuele wereld komen hier steeds dichterbij elkaar. Objecten en machines worden voorzien van sensoren en actuatoren zodat deze op elk moment kunnen worden geïdentificeerd en gelokaliseerd in het productieproces. Intelligente fabricage zal gebruik maken van concepten zoals het *Internet of Things (IoT)*, *cloud computing*, *Cyber-Physical Systems (CPS)* en/of *edge computing*. Door deze intelligente fabricage kunnen bedrijven makkelijker aan dynamische klanteneisen met een hoge variabiliteit voldoen en dit zelfs bij kleinere lotgrootten [29].

### 2.7.2 Basisprincipes

Industrie 4.0 bestaat volgens [30] uit zes basisprincipes die worden gebruikt door ontwikkelaars, deze worden hieronder opgesomd.

- **Interoperabiliteit**  
Interoperabiliteit is het verbinden, communiceren en samenwerken van alle machines/onderdelen via het *Internet of Things*. Het productieproces volgt niet zomaar een vooraf bepaalde set van stappen. Interoperabiliteit vereist een vloeiende interactie en een flexibele samenwerking tussen alle machines/onderdelen.
- **Virtualisatie**  
Industrie 4.0 zal gebruik maken van een *digital twin* van de volledige fabriek om bestaande processen en producten aanzienlijk te verbeteren.
- **Decentralisatie**  
Decentralisatie maakt het mogelijk om de verschillende processen zelf beslissingen te laten nemen, zonder af te wijken van het pad naar het doel.
- **Realtime**  
Alle data moet *realtime* beschikbaar zijn en verwerkt worden. Dit wil zeggen dat er interactie plaatsvindt zonder vertragingen of wachttijden.
- **Preventief onderhoud**  
Preventief onderhoud kan in industrie 4.0 op voorhand bepaald worden. Dit verkort onnodig uitvallen van machines en zorgt voor een efficiënter proces.
- **Modulair**  
Flexibiliteit is een belangrijk aspect van industrie 4.0, zo kan het proces gemakkelijk aangepast worden bij veranderende omstandigheden of eisen. Door bijvoorbeeld modulaire transportbanden te ontwerpen kan een productieproces snel aangepast worden.

### 2.7.3 *Internet of Things*

Het *Internet of Things (IoT)* omvat alle objecten die verbonden kunnen worden met een internetnetwerk en gegevens kunnen uitwisselen via dit netwerk. Eerst werd RFID als dominante technologie gebruikt bij *IoT*. RFID-tags, wat staat voor ‘radio-frequency identification’ maken het mogelijk voor producten om intelligent te zijn. Een RFID-tag zendt een nummer uit dat is opgeslagen in een database. In deze database is het mogelijk om informatie over het product op te slaan en op te daten. Zo is de huidige staat van de producten gekend en de toekomstige processen om het gewenste product te bereiken. De kennis van het product wordt gecombineerd met de kennis van het productieproces en zo kunnen alternatieve routes gevolgd worden in het productieproces. Later werden draadloze sensor netwerken en bluetooth apparaten de dominante technologie binnen *IoT* [29], [31].

Er is een verschil tussen *IoT* en *IIoT*. Deze laatste term staat voor *industrial Internet of Things* en houdt het koppelen en uitwisselen van gegevens van industriële toestellen over het internet in. Ook het analyseren van grote hoeveelheden data en *machine learning* zijn grote onderdelen van *IIoT*. *IIoT* laat het toe om fouten sneller te detecteren en op te lossen, maar ook om het productieproces efficiënter te laten verlopen [29], [31].

#### 2.7.4 *Cloud computing*

*Cloud computing* is het aanbieden van computingservices, inclusief servers, databases, software, opslag, analysefuncties en intelligentie via het internet (= de *cloud*). Er zijn drie verschillende types om cloudservices te implementeren afhankelijk van wie de eigenaar van de *cloud* is [32], [33].

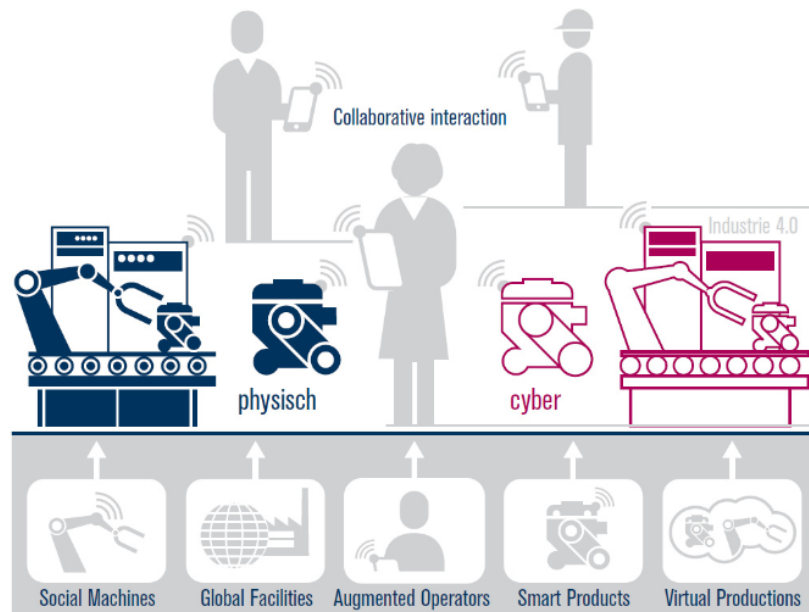
- **Openbare cloud**  
Alle hardware en software is het eigendom van de cloudprovider zelf. Deze computingservice wordt geleverd via het internet.
- **Privécloud**  
Deze *clouds* worden door een cloudserviceprovider geleverd aan een firma of een organisatie. Deze privécloud is aanwezig bij de organisatie zelf of bij de cloudserviceprovider.
- **Hybride cloud**  
Dit is een combinatie van één of meerdere openbare- en privéclouds.

De verschillende *cloudcomputingservices* worden in drie categorieën onderverdeeld.

- **Infrastructure as a Service (IaaS)**  
Via een cloudprovider wordt een IT-infrastructuur (servers, opslag, netwerken, ...) gehuurd. De cloudprovider wordt betaald afhankelijk van het gebruik.
- **Platform as a service (PaaS)**  
Via deze service wordt een omgeving geleverd voor het ontwikkelen, testen, beheren en leveren van softwaretoepassingen. Hierdoor hoeft de klant zich niet bezig te houden met het opzetten en beheren van de onderliggende infrastructuur die nodig is voor de ontwikkeling van deze toepassing.
- **Software as a Service (SaaS)**  
Deze service bestaat uit de levering van softwaretoepassingen via het internet. De cloudproviders zijn in staat deze softwaretoepassingen te hosten en te beheren. De gebruikers kunnen via een webbrowser op een smartphone, tablet of pc-verbinding maken met deze softwaretoepassing.

### 2.7.5 Cyber-Physical System

Een *Cyber-Physical System* is een combinatie van een mechanische/elektrische component en een softwarecomponent, zoals te zien in Figuur 18. Aansturing, bewaking, gegevensoverdracht en gegevensuitwisseling gebeuren in *realtime* via het internet. In de maakindustrie wordt gesproken over *Cyber-Physical Production Systems (CPPS)*. Een voorbeeld van een *CPPS* kan een bestaande machine zijn, waarvan een virtueel model gemaakt wordt. Door gegevens van sensoren van de machine te gebruiken in de virtuele machine kan deze virtuele machine bepaalde zaken opvolgen/simuleren [29].



Figuur 18: *Cyber-Physical System* [29]

## 2.8 Conclusie

Uit de literatuurstudie blijkt dat *virtual reality* en *augmented reality* in verschillende sectoren toepasbaar zijn. In de toekomst zal het marktaandeel van deze immersieve technologieën fors stijgen. *Virtual reality* is enkel via een *head-mounted display* waarneembaar terwijl *augmented reality* waarneembaar is via verschillende apparaten, namelijk: smartphone, tablet, speciale AR-brillen. Het toepassen van AR-technologie in een industriële omgeving zal een verbetering tot 40% opleveren van de productiviteit van de medewerkers, de *first time fix rate* zal verbeteren tot 30%. De opleidingskosten zullen dalen tot 50% omdat de werknemers stap per stap instructies krijgen.

Industrie 4.0 houdt het digitaliseren van fabrieken in. Fabrieken zullen virtuele prototypes en *digital twins* opzetten. Door het opzetten van een virtueel prototype zal er een vermindering zijn in de ontwikkelingstijd van het product. Ook zal er een kostenbesparing zijn omdat minder fysieke prototypes nodig zijn en de kwaliteit van het product zal verhogen. Het opzetten van een *digital twin* laat *realtime* monitoring toe. Ook kan aan de hand van een *digital twin* gemakkelijk onderhoud gepland worden en kunnen fabrieken sneller schakelen bij veranderde behoefte van de klant.

## 3 Onderzoek naar softwarepakketten

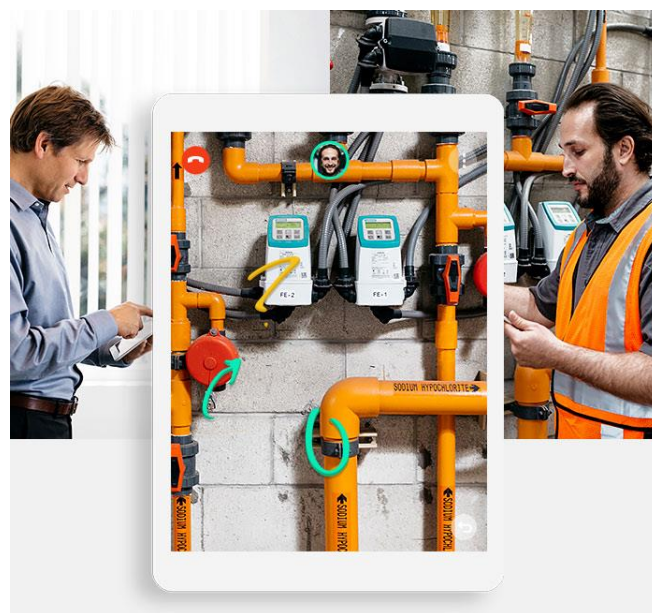
### 3.1 Inleiding

Op basis van de probleemstellingen en de doelstellingen is er gezocht naar geschikte softwarepakketten. In dit topic wordt gezocht naar relevante informatie, toepassingen en functies van verschillende softwarepakketten.

### 3.2 PTC Vuforia Chalk

Vuforia Chalk is een softwarepakket van PTC en laat video- en audiocommunicatie tussen de klant en het bedrijf toe. Door dit softwarepakket kunnen problemen vanop afstand opgelost worden. De klant filmt zijn machine en het bedrijf kan aantekeningen maken op het scherm en tegelijkertijd instructies geven via de audioverbinding (zie Figuur 19). De klant kan ook aantekeningen maken op het scherm indien er onduidelijkheden optreden. Het beeld kan gepauzeerd worden om gemakkelijker aantekeningen te maken. Deze aantekeningen blijven dankzij *computer vision* technologie bij het bijhorende onderdeel staan, ook wanneer de camera gedraaid wordt. Wanneer de klant zich in een donkere omgeving bevindt, kan de techniek de zaklamp vanop afstand aanzetten. Indien het bedrijf dit toelaat kunnen er foto's gemaakt worden tijdens de sessie voor toekomstige trainingsdoeleinden of als bewijs van onderhoud [34], [35].

Vuforia Chalk is compatibel met iOS, Android en Windows. De klant kan de software gemakkelijk en gratis downloaden via de App Store of Google Play Store. Het bedrijf moet een licentie van dit softwarepakket kopen. In de Vuforia Chalk app is een code te zien, het bedrijf wisselt deze code uit met de klant waardoor een veilige verbinding tot stand gebracht wordt. Hierbij gaat geen data naar een *cloud* of server, alle data is *end-to-end* versleuteld. In een sessie kunnen tot 5 deelnemers toegevoegd worden [35].



Figuur 19: Vuforia Chalk voorbeeld [36]



Er is een mogelijkheid om een gratis 30 dagen proefperiode aan te vragen voor Vuforia Chalk. In deze proefversie zijn dezelfde functies beschikbaar als in de commerciële versie. Hierdoor is de proefversie een goede manier om de werking en alle functies van het programma te testen [35].

De technische vereisten van Vuforia Chalk vermelden dat de softwareversie van het mobiel apparaat minimaal iOS 11 of Android 6.0 moet zijn. Dit is mogelijk voor de meeste apparaten die niet ouder zijn dan ongeveer 4 jaar. Vuforia Chalk is beschikbaar in een groot deel van Europa, Amerika en Azië. Voor de beste videokwaliteit is een internetsnelheid van 2 Mbps aangeraden, de minimaal vereiste internetsnelheid is 500 Kbps. Bij de aanschaf van Vuforia Chalk moet met deze technische eisen rekening gehouden worden (zie Figuur 20) [35].

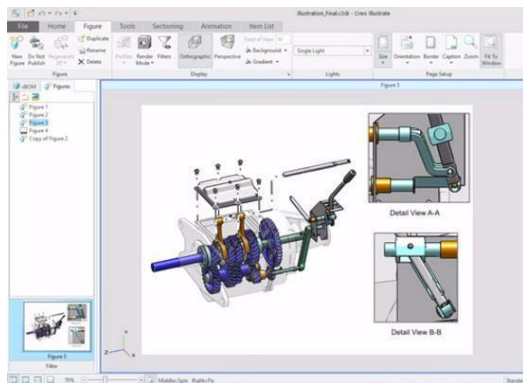
Technical Requirements (June 2018)	
Supported Devices	<b>iOS 11 or better:</b> iPhone 6s, iPhone 6s Plus, iPhone SE, iPhone 7, iPhone 7 Plus, iPhone 8, iPhone 8 Plus, iPhone X, iPad (5th generation), 9.7-inch iPad Pro, 10.5-inch iPad Pro, 12.9-inch iPad Pro  <b>Android 6.0 or better:</b> Samsung Galaxy S7, Samsung Galaxy S7 Edge, Samsung Galaxy S8/S8+, Samsung Galaxy S9/S9+, Samsung Galaxy Note 8.  <i>Coming Soon: Google Pixel 1,2</i>
App Store Markets	Australia, Austria, Belgium, Brazil, Canada, Denmark, France, Germany, India, Italy, Japan, Korea, Mexico, Netherlands, Singapore, Spain, Sweden, Switzerland, Taiwan, UK, US
Network Connectivity	2.0 Mbps recommended for best video quality on local capture device. 500 Kbps minimum

Figuur 20: Technische vereisten Vuforia Chalk [35]

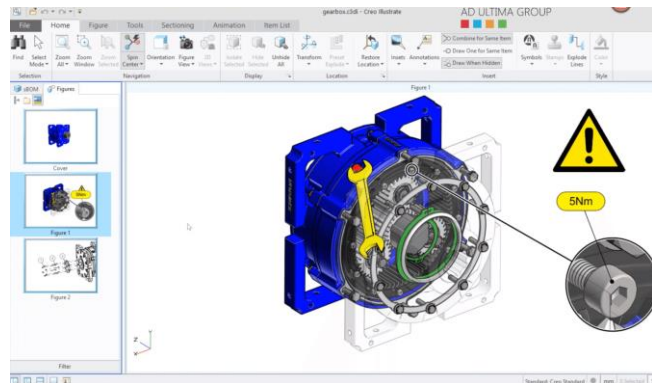
Door middel van deze duidelijke communicatietechnologie kan stilstand gereduceerd worden. De expert kan vanop afstand snel de techniker duidelijk maken welke handelingen uitgevoerd moeten worden. Ook is er een reductie in reiskosten doordat de techniker niet ter plaatse moet gaan en zal de klanttevredenheid stijgen.

### 3.3 PTC Creo Illustrate

Creo Illustrate is een softwarepakket van PTC dat CAD-bestanden van PTC Creo kan inladen. In Creo Illustrate is het mogelijk om dingen visueel zichtbaar te maken op een 3D-model van PTC Creo. Er kunnen onderdelen *highlight* worden, schroevendraaiers geanimeerd worden, onderdelen verplaatst worden, ... Het is mogelijk om technische 3D-animaties te maken, maar ook 2D-tekeningen. Deze 3D-animaties of 2D-tekeningen kunnen ondersteuning bieden tijdens de assemblage, de verkoop, de installatie en het onderhoud. Enkele voorbeelden van de mogelijkheden van Creo Illustrate zijn terug te vinden in Figuur 21 en Figuur 22 [37], [38].



Figuur 21: 2D-tekening PTC Creo Illustrate [39]



Figuur 22: 3D-animatie PTC Creo Illustrate [40]

Door middel van 3D-animaties kunnen complexe procedures visueel omschreven worden. In de huidige situatie wordt de procedure vooral aan de hand van een tekst gecombineerd met een foto uitgelegd. Door dit te vervangen door een 3D-animatie kan veel tijd bespaard worden. Het creëren van een 3D-animatie kost minder tijd dan het beschrijven van een handeling. Dit geeft ook een besparing in tijd voor de klant omdat niet meer gezocht moet worden in de documentatie naar het juiste proces. Een 3D-animatie is ook veel duidelijker voor de klant omdat het proces visueel omschreven wordt. Dit zal leiden tot een tijdsbesparing [38].

Creo Illustrate kan ook toegepast worden bij de verkoop van machines. Zo kan het productieproces van een bepaalde machine visueel zichtbaar gemaakt worden. Hierdoor is het voor de potentiële klant onmiddellijk duidelijk wat de werking van de installatie is [38].

Tijdens het openen van het PTC Creo-bestand in Creo Illustrate moet een link gelegd worden tussen deze twee. Zo zal bij een aanpassing van de CAD-data in het PTC Creo-bestand, de wijziging ook automatisch zichtbaar zijn in Creo Illustrate. Zo kan het documentatieproces in Creo Illustrate in een vroegtijdig stadium van het ontwerpen plaatsvinden en parallel lopen aan de CAD-ontwikkelingen in PTC Creo. De link kan gelegd worden naar een lokale harde schijf of naar een PTC Windchill server [38].

De bestanden die worden ondersteund door Creo Illustrate (zie Figuur 27) zijn: Creo *parts* bestanden en Creo *assembly* bestanden. Ondersteuning van andere bestandsformaten kunnen apart aangeschaft worden zoals: JT, Catia, V4, I-deas, SolidWorks en Unigraphics. Deze bestandsformaten kunnen een link leggen tussen Creo Illustrate en de CAD-software. Er zijn ook neutrale bestandsformaten die ondersteund worden zoals: STEP, IGES, STL en OBJ. Bij deze bestandsformaten kan geen link gelegd worden. Dit is een grote variatie aan bestandsformaten waardoor bijna alle CAD-software van verschillende leveranciers ondersteund wordt [38], [41].

STL en OBJ zijn gelijkaardige bestandstypes en zijn beide gefacetteerde modellen. Tijdens het exporteren van het CAD-model naar STL of OBJ moet de koordhoogte, die de *splines* en cirkels lineair gaat benaderen, ingesteld worden. STEP en IGES behouden in de mate van het mogelijke de oorspronkelijke topologie van het parametrisch model, onafhankelijk van het CAD-systeem. In STEP kunnen ook *solids* en gefacetteerde modellen worden geëxporteerd. In IGES kunnen ook gefacetteerde modellen worden geëxporteerd, maar het systeem herkent het model niet meer als een gefacetteerd model. IGES kan geen *solids* exporteren.

In Creo Illustrate is alles gefacetteerd. Wat neutrale bestandstypes betreft, is de beste keuze om STEP-bestanden te importeren in Creo Illustrate omdat Creo Illustrate dan zelf de facettering kan bepalen. Als een gefacetteerd bestand geïmporteerd wordt dan is de facettering al op voorhand bepaald. Dit wordt best vermeden. Een nadeel van alle neutrale bestandstypes is dat voorgedefinieerde mechanismen niet meegenomen worden.

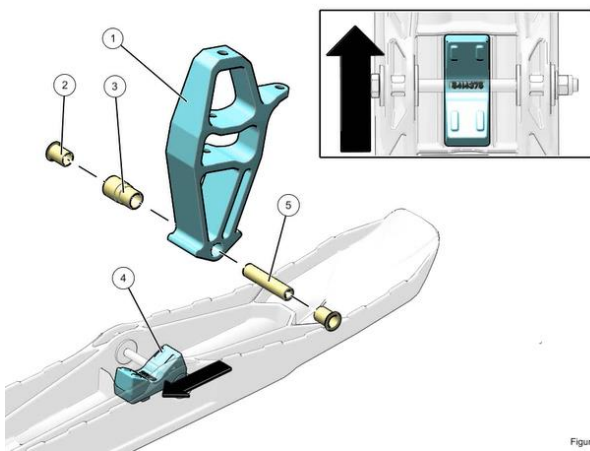
De eBOM die geïmporteerd wordt vanuit het CAD-model wordt toegevoegd aan Creo Illustrate. Vanuit deze eBOM is het mogelijk om het hele CAD-model of bepaalde *subassemblies* toe te voegen aan de sBOM van Creo Illustrate. De sBOM is een softwarematige *bill of materials*. Met de onderdelen in de sBOM kunnen de animaties gecreëerd worden. Ook is het mogelijk om automatisch een dynamische onderdelenlijst te genereren met de sBOM en deze toe te voegen aan 2D-illustraties. Dit kan gebruikt worden om duidelijk aan te geven welke onderdelen vervangen moeten worden met bijhorende onderdeelnummers [38], [42].

Er zijn verschillende mogelijke manieren waarop ‘figuren’ gecreëerd kunnen worden namelijk: stappenplan, animatie en 2D-afbeelding (zie Figuur 27).

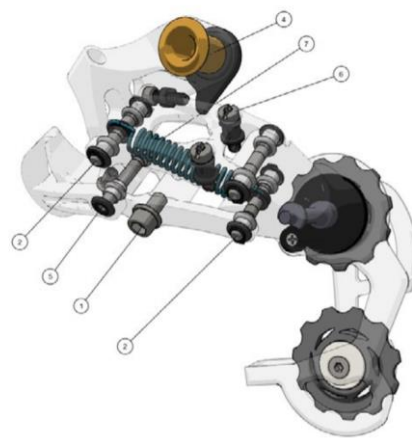
Bij een stappenplan, *sequence* genoemd in Creo Illustrate, kunnen alle animaties in verschillende stappen worden weergegeven. De stappen zijn volgend op elkaar, de wijzigingen van de vorige stap worden automatisch meegenomen naar de volgende stap. Bijvoorbeeld als een onderdeel onzichtbaar wordt gemaakt dan is in de volgende stap dit onderdeel ook onzichtbaar. Het voordeel van *sequence* is dat alle stappen los van elkaar geëxporteerd kunnen worden.

Bij een animatie worden alle animaties in dezelfde tijdlijn weergegeven, alle stappen staan achter elkaar. Het voordeel van een animatie is dat een animatie wordt geëxporteerd als één bestand.

Een 2D-figuur is niet hetzelfde als een 2D-tekening die gemaakt wordt in de CAD-software. Het doel van een 2D-figuur is een duidelijke weergave van de werking (zie Figuur 24) of demontage (zie Figuur 23) van een onderdeel [38], [43].



Figuur 23: Demontage 2D-figuur in Creo Illustrate [44]

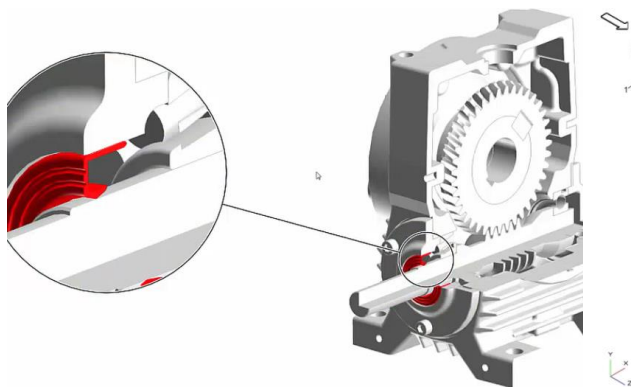


Figuur 24: Werking zichtbaar maken 2D-figuur in Creo Illustrate [38]

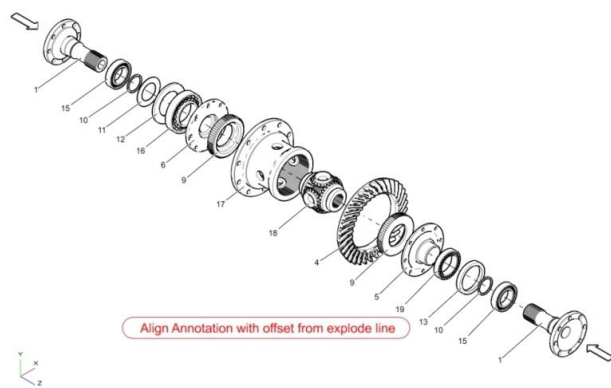
Tijdens het maken van een 3D-animatie is er de keuze om de uitgevoerde animaties op te nemen. Niet opgenomen animaties zullen achteraf ook niet zichtbaar zijn. Er is ook de mogelijkheid om de camera op te nemen waardoor de gemaakte bewegingen van het model ook opgenomen worden. Bijvoorbeeld handmatig inzoomen of het model handmatig roteren wordt dan opgenomen [43].

Er kunnen allerlei functies worden toegevoegd aan de 3D-animaties (zie Figuur 27). Er is de mogelijkheid om functies toe te passen op *parts*, *subassemblies* of op het hele model. Met de *transform*-functie is het mogelijk om onderdelen te verschuiven. Ook is het mogelijk om effecten toe te voegen zoals: onderdelen laten verschijnen, onderdelen laten verdwijnen, een onderdeel laten trillen, een onderdeel *highlighten* of een onderdeel laten draaien. Dit laatste wordt toegepast voor moeren en bouten. Een onderdeel laten trillen of *highlighten* kan worden gebruikt om de aandacht op dat onderdeel te vestigen [43].

Er zijn ook functies die kunnen toegepast worden op 3D-animaties en 2D-figuren (zie Figuur 27). Met de functie *insets* kan in een apart venster ingezoomd worden op onderdelen, zoals te zien in Figuur 25. Er kunnen ook annotaties worden toegevoegd met de functie *callouts*. Dit kunnen extra opmerkingen zijn of onderdeelnummers. Om bepaalde handelingen te verduidelijken kunnen symbolen toegevoegd worden. Dit kunnen gevarensymbolen zijn, maar ook schroevendraaiers, moersleutels, ... Er is de mogelijkheid om bij elke stap notities te noteren, onder de tab lokalisatie kunnen deze notities vertaald worden. Met de *explode* functie is het mogelijk om een *exploded-view* te creëren (zie Figuur 26). Tot slot is er de mogelijkheid om een doorsnede te maken. Al deze functies kunnen worden toegepast om de duidelijkheid van de illustraties te verbeteren [43].

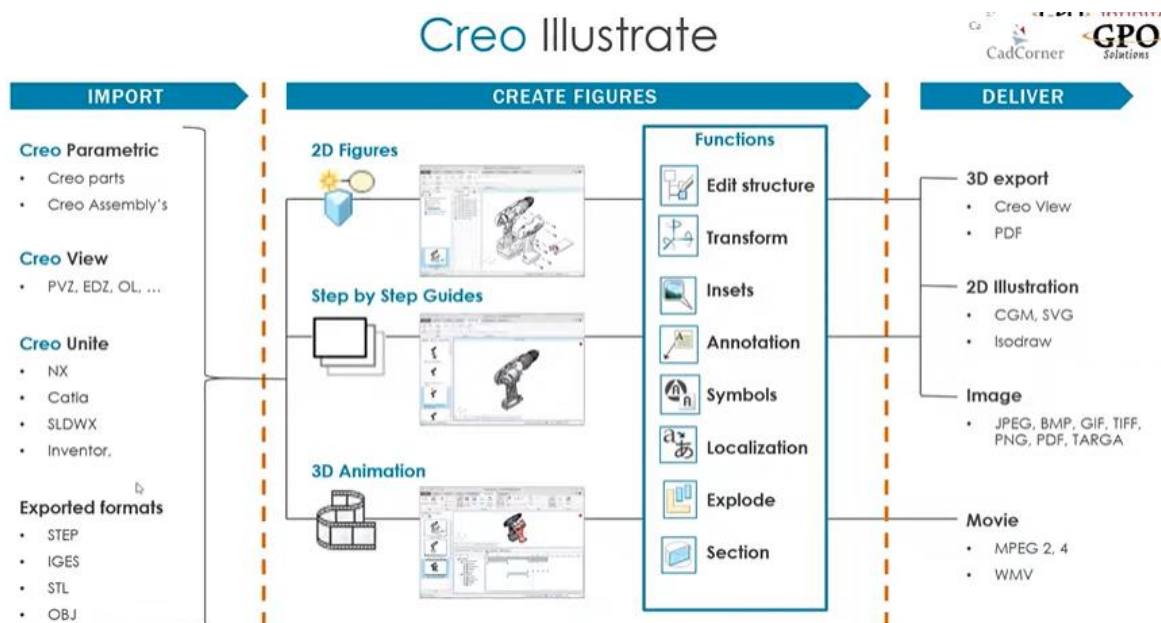


Figuur 25: Lokaal inzoomen met *insets* [45]



Figuur 26: *Exploded-view* [46]

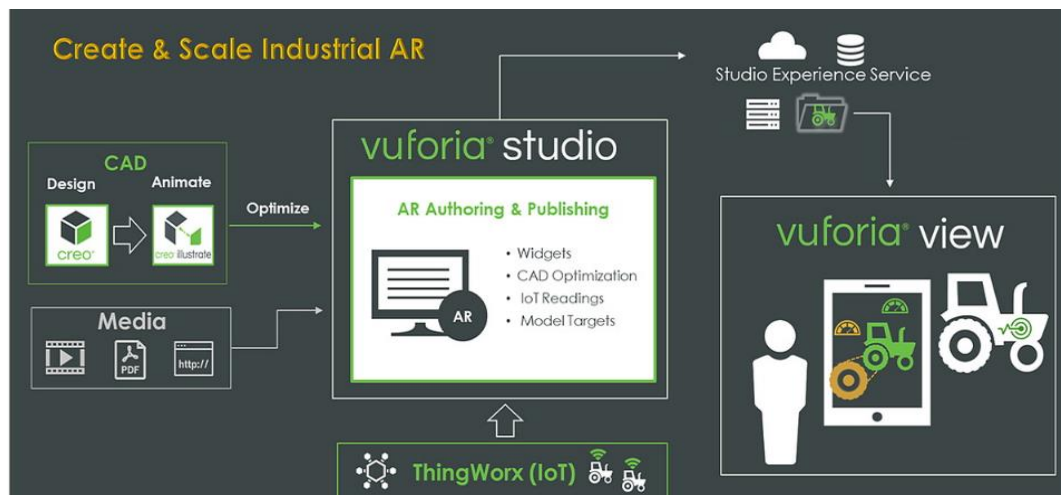
Nadat alle illustraties gecreëerd zijn kunnen deze geëxporteerd worden, zoals te zien in Figuur 27. De 3D-animaties kunnen als een 3D-bestand geëxporteerd worden namelijk als een Creo View bestand of een 3D-PDF. Ook is er de mogelijkheid om de 3D-animatie te exporteren als MP4- of WMV-bestandsformaat. De 2D-illustraties kunnen geëxporteerd worden naar CGM, SVG, Isodraw of als afbeelding. Alle CAD-data en illustraties worden in Creo Illustrate opgeslagen in één bestand [41].



Figuur 27: Overzicht PTC Creo Illustrate [41]

### 3.4 PTC Vuforia Studio

Vuforia Studio laat de ontwerper toe om apps te ontwikkelen die gebruikmaken van *augmented reality*. De AR-ervaringen kunnen 2D- en 3D-elementen bevatten. Vuforia studio maakt gebruik van bestaande 3D-gegevens van Creo, geanimeerde *sequences* van Creo Illustrate en IoT-gegevens vanuit het ThingWorx platform. Externe datasheets, offertes en documenten kunnen in Vuforia Studio gekoppeld worden aan verschillende onderdelen (zie Figuur 28) [41].



Figuur 28: Overzicht Vuforia Studio [47]

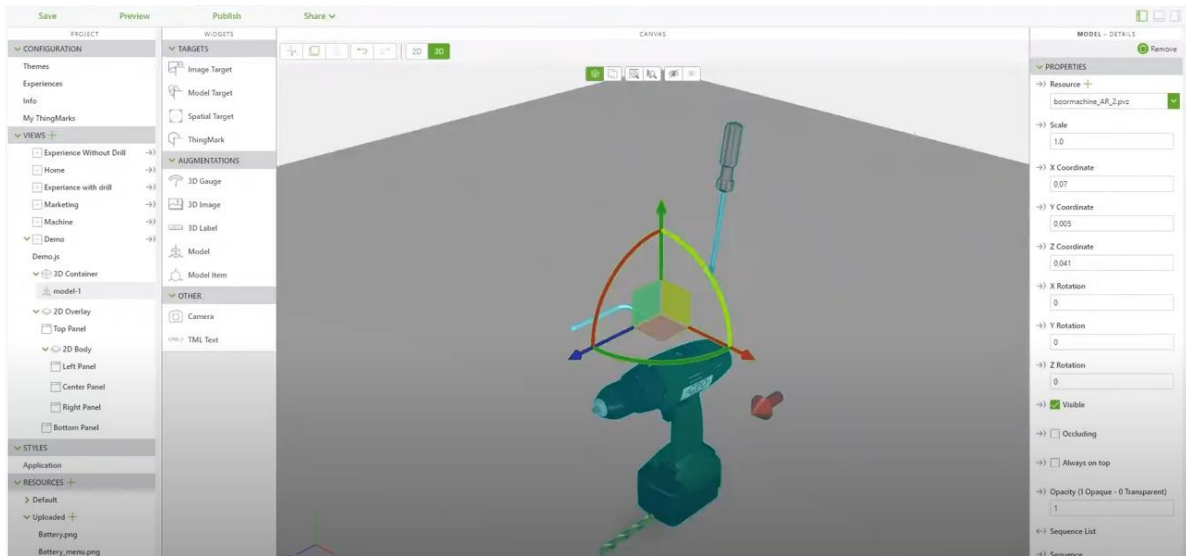
De AR-ervaringen, die gecreëerd zijn in Vuforia Studio, kunnen gebruikt worden om techniekers te helpen door middel van stapsgewijze werkinstructies. Hierdoor zal de montagetijd verbeteren. Ook kunnen deze AR-ervaringen de verkoop verbeteren door middel van 3D-productvisualisaties en 3D-demonstraties [41].

Door de *drag and drop* interface van Vuforia Studio kan de ontwerper gemakkelijk apps ontwikkelen zonder dat er enige voorkennis van coderen nodig is. De ontwerper kan ook gemakkelijk een afspeelscherm programmeren via de *drag and drop* interface. Hierdoor kan het afspeelscherm op wens van de klant gevisualiseerd worden. De ervaringen kunnen ook aangepast worden door het toepassen van coderingen in JavaScript, maar dit is niet noodzakelijk [41], [48].

Wanneer een nieuwe AR-ervaring aangemaakt wordt, is de eerste stap het kiezen van de juiste *template*. Er is keuze tussen 2D-brillen, 3D-brillen en smartphones/tablets. De 2D-brillen *template* wordt gekozen wanneer een ervaring voor de RealWear of Vuzix-apparaten gecreëerd wordt. De 3D-brillen *template* wordt gekozen wanneer een ervaring voor de Microsoft HoloLens gecreëerd wordt. Indien een ervaring gecreëerd wordt voor de smartphone/tablet dan wordt er gekozen voor de smartphone/tablet *template* [41], [49].



Na het kiezen van de juiste *template* gaat de ontwerper een nieuwe *view* aanmaken in 3D. Dit is bijvoorbeeld de bewerking of opdracht die de techniker uiteindelijk moet uitvoeren. Aan deze *view* moet het model natuurlijk nog gekoppeld worden. Dit wordt gedaan door het *widget Model*. Hier kunnen verschillende eigenschappen aan toegevoegd worden (zie Figuur 29). Ten eerste wordt het 3D-model (bijvoorbeeld een boormachine) gekoppeld in het tabblad *Resource*. Als dit model vanuit Creo Illustrate komt moet ook de gewenste aangemaakte *sequence* gekozen worden in het tabblad *Sequence*. Dit kan bijvoorbeeld het wisselen van de boor zijn. Hierbij is het belangrijk dat in Creo Illustrate de animatie via een *sequence* aangemaakt is en niet via een *animation*. Een *sequence* laat toe om stap voor stap door een animatie te gaan, terwijl een *animation* van begin tot eind door de animatie gaat [41], [49].



Figuur 29: Aanmaken *view* in Vuforia Studio [41]

Wanneer het model geplaatst is, moet de ontwerper de gewenste *tracking* methode selecteren. Hierbij is een keuze tussen *Spatial Target*, *Model Target*, *Image Target* en een *ThingMark*. Een *Spatial target* wordt gekozen wanneer een model op een oppervlak geplaatst wordt zonder gebruik te maken van een *ThingMark* (zie Figuur 31). Bijvoorbeeld wanneer het bedrijf de machine op een bepaalde locatie wil laten zien aan een potentiële klant. Een *Model Target* wordt gebruikt om een fysiek object te herkennen door dit te vergelijken met zijn 3D-model en om 3D-vergrotingen weer te geven [50].

Een *Image Target* laat de gebruiker toe om een afbeelding als *tracking* methode te gebruiken. Dit kan gebruikt worden voor verschillende redenen. Bijvoorbeeld als afbeeldingen gebruikt worden voor marketingcampagnes (zie Figuur 30) [50].



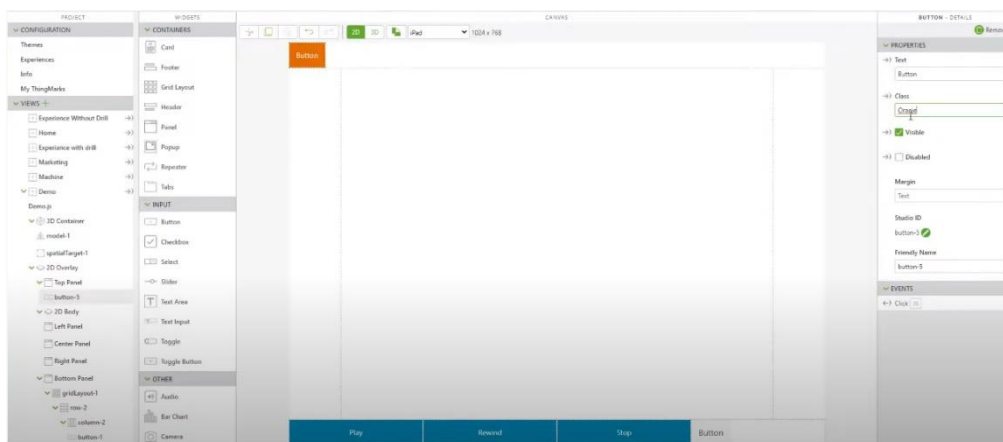
Figuur 30: *Image Target* in Vuforia Studio [51]

Een *ThingMark* (zie Figuur 31) is een uniek identificeerbare marker die herkenbaar is door Vuforia View. Een *ThingMark* kan gebruikt worden wanneer een fysiek object en een digitaal model zo goed mogelijk op elkaar afgestemd moeten worden. Bijvoorbeeld bij het maken van een ervaring die de techniker laat zien hoe de oliefilter van een generator vervangen moet worden. Hier wordt de generator uitgebreid met het oliefiltermodel en de volgorde van de stappen. Een *ThingMark* kan ook gebruikt worden voor het creëren van een tafelbladervaring. Er kan bijvoorbeeld een product worden voorgesteld aan een potentiële klant door het scannen van een *ThingMark* zonder het fysieke product mee te nemen [50].



Figuur 31: ThingMark [52]

Als de *tracking* methode gekozen is dan kan het 2D-scherm voor deze bewerking (zie Figuur 32) ontworpen worden. Dit wordt weer gedaan met behulp van verschillende widgets. Zo kunnen er bijvoorbeeld knoppen, *sliders*, tabellen, tekst, grafieken, enzovoort geplaatst worden. Al deze widgets zijn aanpasbaar naar persoonlijke voorkeur. Bijvoorbeeld, als een knop wordt geplaatst die de animatie doet starten, moet dit nog geconfigureerd worden onder de eigenschappen van deze knop. Dit wordt gedaan door het tabblad *event* naar het model te slepen en de bewerking *play* te kiezen. Hetzelfde principe kan ook toegepast worden om bijvoorbeeld een stap vooruit of achteruit te gaan. Ook kan er een knop met een koppeling naar Vuforia Chalk geplaatst worden. Als de techniker toch nog problemen ondervindt kan via deze Chalk-knop contact opgenomen worden met het bedrijf [41], [49], [48].



Figuur 32: 2D-afspeelscherm Vuforia Studio [41]



Tijdens het creëren van de ervaring is er altijd de mogelijkheid om een vooruitblik naar de ervaring op dat moment te verkrijgen. Dit is mogelijk door te drukken op de *preview* knop links bovenaan. De *preview* kan op verschillende apparaten weergegeven worden zoals op de verschillende versies van de iPhone en de iPad. Ook kan het *preview*-beeld veranderd worden tussen portret en landschap [49].

Wanneer de AR-ervaring klaar is kan deze gepubliceerd worden. Dit wordt gedaan door te klikken op de *publish* knop. Hiermee wordt alle 3D- en 2D-informatie mee overgenomen [49].

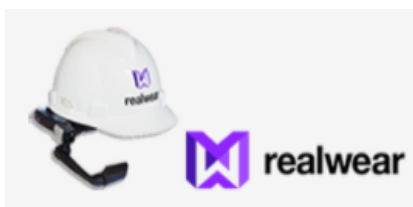
Eenmaal de AR-ervaringen gecreëerd en gepubliceerd zijn, kunnen deze via smartphone, tablet of AR-bril met de Vuforia View app bekeken worden. Wanneer gebruik wordt gemaakt van een AR-bril is er een verschil tussen het bekijken van 3D-elementen en het bekijken van 2D-elementen [49].

Voor het bekijken van 3D-elementen wordt gebruik gemaakt van *augmented reality* d.m.v. de Microsoft HoloLens (zie Figuur 33). Deze AR-bril bevat ingebouwde ondersteuning voor gebaren en spraakopdrachten. Aan de hand van AR-ervaringen in combinatie met de Microsoft HoloLens kunnen verkoopinspanningen verhoogd worden met virtuele productdemonstraties, de service/het onderhoud verbeterd worden met handsfree werkinstructies en is een kennisoverdracht mogelijk voor het maken van effectievere trainingen [53].



Figuur 33: Microsoft HoloLens [54]

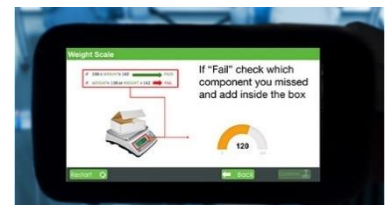
Voor het bekijken van 2D-elementen wordt gebruik gemaakt van *assisted reality* in combinatie met de RealWear HMT-1 (zie Figuur 34) of de Vuzix M400 (zie Figuur 35). *Assisted reality* verwijst naar iedere technologie waarmee een persoon handsfree naar een scherm kan kijken binnen het directe gezichtsveld op een 2D-scherm. *Assisted reality* verschilt met *augmented reality* omdat hier de informatie niet over de fysieke wereld wordt getoond, maar in het directe gezichtsveld. Door het gebruik van documenten over assemblageprocedures, video's en IoT-data zijn er schaalbare 2D-gebruikersinteracties mogelijk (zie Figuur 36) [53], [55].



Figuur 34: RealWear HMT-1 [56]



Figuur 35: Vuzix M400 [57]



Figuur 36: 2D-gebruikersinteracties [54]

Vuforia Studio ondersteunt twee besturingssystemen, namelijk Mac en Windows. Bij Mac wordt de versie El Capitan ondersteund en bij Windows worden Windows 7 (64-bit) en Windows 10 (64-bit) ondersteund. De ondersteunde browser is Google Chrome. Bij de aanschaf van Vuforia Studio moet er met deze vereisten rekening gehouden worden (zie Figuur 37) [58].

<b>Operating System</b>	<b>Supported Versions</b>	<b>Supported Browsers</b>
Mac	El Capitan	Chrome
Windows	7, 10 (64-bit only)	Chrome

Figuur 37: Systeemvereisten Vuforia Studio [58, p. 11]

### 3.5 PTC Vuforia View

PTC Vuforia View (zie Figuur 38) is een gratis app beschikbaar voor iOS, Android en Windows toestellen. Deze app maakt de aangemaakte AR-ervaringen van Vuforia Studio toegankelijk voor medewerkers, klanten en partners [59].



Figuur 38: Toepassing Vuforia View [60]

Wanneer de AR-ervaring via smartphone of tablet bekeken wordt, moet er rekening gehouden worden met de volgende technische vereisten (zie Figuur 39) van Vuforia View. De softwareversie van het mobiel apparaat moet minimaal iOS 10 of Android 5.0 zijn. Bij toestellen met als besturingssysteem Windows, worden enkel de Microsoft Surface toestellen ondersteund [58].

Operating System	Supported Devices and Versions
iOS <b>Note</b> iOS 9 is no longer supported.	iOS 10.0 or later: <ul style="list-style-type: none"> <li>• iPhone:               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 5s</li> <li>○ 6</li> <li>○ 6 Plus</li> <li>○ 6s</li> <li>○ 6s Plus</li> <li>○ SE</li> <li>○ 7</li> <li>○ 7 Plus</li> <li>○ 8</li> <li>○ 8 Plus</li> <li>○ X</li> </ul> </li> <li>• iPad:               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Air</li> <li>○ Air 2</li> <li>○ Mini 4</li> <li>○ Pro</li> <li>○ Pro 9.7</li> </ul> </li> </ul>
Android	Vuforia View is supported on devices with an Android operating system with version 5.0 and later. <b>Note</b> Make sure that ARCore is updated to the latest version.
Windows	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Surface Pro 6</li> <li>• Surface Pro 4</li> <li>• Surface Pro (2017)</li> <li>• Surface Book</li> </ul>


Figuur 39: Technische vereisten Vuforia View mobiel [58, p. 12]

Wanneer de AR-ervaring via een AR-bril bekeken wordt, moet rekening gehouden worden met de volgende technische vereisten (zie Figuur 40) van Vuforia View. Voor 2D-ervaringen wordt de RealWear HMT-1 en de Vuzix M300 ondersteund. Voor 3D-ervaringen wordt de Microsoft HoloLens ondersteund [58].

Operating System	Device Type	Supported Devices and Versions
Android	2D (Assisted Reality)	The following 2D eyewear devices are supported: <ul style="list-style-type: none"> <li>RealWear HMT-1</li> <li>Vuzix M300 Smart Glasses</li> </ul>
Windows	3D	Microsoft HoloLens

Figuur 40: Technische vereisten Vuforia Studio *eyewear* [58, p. 13]

In Figuur 41 is te zien welke *tracking* methodes ondersteund worden door de verschillende besturingssystemen bij het gebruik van Vuforia View [58].

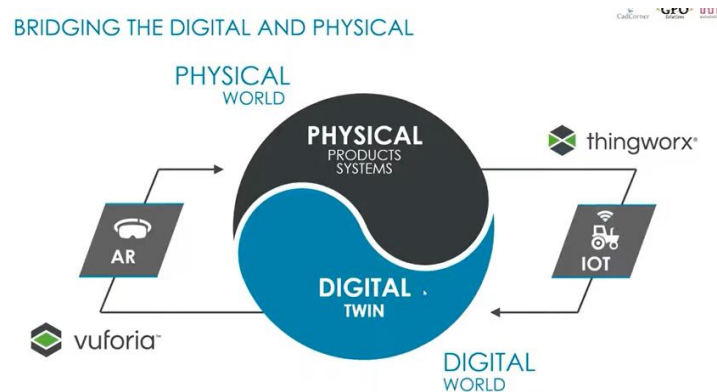
Operating System	ThingMark	Spatial Tracking	Model Tracking	Image Tracking
iOS	X	X	X	X
Android	X	X	X	X
				 <b>Note</b> Not supported for 2D Eyewear.
Windows	X	X	X	X
HoloLens	X	X	X	X

Figuur 41: Ondersteunde *tracking* methodes [58, p. 13]

### 3.6 PTC ThingWorx

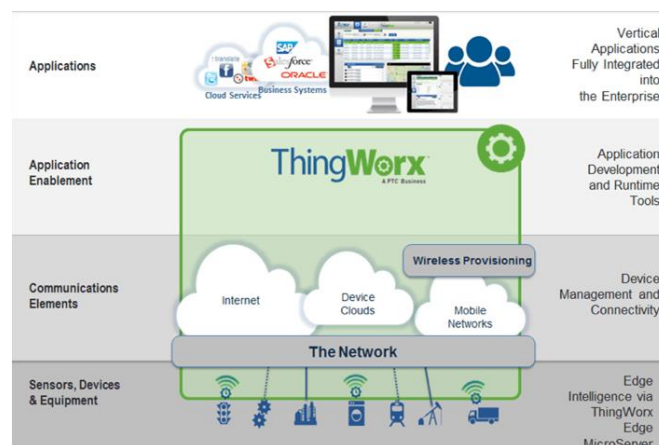
PTC ThingWorx kan een digitale representatie van de werkelijke wereld weergeven, ook een *digital twin* genoemd. Een *digital twin* maakt het mogelijk om op een ‘eenvoudige’ manier fouten in de installatie op te sporen zonder ter plaatse te gaan bij de klant. Hierdoor zal de *remote support* verbeteren en de klantentevredenheid stijgen.

Het ThingWorx platform is ontwikkeld voor industriële omgevingen en vertaalt de data van de fysische machine naar het digitaal model via *Internet of Things (IoT)*, zoals te zien in Figuur 42. ThingWorx is een kant en klaar softwarepakket om gemakkelijk *IoT* data te verwerken. ThingWorx kan worden toegepast op een deel van een installatie, de complete installatie of een volledig bedrijf. ThingWorx kan klein geïmplementeerd worden en gelijkmatig opgeschaald worden binnen een installatie of bedrijf [61], [62].



Figuur 42: *Digital Twin* principe met Thingworx [41]

De data van sensoren, apparaten, machines, ... worden via het netwerk verbonden met ThingWorx. Dit is het *Internet of Things* principe. Dit netwerk kan het internet, de *cloud* of het mobiele netwerk zijn. Met deze data kunnen in ThingWorx applicaties gemaakt worden. Dit principe is te zien in Figuur 43.[63].



Figuur 43: Basisprincipe ThingWorx connectie o.b.v. IoT [63]

De mate waarin *IoT* positieve effecten heeft op een onderneming wordt bepaald door hoe effectief *IoT* gegevens worden vastgelegd, vertaald naar zinvolle inzichten. Deze moeten op het juiste moment bij de juiste mensen terechtkomen. Hiervoor kunnen dynamische visualisaties en interfaces gemaakt worden. Deze vergroten de betrokkenheid van gebruikers. Voor een actievere betrokkenheid van de gebruiker zijn de *IoT* gegevens in *realtime* beschikbaar [62].

ThingWorx biedt functies aan voor applicatieontwikkeling, analyses en AR-ervaringen op basis van *IoT*. Interfaces van applicaties kunnen eenvoudig gemaakt worden met *drag and drop* tools. Daarom is het niet nodig om code te schrijven om een applicatie te creëren. Omdat er geen code geschreven moet worden is de leercurve lager. Vandaar is het mogelijk om ThingWorx relatief snel te implementeren binnen een bedrijf. De voorgeprogrammeerde tools bestaan uit connectoren, domeinmodellen, bedrijfslogica en *user interface* elementen. De connectoren zorgen voor toegang tot gegevens van verschillende apparaten en systemen. Domeinmodellen bevatten het gedrag en gegevens van installaties. De bedrijfslogica bepaalt hoe gegevens kunnen worden gecreëerd, opgeslagen en gewijzigd. De *user interface* bevat een bibliotheek van besturingselementen die worden gebruikt om een grafische interface samen te stellen [61], [62].

Er zijn verschillende modules die behoren tot het ThingWorx platform. Deze softwarepakketten van ThingWorx kunnen apart of gezamenlijk werken, zoals te zien in Figuur 47 [61], [62].

ThingWorx Foundation is de basis van het ThingWorx platform. Deze geeft de mogelijkheid om de *IoT* data te verwerken en te implementeren. Zonder dit softwarepakket is het niet mogelijk om optionele softwarepakketten te verkrijgen [61], [62].

ThingWorx Analytics maakt het mogelijk om op een eenvoudige manier, zonder kennis van complexe wiskunde of datamodellering, de *IoT* data geautomatiseerd te analyseren. Dit maakt het mogelijk om *realtime* patronen weer te geven, anomaliedetectie (= onregelmatigheden detecteren), geautomatiseerde voorspellingen en aanbevelingen te doen. ThingWorx Analytics bevat onderstaande functionaliteiten [62], [64].

- **Voorspellend modelleren**  
Door *machine learning* toe te passen kunnen voorspellingen en aanbevelingen gebeuren op basis van de *IoT* data.
- **Verklarende analyse**  
Deze functionaliteit maakt *IoT* gegevens beter begrijpbaar. Door een verscheidenheid aan algoritmen toe te passen kunnen patronen en correlaties in de *IoT* data ontdekt worden.
- **Realtime monitoren**  
Door het *realtime* monitoren van gegevens kunnen door middel van *machine learning* de ‘normale’ omstandigheden geleerd worden. Hiermee kunnen onverwachte veranderingen in het gedrag geïdentificeerd worden.
- **Voorspellende score**  
Door middel van een voorspellende score kunnen relevante voorspellingen worden gedaan op basis van *IoT*.
- **Voorschrijvende score**  
De toekomstige resultaten worden verbeterd door simulaties uit te voeren die aanbevelingen genereren.
- **Digitale simulatie**  
Op basis van geïntegreerde modellen wordt het gedrag van fysieke producten in de digitale wereld gesimuleerd.

ThingWorx Studio, ook Vuforia Studio genoemd, vereenvoudigt de creatie van AR-ervaringen. Er wordt een samengestelde weergave gemaakt van digitale productgegevens, dashboards en waarschuwingen op basis van *IoT* data. Er moet geen code geschreven worden voor de AR-ervaring. Door een connectie te maken tussen ThingWorx en Vuforia Studio kan alle *IoT* data verwerkt worden in Vuforia Studio om hier AR-ervaringen mee te creëren. Vuforia Studio heeft een server nodig waarop Vuforia Experience Service draait. Deze moet gekoppeld worden met de ThingWorx server. Door *IoT* data van ThingWorx te implementeren in Vuforia Studio kunnen extra inzichten bekomen worden in de AR-ervaringen. Voorbeelden hiervan zijn zichtbaar in Figuur 44 en Figuur 45 [61], [62], [65].



Figuur 44: ThingWorx Studio voorbeeld 1 [66]



Figuur 45: ThingWorx Studio voorbeeld 2 [66]

ThingWorx *Industrial Connectivity powered by Kepware* maakt het mogelijk om verschillende automatiseringsapparaten en softwaretoepassingen aan te sluiten, te beheren en te bewaken via één interface. Dit is een connectie tussen alle *cloud data*, *IoT* data en apparaten, zoals te zien in Figuur 46. ThingWorx biedt veilige connectiviteit aan met apparaten die verbonden zijn met de *cloud*, zoals Azure, AWS en GE Predix [61], [62], [67].



Figuur 46: ThingWorx *Industrial Connectivity* [67, p. 1]

ThingWorx bouwt rond een digitaal model, het ThingModel genoemd. Er wordt een *realtime* weergave van een fysiek model weergegeven op het ThingModel. Het ThingModel verbindt alle componenten van een ThingWorx platform met elkaar, namelijk: ThingWorx Foundation, ThingWorx Analytics, ThingWorx Studio en ThingWorx Industrial Connectivity (zie Figuur 47) [61].





Figuur 47: ThingWorx Foundation integratie [68]



De mogelijkheden van PTC ThingWorx kunnen worden opgesplitst in vier categorieën, namelijk: bouwen, analyseren, managen en verbinden [62].

- **Bouwen**

ThingWorx maakt het mogelijk om met gebruiksvriendelijke tools en technologieën *IoT* applicaties te bouwen en AR-ervaringen te creëren. Ze bieden de mogelijkheid om applicaties op maat te maken. Ook is het mogelijk om een herhaalbaar proces te maken waardoor de bouwtijd van de applicatie van toekomstige processen verkleint. De applicatiemodellering is visueel zichtbaar en krijgt vorm door middel van sjablonen en *drag and drop* tools. Er is een ingebouwde integratie met andere tools zoals PLM (*Product Lifecycle Management*), CRM (*Customer Relationship Management*), ERP (*Enterprise resource planning*) en SCM (*Supply Chain Management*). Door deze categorie is er een naadloze integratie van gegevens in alle aangesloten tools [62], [69].

- **Analyseren**

Geconnecteerde apparaten produceren grote hoeveelheden data die geanalyseerd moeten worden. ThingWorx kan deze grote hoeveelheden data analyseren om zo bepaalde inzichten te genereren, *realtime* beslissingen te nemen, snel problemen te diagnosticeren en op te lossen, storingen te voorspellen en te voorkomen. ThingWorx geeft nuttige inzichten dankzij gebruiksklare berekeningen. Deze zorgen ervoor dat de gegevens beter te begrijpen zijn. Patronen en correlaties worden geïdentificeerd om gegevens te verklaren en anomalieën snel op te sporen. *Machine learning* kan op basis van historische gegevens voorspellingen doen over de toekomst, zoals: machinestoringen, voorraad bijvullen, ... Modellen kunnen het gedrag van fysieke objecten in de digitale wereld simuleren om de resultaten te verbeteren [62], [64].

- **Managen**

Naarmate *IoT* meer geïmplementeerd wordt binnen de organisatie zullen meer werknemers met verschillende functies in aanraking komen met deze technologie. ThingWorx beheert dit door het systeembeheer te stroomlijnen. Vanaf één gecentraliseerde locatie in de *cloud* kunnen ThingWorx toepassingen opgeslagen worden. Dit zorgt ervoor dat er niet massaal software gedistribueerd moet worden door het bedrijf [62], [69].

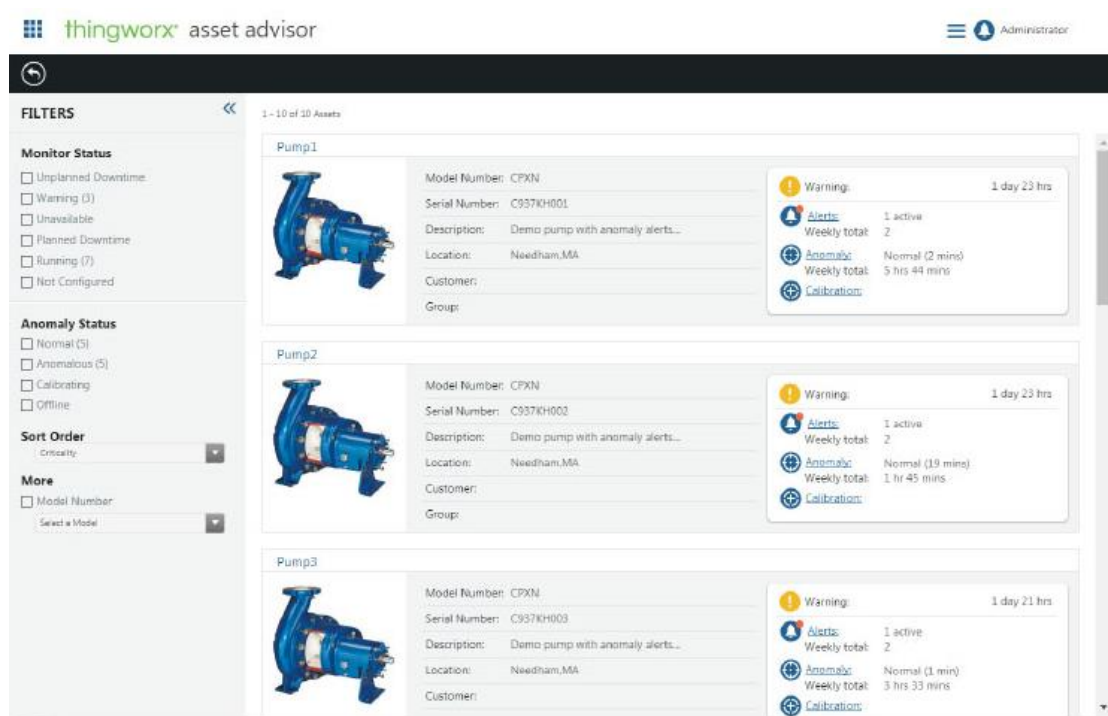
- **Verbinden**

De huidige componenten waaruit een industriële omgeving is opgebouwd zijn niet altijd bruikbaar voor digitale toepassingen. ThingWorx lost deze problemen op met een range van vooraf gebouwde componenten. ThingWorx heeft een bibliotheek van meer dan 150 apparaatstuurprogramma's, clientstuurprogramma's, geavanceerde *plug-ins* en connectoren. Daarom is ThingWorx compatibel met een grote variëteit aan apparaten [62], [67].

ThingWorx biedt een deel *IoT* applicaties aan die toegankelijk zijn in elke browser. Met deze applicaties is het mogelijk om alle *IoT* data in *realtime* te bekijken. De mogelijke applicaties staan hieronder [62].

- **ThingWorx Asset Advisor**

Deze geeft een *realtime* inzicht in de status en gezondheid van componenten. Hiermee kunnen afwijkingen gedetecteerd worden voordat de productie beïnvloed wordt. Onderhoudspersoneel kan zo vanop afstand de componenten beheren en diagnosticeren. Ook is het mogelijk om bij onregelmatigheden een waarschuwing te genereren (zie Figuur 48) [62], [70].



Figuur 48: Overzicht ThingWorx Asset Advisor [71]

- **ThingWorx Controls Advisor**

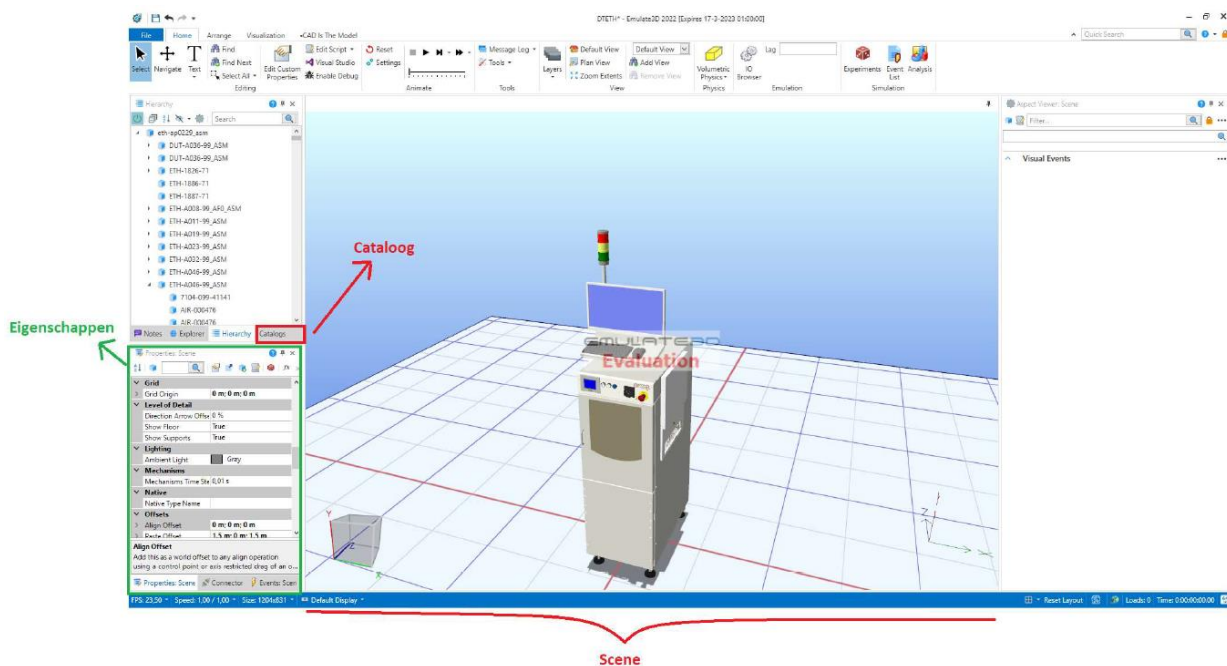
Hoe langer de machine ontkoppeld is, hoe meer dataverlies kan optreden. De ThingWorx Controls Advisor kan connectiviteitsproblemen identificeren. Deze zorgt voor een naadloze connectiviteit met PLC's en bedrijfsmiddelen via OPC-servers. Daarom is het mogelijk om machineconnectiviteit in *realtime* te bewaken. Een OPC-server is een *Open Platform Communications* server. Dit is een *open source* protocol voor gegevensuitwisseling tussen automatiseringssystemen [62], [72].

- **ThingWorx Navigate View**  
Hier wordt enkel de gewenste informatie weergegeven en samengebracht uit verschillende systemen. Met deze applicatie kan op een eenvoudige manier toegang verkregen worden tot de data die is opgeslagen in het systeem. Omdat er binnen een bedrijf veel mensen met verschillende functies zijn die toegang moeten hebben tot de *IoT* data, geeft de applicatie contextgebonden informatie en de mogelijkheid om apps eenvoudig aan te passen aan de behoefte van de gebruiker [62], [73].
- **ThingWorx Operator Advisor**  
Deze applicatie heeft één interface voor werkorders, werkinstructies, ... gericht op de operator. Met deze toepassing moet de operator niet met verschillende systemen werken [62].
- **ThingWorx Production Advisor**  
De ThingWorx Production Advisor geeft *realtime* inzicht in de productiestatus, kritische KPI's zoals beschikbaarheid, prestaties, kwaliteit en OEE (= *overall equipment effectiveness*) [62].
- **ThingWorx Software Content Management**  
Deze applicatie maakt het mogelijk om software te creëren, beheren, testen en verspreiden. Het beheer van de software distributie wordt vereenvoudigd weergegeven om een gestroomlijnde ervaring te creëren en de kans op fouten te minimaliseren [62].

### 3.7 Emulate3D

Emulate3D is een softwarepakket van Rockwell Automation waarmee het mogelijk is om een digitale representatie van de werkelijke installatie weer te geven (= *digital twin*). Ook is er de mogelijkheid om het PLC-programma te simuleren met het CAD-model (= *virtual prototyping*). Emulate3D kan worden toegepast op een deel van een installatie, de complete installatie of een volledig bedrijf. Emulate3D kan klein geïmplementeerd worden en gelijkmatig opgeschaald worden binnen een installatie of bedrijf.

De *user interface* (zie Figuur 49) van Emulate3D bestaat uit een scene, hier wordt het model opgebouwd in de 3D-omgeving met *visuals*. Deze *visuals* kunnen voorgemaakte componenten zijn uit catalogen of onderdelen/installaties uit CAD. De catalogen met voorgemaakte componenten kunnen gedownload worden van de Emulate3D website of in de *package explorer*. Alle voorgemaakte componenten uit catalogen bevatten een reeks eigenschappen die aangepast kunnen worden. Ook is het mogelijk om zelf catalogen te creëren en deze te delen binnen een bedrijf (= *package feed*). De zelfgecreëerde catalogen kunnen bestaan uit zelfgebouwde componenten uit CAD of veelgebruikte componenten uit verschillende catalogen. Het gedrag van uit CAD geïmporteerde onderdelen moet worden toegekend door eigenschappen toe te kennen aan bepaalde delen van het model, zoals bewegende onderdelen, massa, ... Aangestuurde onderdelen, bijvoorbeeld door een motor, kunnen in Emulate3D ook aangestuurd worden met een softwarematige motor en controller. De motor en controller zullen IO genereren waarmee het systeem bestuurd kan worden. Het systeem kan geprogrammeerd worden door sensoren en knoppen toe te voegen die ook IO zullen genereren [74].



Figuur 49: User interface van Emulate3D [75]

Elke functie van Emulate3D bevat een reeks eigenschappen die met een eenvoudige interface ingesteld kunnen worden. Indien er complexere eigenschappen vereist zijn is het mogelijk om met Emulate3D het gewenste gedrag te programmeren met behulp van C# of JavaScript. C# is minder vergevend voor fouten maar zal het programma efficiënter doorlopen. JavaScript daarentegen is meer vergevend voor fouten maar zal het programma minder efficiënt doorlopen voor dezelfde *usecase* [74].

Aan het model kan een *load creator* toegevoegd worden. Een *load creator* genereert producten die interactie met het virtueel model hebben en de simulatie zal volgen. De *load creator* kan ingesteld worden door middel van verschillende parameters. Complexere *loads* kunnen geprogrammeerd worden in C# of JavaScript [74].

Emulate3D biedt verschillende softwarepakketten aan waarvan de beschikbare functionaliteiten afhankelijk zijn van het gekozen softwarepakket. De belangrijkste softwarepakketten worden hieronder toegelicht. De softwarepakketten zijn gesorteerd van meeste functionaliteiten naar minste functionaliteiten [76].

- **Emulate3D**  
Emulate3D is de softwareversie met de meeste functionaliteiten. Het programma is ontwikkeld om 3D-systemen te testen op basis van een digitaal prototype. Emulate3D heeft een groot aantal controle- en configuratiemogelijkheden. Emulate3D kan gebruikt worden om te controleren of de hardware voldoet aan de besturingssoftware [76].
- **ECT for machine builders**  
Deze versie wordt gebruikt voor het rechtstreeks creëren van besturingsmodellen in PTC Creo, SolidWorks en Autodesk Inventor. Deze *plug-in* maakt het mogelijk om verschillende kinematische onderdelen en besturingselementen toe te voegen aan het CAD-model om hierop een emulatiemodel uit te voeren [76].
- **SIM3D**  
SIM3D is speciaal ontworpen om de systeemdoorvoer te analyseren, knelpunten te identificeren en om te controleren hoe het systeem reageert op veranderingen [76], [77].
- **DEMO3D**  
Met DEMO3D is het mogelijk om snel realistisch ogende modellen te maken en hierop besturingselementen en *operating logic* toe te voegen om te simuleren [76], [78].
- **Layout3D**  
Layout3D kan snel, nauwkeurig en realistisch ogende 3D-*layouts* creëren. Het is niet mogelijk om besturingselementen en *operating logic* toe te voegen. Elk model gecreëerd in Layout3D kan ook geopend worden in DEMO3D, SIM3D en Emulate3D [76], [79].
- **DEMO3DVR for CAD**  
DEMO3DVR is een *plug-in* voor PTC Creo, SolidWorks, Autodesk Inventor, Autodesk Revit en Autodesk Navisworks. Met deze *plug-in* is het mogelijk om het CAD-model weer te geven in *virtual reality* [76].

Er zijn verschillende manieren waarop de fysica in Emulate3D berekend kan worden. Bij *volumetric physics* wordt constant berekend hoe het object zich moet gedragen. Deze berekeningen gebeuren op basis van gewicht, wrijvingscoëfficiënten, snelheid, versnellingen, impactkrachten, ... *Planar-* en *lineair physics* maken minder berekeningen, hierdoor zijn deze sneller en zal de *performance* toenemen. Het nadeel is dat de nauwkeurigheid van de simulatie zal afnemen [74].

In Emulate3D moet aan onderdelen statisch, dynamisch of kinematisch gedrag toegekend worden. In de voorgeprogrammeerde catalogen is het gedrag al toegekend. Aan zelfgecreëerde onderdelen uit CAD moet het gedrag toegekend worden door de gebruiker. Statische objecten zijn stilstaande objecten. Indien statische objecten zouden bewegen kunnen problemen optreden want Emulate3D controleert niet of deze objecten bewegen. Statische objecten kunnen ook niet gedetecteerd worden door sensoren. Kinematische objecten zijn ook stilstaande objecten, maar kunnen wel gedetecteerd worden door sensoren. Indien het object ook botsingen zal ondervinden is de optimale keuze om dit object kinematisch gedrag toe te kennen. Tot slot zijn er ook dynamische objecten. Dit zijn objecten die kunnen bewegen. Bij dynamische objecten wordt rekening gehouden met alle mogelijke fysische berekeningen. In onderstaande tabel is te zien welke objecten botsingen kunnen veroorzaken met elkaar (zie Tabel 3). Bijvoorbeeld: een doos kan niet botsen tegen een optische sensor en zal hier doorheen gaan [74].

Tabel 3: Botsingscompatibiliteit in Emulate3D

	<i>Loads</i>	<i>Conveyors/ deflectors</i>	<i>Deflector Blocks Sensor</i>	<i>Collision Senor</i>	<i>Stop Blades</i>	<i>Floors</i>	<i>Vehicles</i>	<i>Diagnostic Sensors</i>
<i>Loads</i>	Yes	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	No
<i>Conveyors/ deflectors</i>	Yes	No	No	No	No	No	No	No
<i>Deflector Blocks Sensor</i>	No	No	No	Yes	No	No	No	No
<i>Collision Senor</i>	Yes	No	Yes	No	No	No	Yes	No
<i>Stop Blades</i>	Yes	No	No	No	No	No	No	No
<i>Floors</i>	Yes	No	No	No	No	No	Yes	No
<i>Vehicles</i>	Yes	No	No	Yes	No	Yes	No	No
<i>Diagnostic Sensors</i>	No	No	No	No	No	No	No	Yes

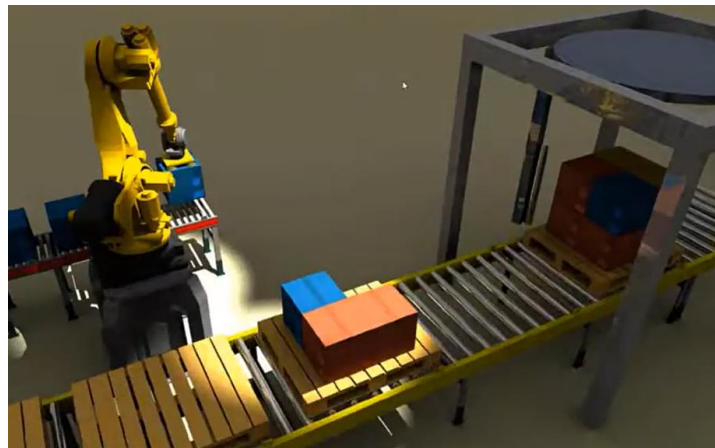
Voor een *digital twin* is het mogelijk om de PLC van de klant uit te lezen en op basis van deze data een terugkoppeling te creëren naar de installatie in Emulate3D.

Het *virtual prototyping* kan op verschillende manieren plaats vinden. Ten eerste kan het programma geprogrammeerd worden m.b.v. scripting in C# of JavaScript. Een tweede manier kan d.m.v. *quick logic* uit de catalogoog. Tot slot is het mogelijk om een externe controller zoals een PLC te emuleren of om een koppeling te maken met een echte PLC. Hiervoor moet een koppeling gemaakt worden tussen de PLC-tags en de gegenereerde IO in Emulate3D. Indien het programma wordt uitgevoerd door een externe controller is het belangrijk dat *realtime* snelheid wordt aangehouden zodat de *controls* gesynchroniseerd blijven, dit kan ingesteld worden in de animatie instellingen. Als *realtime* snelheid wordt ingesteld dan wordt alles opgeofferd om het model in *realtime* te laten lopen, zo kunnen bepaalde functies gedeactiveerd worden [74].

Zodra de simulatie start zullen objecten uit de *load creator* komen. Ook is er de mogelijkheid om de simulatie te versnellen en te vertragen, uitgezonderd als een externe controller gebruikt wordt om de simulatie uit te voeren [74].

Daarnaast kunnen video's gemaakt worden in Emulate3D. Deze video's kunnen gebruikt worden voor opleidingen, promotiemateriaal, ... Om video's realistischer te maken is het mogelijk om figuren of GIF's toe te voegen op objecten. Ook is het mogelijk om MP4 bestanden toe te voegen voor geluidseffecten. Wanden kunnen doorzichtig gemaakt worden om een realistische werkomgeving na te bootsen. Door middel van tekst toe te voegen kan de simulatie verduidelijkt worden. Er kunnen statische en dynamische labels toegevoegd worden.

Er zijn verschillende mogelijkheden om de camera te bewegen tijdens de video. Een eerste manier is een video opnemen met de *capture* functie. De video zal het beeld van het scherm volgen, dit is een haperend beeld en niet professioneel. Om een professionele soepele opname te creëren kan de camera *quick start* catalogoog gebruikt worden. Met deze functie kan een voorgedefinieerd *camerapad* worden vastgelegd. Tot slot kan een ultra realistische omgeving gecreëerd worden door middel van *RAY tracing*. Hiervoor moet de POV Ray applicatie gedownload worden van de emulate3D website. Het resultaat hiervan is te zien in Figuur 50 [74].



Figuur 50: RAY-tracing in Emulate3D [74]

De modellen van Emulate3D kunnen ook in *virtual reality* bekeken worden. Hiervoor kan de HTC Vive Pro gebruikt worden. Deze *headset* bepaalt de positie in de omgeving met infraroodsensors. Voor deze *headset* is meer *set-up* nodig om de virtuele ervaring werkend te krijgen, maar door de infraroodsensors zal de ervaring soepeler zijn. *Mixed reality headsets* zijn een tweede type *headset* die gebruikt kunnen worden (zie Figuur 51). Deze bevatten geen externe sensoren, de camera's op de *headset* bepalen zelf de positie in de omgeving. Deze *headsets* vereisen minder *set up* maar de virtuele ervaring is van mindere kwaliteit dan de HTC Vive Pro. Sommige *VR-headsets* moeten met de computer verbonden worden, andere kunnen de demo3d *viewer* applicatie downloaden op de *headset*. Er is geen beperking op het aantal personen dat in een virtueel model kan. De enige beperking is de *performance* van de computer met het virtueel model. Er kan een *avatar* worden toegevoegd in Emulate3D. Dit maakt het mogelijk om de positie van de personen in het model te zien. De personen in het virtueel model kunnen knoppen bedienen, *loads* manipuleren, ... Ook is er de mogelijkheid om de functies van de VR-gebruiker te beperken. Tot slot kunnen er teleporteerlocaties geplaatst worden in het model waar de gebruiker naartoe kan teleporteren [74].



Figuur 51: *Mixed reality headsets* compatibel met Emulate3D [80]

Er kunnen allerlei bestandstypes geïmporteerd worden in Emulate3D, namelijk: SolidWorks, Inventor, Creo, Revit, Navisworks, AutoCAD, Solid Edge, Onshape, STEP, IGES, Collada, gITF, FBX, Wavefront, STL, VRML, 3DS Max, SketchUp en Blender. Door middel van de update CAD-tool wordt gecontroleerd of het geïmporteerde CAD-model gewijzigd is. Als het CAD-model gewijzigd is, wordt het model in Emulate3D ook gewijzigd [81], [82].

Ook is er de mogelijkheid om data te verzamelen. Dit kan door middel van de functies uit de *data collection* catalogoog. Alle verzamelde data kan geëxporteerd worden naar een Excel-tabel. Om de datacollectie te versnellen kan de uitvoersnelheid van de simulatie verhoogd worden. Dit zorgt er ook voor dat de *performance* van het programma zal dalen. Het is belangrijk om het model te vereenvoudigen om computerkracht te sparen en *performance* omhoog te krijgen. Tijdens simulatie door een externe controller zoals een PLC kan de programmasnelheid niet gewijzigd worden [74].



Er zijn verschillende soorten licenties mogelijk die hieronder worden opgesomd [74].

- **ULS (Universal License Server):**  
Dit is een licentie via de server van Emulate3D. Door middel van een ULS *key* kan verbonden worden met de Emulate3D licentieserver. Er kunnen tot zes licenties zijn op één ULS *key*.
- **NLS (Network Location Server):**  
De licentie wordt *gehost* via een eigen/lokale server. In deze server wordt de licentie beschikbaar gesteld d.m.v. een usb-*dongle* in de server.
- **Usb-dongle:**  
In plaats van een usb-*dongle* in een server te steken is het ook mogelijk om de usb-*dongle* met de licentie rechtstreeks in een computer te steken. Hierdoor is de licentie slechts beschikbaar voor de computer met de usb-*dongle*.
- **FTA (Factory Talk Activation):**  
Voor een tijdelijke licentie waarmee bijvoorbeeld een opleiding wordt gevolgd kan de licentie geactiveerd worden d.m.v. een download file.

Tot slot is het mogelijk om de Emulate3D *features* al toe te kennen in de CAD-software tijdens het ontwerpproces. De *CAD is the model* tab uit Emulate3D kan door middel van een extensie ook geïnstalleerd worden in PTC Creo, SolidWorks, Inventor, Navisworks en Revit. Hiermee kunnen de *constraints* al gedefinieerd worden tijdens het CAD-ontwerp. Deze *constraints* uit de CAD-software worden mee geïmporteerd in Emulate3D.

### 3.8 Conclusie

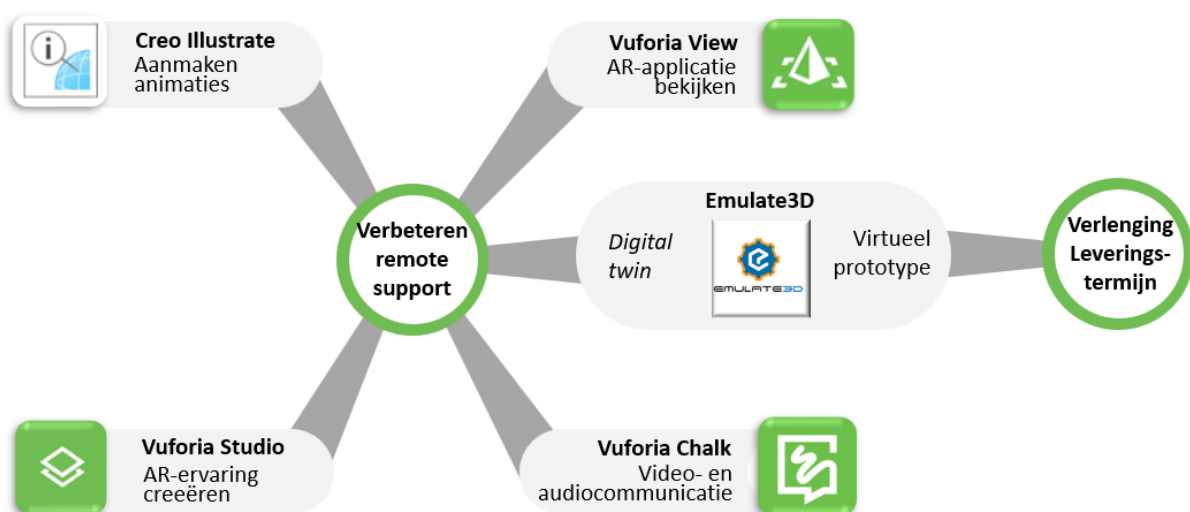
Om de klant zelfstandig de nieuwe machine te laten opbouwen en opstarten is een duidelijke weergave van het stappenplan nodig. Dit kan bekomen worden door de stappen voor de opbouw en opstart van de machine visueel te animeren in Creo Illustrate op basis van het CAD-model. Aan de hand van deze animaties kan een applicatie gecreëerd worden in Vuforia Studio.

In Vuforia Studio kan de installatie worden weergegeven in *augmented reality* waarop de stappen van de assemblage zichtbaar worden. Ook kunnen in Vuforia Studio bij bepaalde onderdelen datasheets en documenten worden toegevoegd. Bij problemen tijdens de opbouw kan in de Vuforia Studio applicatie een nieuwe animatie worden toegevoegd met extra uitleg en documenten. Ook kan een *subassembly* uitgelicht worden. De gemaakte AR-ervaringen kunnen bekeken worden in de gratis applicatie Vuforia View. Dit is echter niet live.

Er is een mogelijkheid tot live contact via Vuforia Chalk. Er kan in de Vuforia Studio applicatie een knop worden toegevoegd met een snelkoppeling naar Vuforia Chalk. Hiermee kan de klant snel geholpen worden als tegen een probleem aangelopen wordt. In Vuforia Chalk is de mogelijkheid om via video en audio te communiceren met de klant. In Vuforia Chalk kunnen onderdelen aangeduid worden door de techniker. De aanduidingen blijven bij de installatie staan door middel van *augmented reality*. Ook kan Vuforia Chalk gebruikt worden bij storingen of problemen die zich niet tijdens de opbouw voordoen, maar bij reeds bestaande machines. Het voordeel van Vuforia Chalk is dat het snel te implementeren is in het bedrijf.

Live machinedata kan ingelezen worden in Vuforia Studio doormiddel van het ThingWorx platform. Ook is het mogelijk om een *digital twin* te creëren met PTC ThingWorx. Echter is een virtueel prototype creëren niet mogelijk met het ThingWorx platform. Het creëren van een virtueel prototype en een *digital twin* is wel mogelijk met Emulate3D. Hierdoor wordt gekozen voor Emulate3D. Deze sluit beter aan bij het eisenpakket.

Al deze implementaties zorgen voor een kostenbesparing door de verbetering van *remote support*. De techniker moet minder snel ter plaatse gaan, waardoor de klant sneller van op afstand geholpen kan worden. Dit zal resulteren in een vermindering van de *downtime* bij de klant. Een overzicht van de geselecteerde softwarepakketten is te zien op Figuur 52.



Figuur 52: Overzicht van de verschillende softwarepakketten

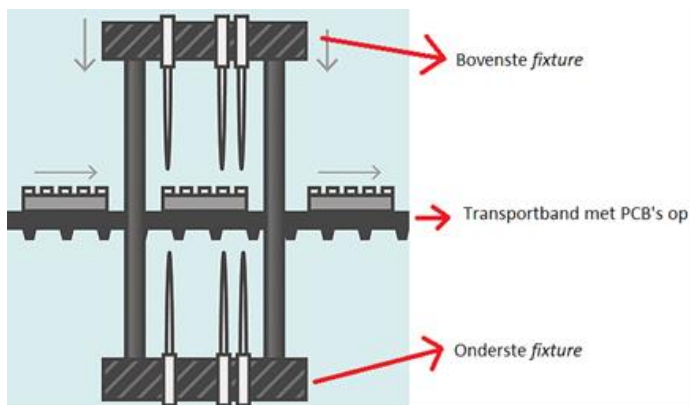


## 4 Praktische uitwerking

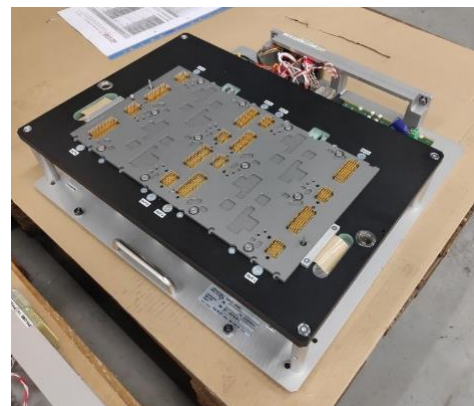
### 4.1 Inleiding

De praktische uitwerking vindt plaats op de *Easy Test Handler* (= ETH) van IPTE. De CAD-tekeningen van de ETH zijn beschikbaar gesteld als STEP en zijn ingeladen in PTC Creo.

De ETH wordt gebruikt om te testen of een PCB correct gemaakt is. De ETH-module wordt meestal op het einde van de PCB-productielijn geplaatst zodat de PCB snel getest kan worden. De PCB komt via een transportband in de ETH terecht. Vervolgens zullen twee *fixtures* (zie Figuur 54) op de boven- en onderkant van de PCB duwen. De twee *fixtures* bestaan uit metalen pinnen. De metalen pinnen zullen contact maken met de verbindingen op de PCB. Zo kan gecontroleerd worden of er geen fouten zijn in de interne verbindingen van de PCB. De bovenste *fixture* wordt omhoog en omlaag bewogen. De transportband is in verticale richting verend opgesteld en de onderste *fixture* zit vast op zijn plaats. Door de bovenste *fixture* naar onder te bewegen zal de PCB op de transportband ook omlaag bewegen tot er contact is met de onderste *fixture*. Door de *fixtures* te veranderen kunnen andere PCB-borden gecontroleerd worden, de werking is zichtbaar op Figuur 53 [83].



Figuur 53: Werking van de ETH [83]



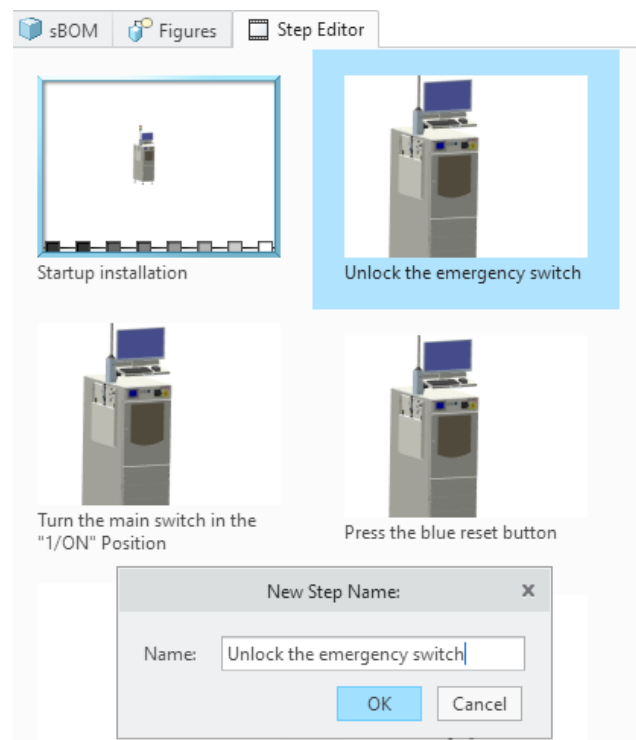
Figuur 54: Fixture van de ETH

## 4.2 Creo Illustrate

In overleg met IPTE zijn zes verschillende animaties gemaakt van de meest voorkomende problemen met de ETH. Deze animaties zijn de opstart van de ETH-installatie en het vervangen van verschillende onderdelen. De animaties zijn gecreëerd in PTC Creo Illustrate. Alle animaties kunnen digitaal bekeken worden via PTC Creo View of in AR bekeken worden via Vuforia View.

Bij het aanmaken van een nieuwe illustratie is er de keuze om een kopie van het CAD-bestand te gebruiken of om deze te linken aan het CAD-bestand. Hier is het belangrijk dat via een link met het CAD-bestand gewerkt wordt. Dit is niet mogelijk met alle bestandsformaten. Om deze reden is het STEP-bestand ingeladen in PTC Creo zodat deze link wel mogelijk is. Wanneer nu een aanpassing plaatsvindt in het CAD-bestand vanuit PTC Creo, dan zal deze aanpassing automatisch doorgevoerd worden naar Creo Illustrate. Deze update vindt enkel in de eBOM plaats en niet in de sBOM van Creo Illustrate. De aanpassingen moeten dan manueel van de eBOM naar de sBOM gesleept en geactiveerd worden. Dit is mogelijk door in het tabblad 'tools' naar de *feature* 'edit structure' te gaan. Hier opent dan een venster waarin de eBOM wordt weergegeven.

Tijdens het creëren van het stappenplan is het belangrijk dat de verschillende stappen op de juiste plaats benoemd worden (zie Figuur 55). Dit wordt gedaan door in de *Step Editor* met de rechtermuisknop op de gewenste stap te klikken en de optie *rename* te kiezen. Indien dit juist gedaan wordt dan zijn deze benamingen gemakkelijk mee te nemen naar Vuforia Studio aan de hand van JavaScript.



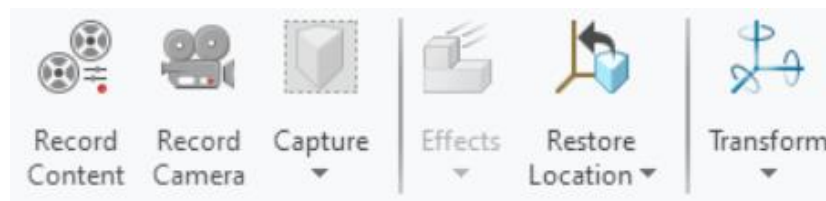
Figuur 55: Stappen benoemen in Creo Illustrate [43]

Als een animatie plaatsvindt bij kleine onderdelen, zoals bouten, dan wordt de locatie verduidelijkt door middel van rode pijlen. Belangrijk hierbij is dat deze rode pijlen als *part* toegevoegd worden aan de *assembly* in PTC Creo en niet via *symbols* in PTC Creo Illustrate. Als de pijlen toch worden toegevoegd via *symbols* in PTC Creo Illustrate, dan worden deze niet meegenomen naar Vuforia Studio. Dit is een beperking tussen Creo Illustrate en Vuforia Studio.

Voor het creëren van een illustratie moet eerst een nieuwe *figure* aangemaakt worden. Daarna moet gekozen worden of deze *figure* een *sequence* of een animatie is. Voor de applicatie van IPTE is gekozen om met *sequences* te werken. Hierbij is het mogelijk om de illustraties te verdelen over verschillende stappen. Dit zorgt ervoor dat achteraf in Vuforia Studio ook verschillende stappen weergegeven kunnen worden. Als er gewerkt zou worden met een animatie dan zijn alle illustraties één geheel en kunnen ze niet opgesplitst worden in verschillende stappen.

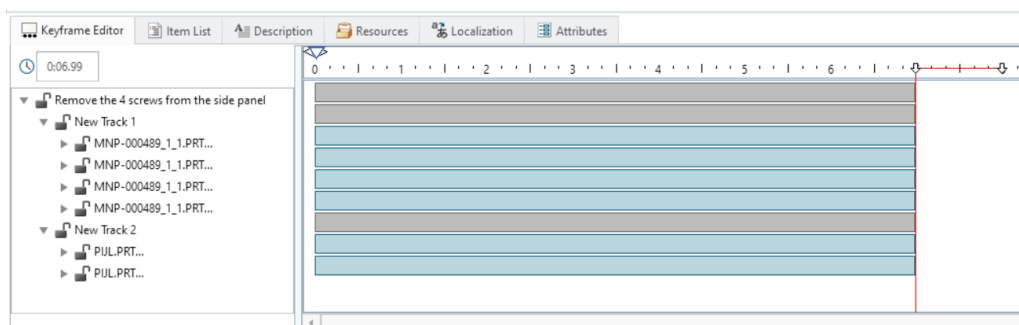
Om de illustraties te verduidelijken kan gebruik worden gemaakt van verschillende functies in Creo Illustrate, zoals *effects*. Dit maakt het mogelijk om onderdelen te laten verschijnen of verdwijnen, onderdelen te laten knippen, schroeven laten uitdraaien, ...

Om onderdelen te verschuiven of te roteren wordt gebruik gemaakt van de *transform* functie. De *restore location* functie kan gebruikt worden om onderdelen terug op de originele locatie te zetten. Deze drie functies (zie Figuur 56) worden het meest gebruikt om duidelijke illustraties te creëren. De effecten worden enkel opgenomen als de functie *record content* is geactiveerd. Door de functie *record camera* te activeren worden ook de rotaties van het scherm mee opgenomen. Deze schermrotaties worden niet meegenomen in Vuforia Studio.



Figuur 56: Verschillende functies in Creo Illustrate [43]

In de tijdlijn is het mogelijk om de gemaakte illustraties van elk onderdeel te verschuiven ten opzichte van elkaar. Ook is het mogelijk om de lengte van de animatie en effecten van elk onderdeel te veranderen in de tijdlijn. De locatie van de rode pijl geeft aan waar de nieuwe animatie ingevoegd zal worden (zie Figuur 57).



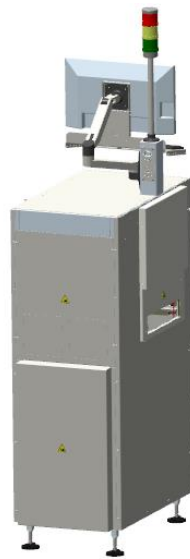
Figuur 57: Tijdlijn in Creo Illustrate [43]

Ten slotte worden de illustraties gepubliceerd naar een PTC Creo View bestand (PVZ-bestand). Dit is nodig om de illustraties in te laden in Vuforia Studio.

De animatie over het vervangen van de spindelmotor is hieronder stap per stap beschreven om een idee te geven hoe gedetailleerd een animatie is. Van de andere animaties zijn enkele screenshots geplaatst omdat het niet de bedoeling is om een handleiding uit te schrijven.

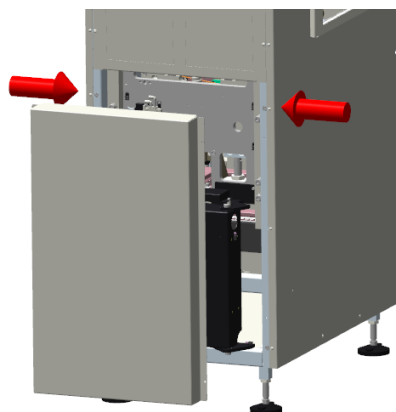
#### 4.2.1 Spindelmotor vervangen

Deze animatiereeks geeft het demonteren van de spindelmotor weer. Voor het monteren van de spindelmotor moeten de stappen van achter naar voren gevolgd worden. Het doel van de spindelmotor is het omhoog en omlaag bewegen van de onderste *fixture* om zo contact te creëren met de PCB. De beginopstelling is te zien op Figuur 58.



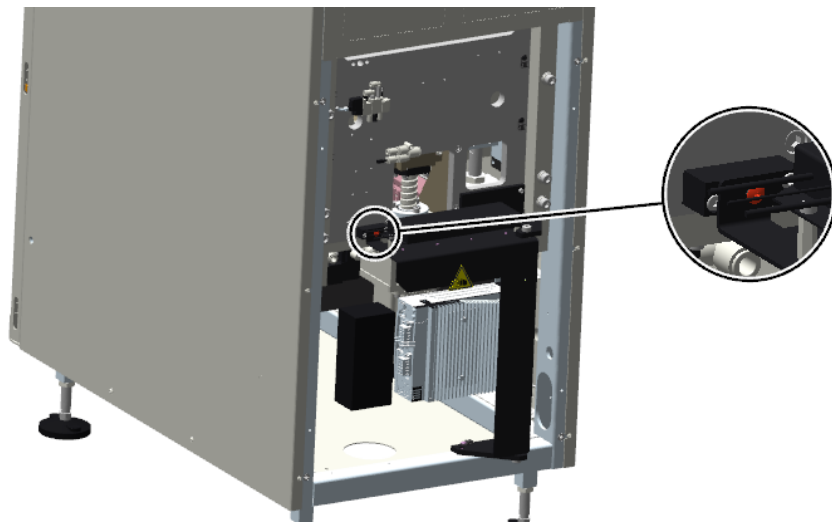
Figuur 58: Beginopstelling van de spindelmotor animatiereeks [43]

Ten eerste wordt de afdekplaat gedemonteerd. Hiervoor moeten de vier schroeven aan de zijkant van de afdekplaat losgedraaid worden. De locatie van de schroeven wordt verduidelijkt door de twee rode pijlen (zie Figuur 59).



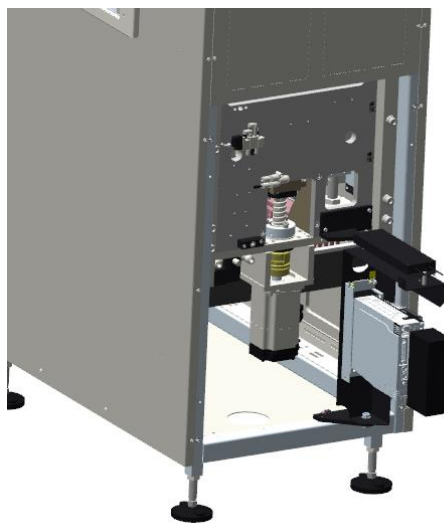
Figuur 59: Demonteren van de afdekplaat [43]

Daarna moet de rood aangeduide schroef losgedraaid worden. Om de rode schroef te verduidelijken is gebruik gemaakt van een *inset*. Dit is een ingezoomde weergave van het gewenste object (zie Figuur 60).



Figuur 60: Losdraaien van de drive-schroef [43]

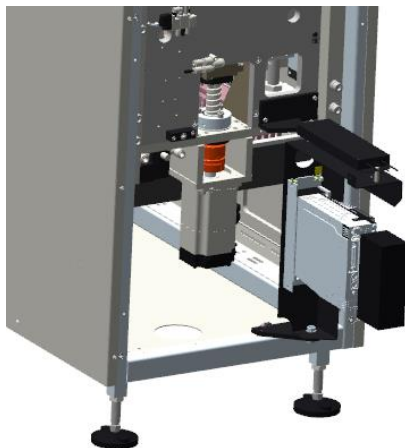
Als de schroef losgedraaid is, kan de servo-aandrijving naar buiten geroteerd worden (zie Figuur 61).



Figuur 61: Roteren van de servo-aandrijving [43]



Vervolgens moet de rood aangeduide koppeling (zie Figuur 62) geroteerd worden tot een schroef zichtbaar wordt. Deze schroef moet losgedraaid worden. De koppeling is te zien op Figuur 63.

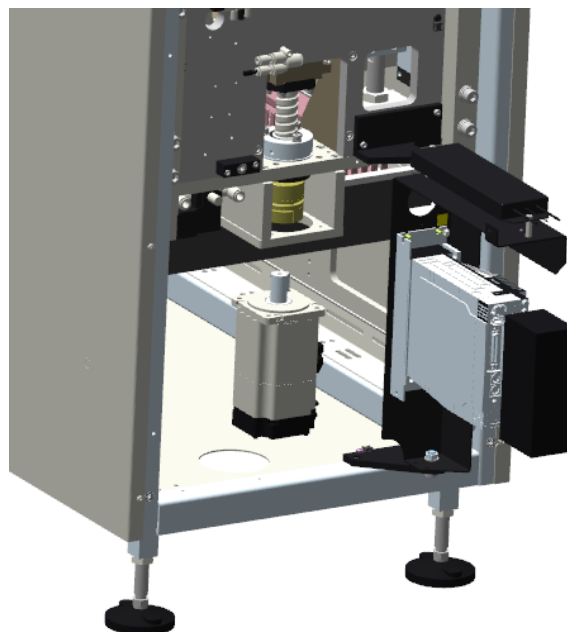


Figuur 62: Roteren van de koppeling [43]



Figuur 63: Koppeling Radex-NC15 EK [84]

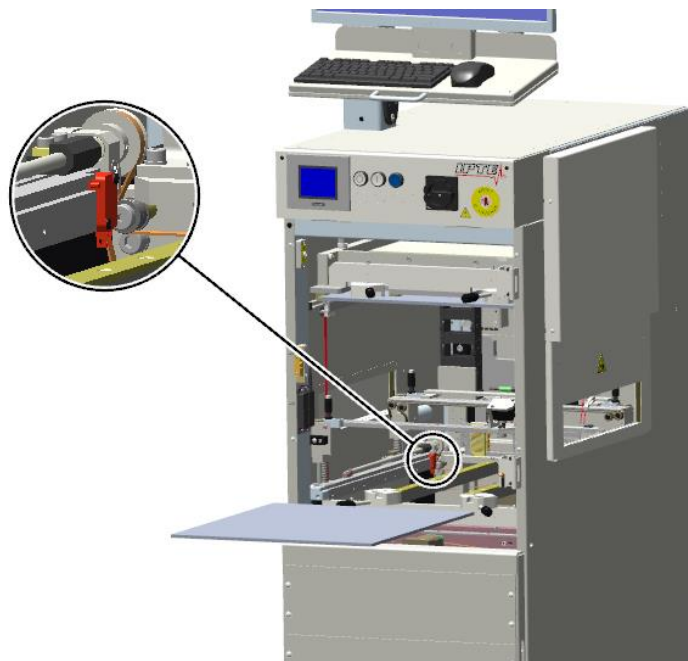
Ten slotte worden de vier schroeven en vier borgringen van de motor verwijderd. Nu kan de motor gedemonteerd worden (zie Figuur 64).



Figuur 64: Demonteren van de spindelmotor [43]

#### 4.2.2 Opstarten installatie

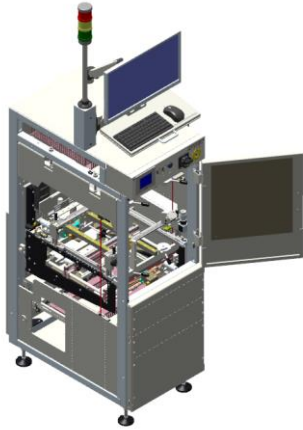
Deze animatiereeks verduidelijkt het opstarten van de ETH. Hierdoor is de klant in staat om zelf de machine op te starten. Figuur 65 geeft één stap van het stappenplan weer, namelijk het plaatsen van de onderste *fixture*. Hierbij is het belangrijk dat de *fixture* tegen de rood aangeduide eindeloopschakelaar geduwd wordt.



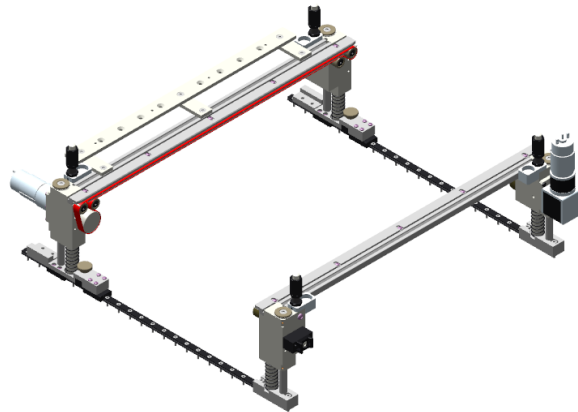
Figuur 65: Animatiereeks over het opstarten van de installatie [43]

### 4.2.3 Demonten transportband linkerkant transportsectie

Deze animatiereeks geeft het demonteren van de rood aangeduide transportband van de transportsectie aan de linkerkant weer (zie Figuur 66 en Figuur 67). Voor het monteren van de transportband moeten de stappen van achter naar voren gevolgd worden. De transportsectie is de *unit* die ervoor zorgt dat de PCB getransporteerd kan worden in en uit de ETH. De PCB wordt getransporteerd over de transportband. De transportsectie is verend opgesteld zodat de PCB in contact kan komen met de onderste en bovenste *fixture*.



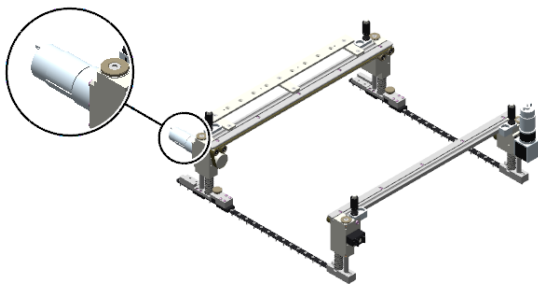
Figuur 66: Beginopstelling demonteren transportband linkerkant transportsectie [43]



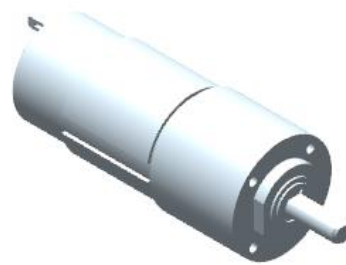
Figuur 67: Demonten transportband linkerkant transportsectie [43]

### 4.2.4 Demonten achterste motor transportsectie

Deze animatiereeks geeft het demonteren van de transportsectiemotor aan de achterkant weer (zie Figuur 68). Voor het monteren van de motor moeten de stappen van achter naar voren gevolgd worden. Deze motor (zie Figuur 69) is de aandrijving van de linkse transportband die de PCB verplaatst.



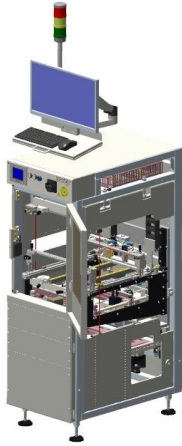
Figuur 68: Demonten achterste motor transportsectie [43]



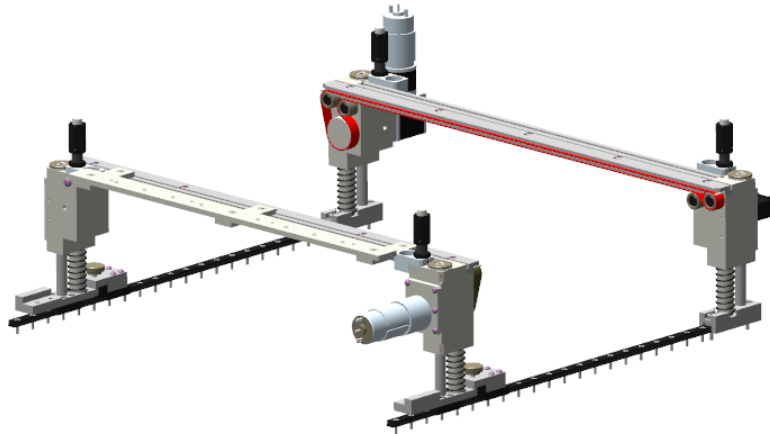
Figuur 69: Achterste motor van de transportsectie [43]

#### 4.2.5 Demonteren transportband rechterkant transportsectie

Deze animatiereeks geeft het demonteren van de rood aangeduide transportband van de transportsectie aan de rechterkant weer (zie Figuur 70 en Figuur 71). Voor het monteren van de transportband moeten de stappen van achter naar voren gevolgd worden. De PCB wordt getransporteerd over deze transportband.



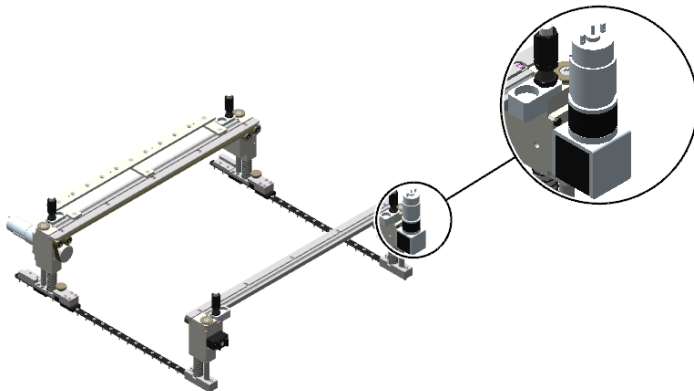
Figuur 70: Beginopstelling demonteren transportband rechterkant van de transportsectie [43]



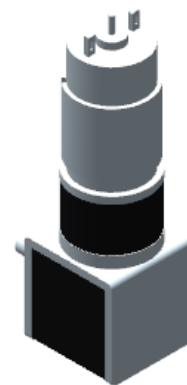
Figuur 71: Demonteren transportband linkerkant transportsectie [43]

#### 4.2.6 Demonteren voorste motor transportsectie

Deze animatiereeks geeft het demonteren van de transportsectiemotor aan de voorkant weer (zie Figuur 72). Voor het monteren van de motor moeten de stappen van achter naar voren gevolgd worden. Deze motor (zie Figuur 73) is de aandrijving van de rechtse transportband die de PCB verplaatst.



Figuur 72: Demonteren voorste motor transportsectie [43]



Figuur 73: Voorste motor van de transportsectie [43]

## 4.3 Vuforia Studio

### 4.3.1 Inleiding

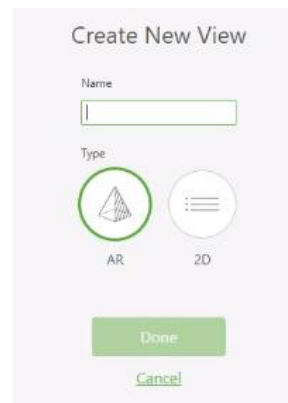
Er is een applicatie met AR-ervaringen ontworpen met behulp van Vuforia Studio. Deze gecreëerde applicatie kan bekeken worden via Vuforia View. De gebruikte animaties voor Vuforia Studio zijn gecreëerd in Creo Illustrate. Als de klant een probleem ondervindt tijdens de opstart van de installatie of tijdens het vervangen van een bepaald onderdeel kunnen deze AR-ervaringen als visuele ondersteuning gebruikt worden [85].

### 4.3.2 Views aanmaken

Eerst moet gekozen worden of de applicatie gemaakt wordt voor *2D-eyewear*, *3D-eyewear* of een mobiel apparaat. Voor de applicatie van de ETH is gekozen voor een mobiel apparaat. De eerste stap die moet gebeuren is het toevoegen van *views* (zie Figuur 74). Dit wordt gedaan door op de '+' te klikken in het tabblad *views*. Er opent een nieuw venster (zie Figuur 75). Hier kan gekozen worden tussen AR en 2D. Een *2D-view* wordt gekozen om de homepagina aan te maken. Een *AR-view* wordt gekozen voor elke gecreëerde animatie uit Creo Illustrate. Er zijn zeven *views* aangemaakt namelijk vijf *views* voor de veelvoorkomende problemen, één *view* voor de opstart van de installatie en één *view* voor het startscherm. Enkel het startscherm wordt gecreëerd als een *2D-view*, de andere *views* zijn *AR-views*.

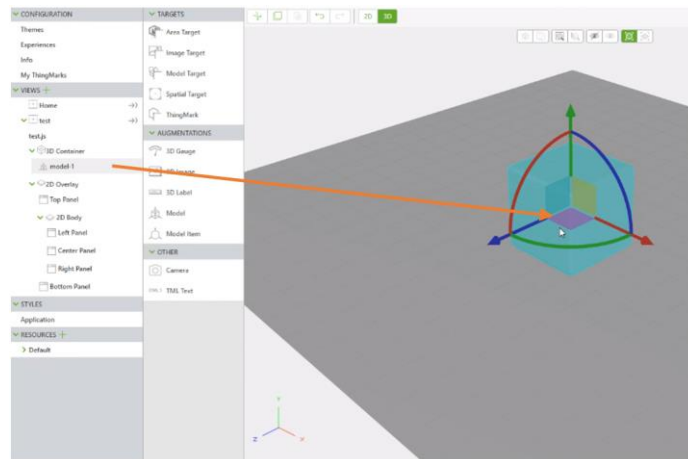


Figuur 74: Toevoegen van *views* in Vuforia Studio [85]

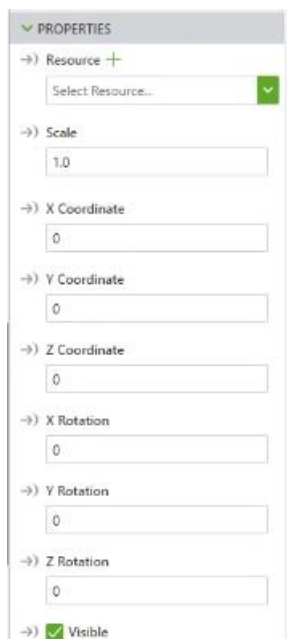


Figuur 75: Creëren van een nieuwe *view* in Vuforia Studio [85]

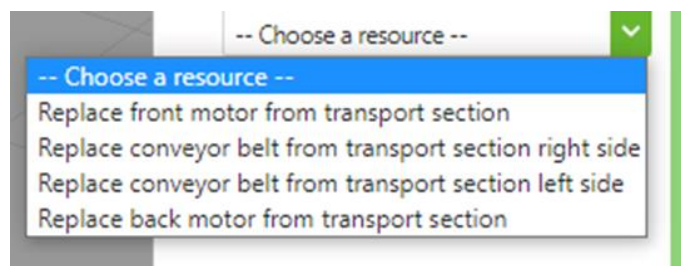
Daarna wordt voor elke AR-view het model naar het 3D-veld geslept, zoals te zien in Figuur 76. In dit model wordt het gepubliceerde PVZ-bestand met de illustraties vanuit PTC Creo Illustrate ingeladen. Dit wordt gedaan door op de '+' te klikken bij *resource*, zoals te zien in Figuur 77. Als het PVZ-bestand geselecteerd is moet 'Run CAD Optimizer' aangevinkt worden, dit zal ervoor zorgen dat het PVZ-bestand geoptimaliseerd wordt. Dit resulteert in een efficiëntere werking van de uiteindelijke applicatie. Daarna moet de juiste *sequence* (gecreëerd in Creo Illustrate) geselecteerd worden, zoals te zien in Figuur 78. Zo zal iedere *view* de gewenste AR-ervaring/*sequence* bevatten.



Figuur 76: Plaatsen van het model in Vuforia Studio [85]

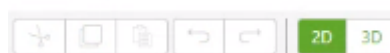


Figuur 77: Inladen van het PVZ-bestand [85]



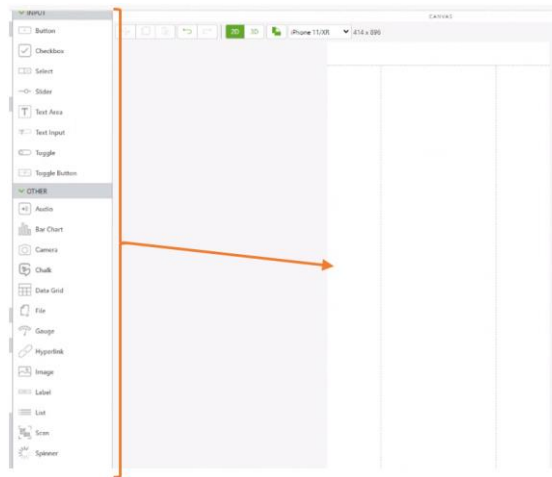
Figuur 78: Selecteren van de *sequence* [85]

Nadat de *sequence* is gekoppeld aan de *view* moet voor elke *view* het 2D-schermbild gemaakt worden. Dit wordt gedaan door op '2D' te klikken, zoals te zien in Figuur 79.



Figuur 79: 2D-view [85]

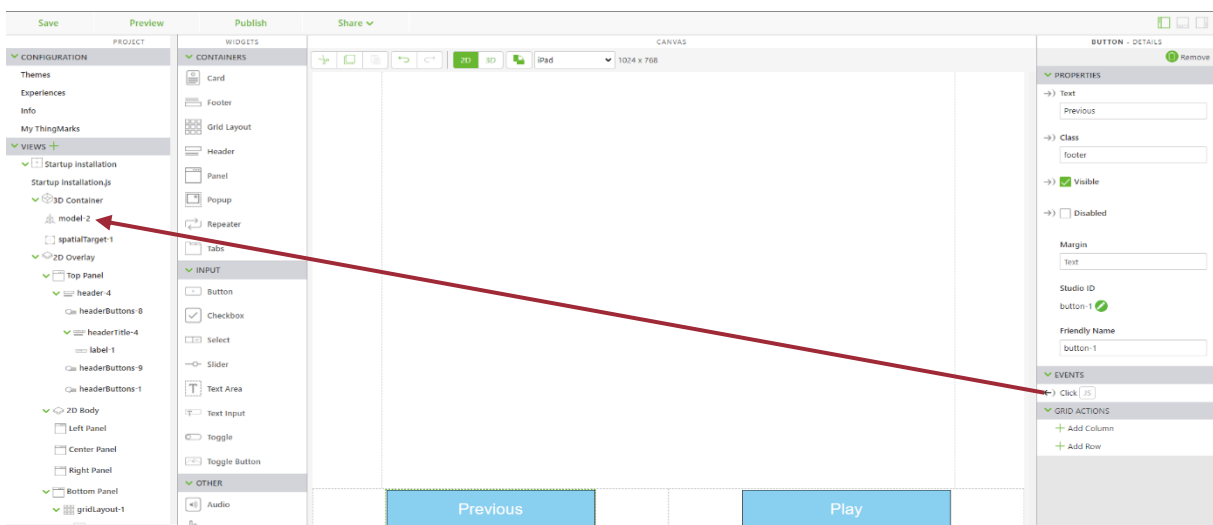
Het 2D-view wordt gecreëerd door middel van het eenvoudige *drag and drop* principe van Vuforia Studio (zie Figuur 80). De widgets (knoppen, labels, ...) kunnen eenvoudig geslept worden in het afspeelscherm. Vanboven in het scherm kan een toestel gekozen worden, een ander toestel vergroot of verkleint het canvas. In het huidige voorbeeld is gekozen voor een iPad. De geplaatste widgets blijven even groot onafhankelijk van het gekozen toestel, dit wordt later opgelost door middel van CSS. Hierdoor zal de applicatie compatibel zijn met ieder toestel.



Figuur 80: *Drag and drop interface* van Vuforia Studio [85]

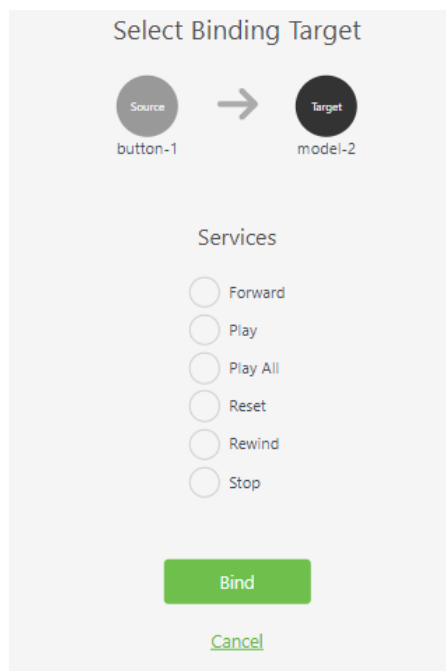
Het canvas is opgedeeld in 3 verschillende delen namelijk, *top panel*, *2D body* en *bottom panel*. In het *top panel* is een *header* geplaatst die het *label* bevat. De *2D body* bevat het 3D-model, deze wordt hier automatisch geplaatst. Het *bottom panel* is opgedeeld in twee kolommen door middel van de widget *grid layout*. Hier worden de knoppen *previous* en *play* in geplaatst.

De knoppen *previous* en *play* moeten ook gekoppeld worden aan de bijhorende actie. Dit wordt gedaan door op een knop, bijvoorbeeld *play*, te klikken waardoor een nieuw venster geopend wordt. In dit venster is een knop *events*. Deze knop moet naar het gewenste model geslept worden zoals te zien op Figuur 81.



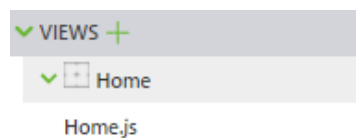
Figuur 81: Koppelen 2D-knoppen in het afspeelscherm [85]

Nu opent een pop-up scherm (zie Figuur 82) waarin de actie van de knop gedefinieerd moet worden. Aan de *play*-knop wordt de actie *play* toegekend en aan de *previous*-knop de actie *rewind*. Er zijn meerdere mogelijkheden wat acties betreft, maar die worden in deze toepassing niet gebruikt.



Figuur 82: Functies 2D-knop afspeelscherm [85]

Indien in PTC Creo Illustrate de stappen juist benoemd zijn volgens Figuur 55 dan kan ook de uitleg over elke stap worden weergegeven in het afspeelscherm. Dit wordt gerealiseerd door een JavaScript code toe te voegen en deze te koppelen aan een label in Vuforia Studio. De JavaScript code kan geopend worden door het '.js' bestand te openen bij het tabblad *views*, zoals te zien in Figuur 83.



Figuur 83: Openen JavaScript in Vuforia Studio [85]



Het label wordt toegevoegd aan het afspeelscherm. Door de JavaScript code aan het label te koppelen zal uitleg over elke stap weergegeven worden in het afspeelscherm. De JavaScript code kan gekoppeld worden aan het label in het afspeelscherm door bij de eigenschappen van het label de 'studio ID' dezelfde naam te geven als het 'label ID'. In dit voorbeeld 'label-1'. Dit zal zorgen voor extra verduidelijking bij de AR-ervaring. Deze code is te zien op Figuur 84.

```
1 // $scope, $element, $attrs, $injector, $sce, $timeout, $http, $ionicPopup, and $ionicPopover services are available
2
3
4
5
6 var labelId = "label-1"; // ID of the Label widget that displays the Step progress and description text
7
8 // this $on event handler switches the label based on the the sequence definition
9
10 // the arg variable is of the following form: (<step #>/<total step #> <step name>
11
12 $scope.$on('newStep', function(evt, arg) {
13     $scope.setWidgetProp( labelId, "text", arg); // get the currentStep from the arg
14
15 });
16
```

Figuur 84: JavaScript code voor het label [85]

De voorbeeldweergave van de gecreëerde applicatie kan bekeken worden door naar *preview* (zie Figuur 85) te gaan.



Figuur 85: Taakbalk Vuforia Studio [85]

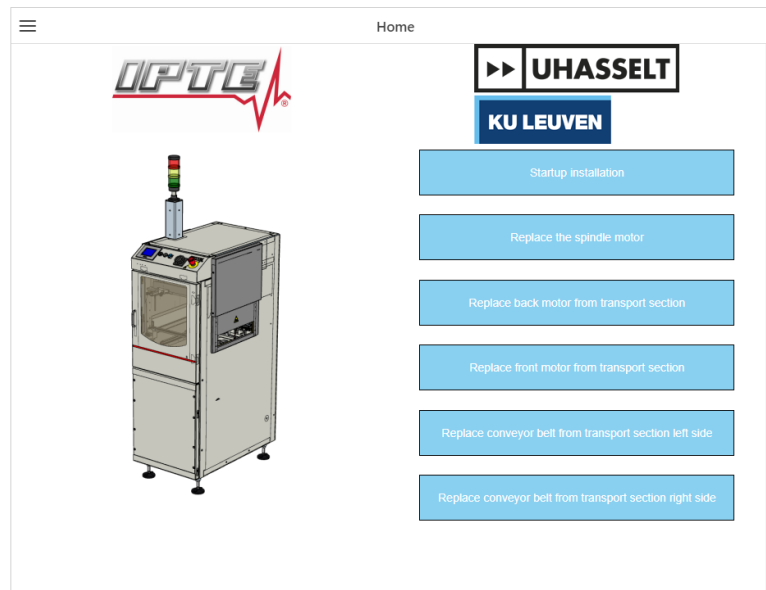
Op Figuur 86 is een *preview* van het gecreëerde afspeelscherm te zien. In dit afspeelscherm kan de animatie stap per stap afgespeeld worden via de knoppen *Previous* en *Play*. Rechtsboven in het afspeelscherm is een koppeling naar Vuforia Chalk in de *header* geplaatst. Als de klant met behulp van de AR-ervaring nog problemen ondervindt, kan contact met het bedrijf opgenomen worden door op de Vuforia Chalk knop te drukken. Dit zal de Vuforia Chalk app openen.



Figuur 86: Voorbeeldweergave van het afspeelscherm [85]

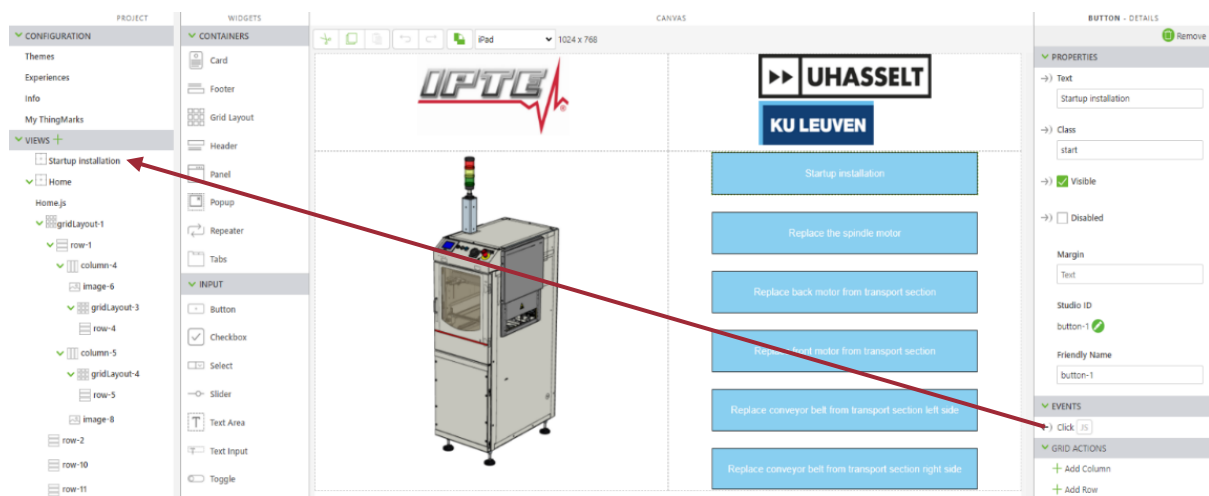
### 4.3.3 Startscherm

Op Figuur 87 is het gecreëerde startscherm van de applicatie te zien, dit is het 2D-view. Deze bevat zes knoppen met de animaties van de meest voorkomende problemen en de opstart van de installatie. De knoppen en afbeeldingen zijn toegevoegd met behulp van het eenvoudige *drag and drop* principe van Vuforia Studio. Het is belangrijk dat de *user interface* een industriële look heeft en de knoppen en afbeeldingen goed uitgelijnd zijn. De toegekende kleuren aan de knoppen is ook van belang, zo mogen de knoppen niet rood zijn want rood wordt ervaren als stop. Ook is het belangrijk om geen afkortingen te gebruiken zodat de betekenis van elke knop duidelijk is. Deze details kunnen ervoor zorgen dat iemand de tool wel of niet zal gebruiken.



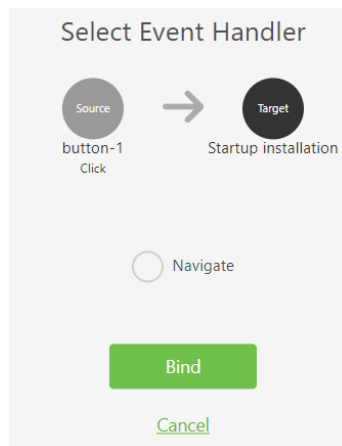
Figuur 87: Voorbeeldweergave van het startscherm [85]

Ten eerste moeten de knoppen gekoppeld worden aan de bijhorende animatie. Dit wordt gerealiseerd door op één van de zes knoppen, bijvoorbeeld *startup installation*, te klikken waardoor een nieuw venster geopend wordt. In dit venster is er een knop *events*. Dit is de actie van de bijhorende knop. Deze moet naar de gewenste *view*, *startup installation*, geslept worden zoals te zien op Figuur 88.



Figuur 88: Koppelen 2D-knoppen afspeelscherm [85]

Nu opent een pop-up scherm (zie Figuur 89) waarin de actie van de knop gedefinieerd moet worden. De actie *navigate* wordt gekoppeld aan de knop *startup installation* op het startscherm. Dit zorgt ervoor dat de functie van de knop, navigeren naar de eerder gecreëerde *view* is. Dit proces moet voor alle knoppen op het startscherm herhaald worden.



Figuur 89: Functies 2D-knop startscherm [85]

Tot slot moet het navigatiemenu geconfigureerd worden. Door naar het tabblad info te gaan kan het navigatiemenu op verborgen geplaatst worden. Doordat het afspeelscherm een *header* bevat en gewerkt wordt met een 2D-scherm kan het navigatiemenu niet verborgen worden. Dit is een *bug* in Vuforia Studio.

Om de volgorde in het navigatiemenu te veranderen moet het *appConfig.json* bestand op de lokale schijf geopend worden. Aangezien het navigatiemenu alleen zichtbaar is op het startscherm is de snelkoppeling naar het startscherm op *false* gezet in het *appConfig.json* bestand. Daardoor is deze snelkoppeling niet meer zichtbaar in het navigatiemenu (zie Figuur 90).

```
1 {
2   "name": "IPTE",
3   "projectType": "AR",
4   "viewType": "ar",
5   "fileName": "IPTE",
6   "thingworxServer": "https://8db4fc9f0db4f732.studio-trial.vuforia.io",
7   "viewTemplateFileName": "home-ar.json",
8   "state": {
9     "orientation": "portrait"
10  },
11  "targets": {
12    "phone": {
13      "components": [
14        {
15          "name": "Home",
16          "fileName": "Home",
17          "showInMainMenu": false,
18          "viewType": "mobile-2D",
19          "title": "Home"
20        },
21        {
22          "name": "Startup installation",
23          "fileName": "Startup_installation",
24          "showInMainMenu": true,
25          "viewType": "ar",
26          "title": "Startup installation"
27        },
28        {
29          "name": "Replace the spindle motor",
30          "fileName": "Replace_the_spindle_motor",
31          "showInMainMenu": true,
32          "viewType": "ar",
33          "title": "Replace the spindle motor"
34        }
35      ]
36    }
37  }
38 }
```

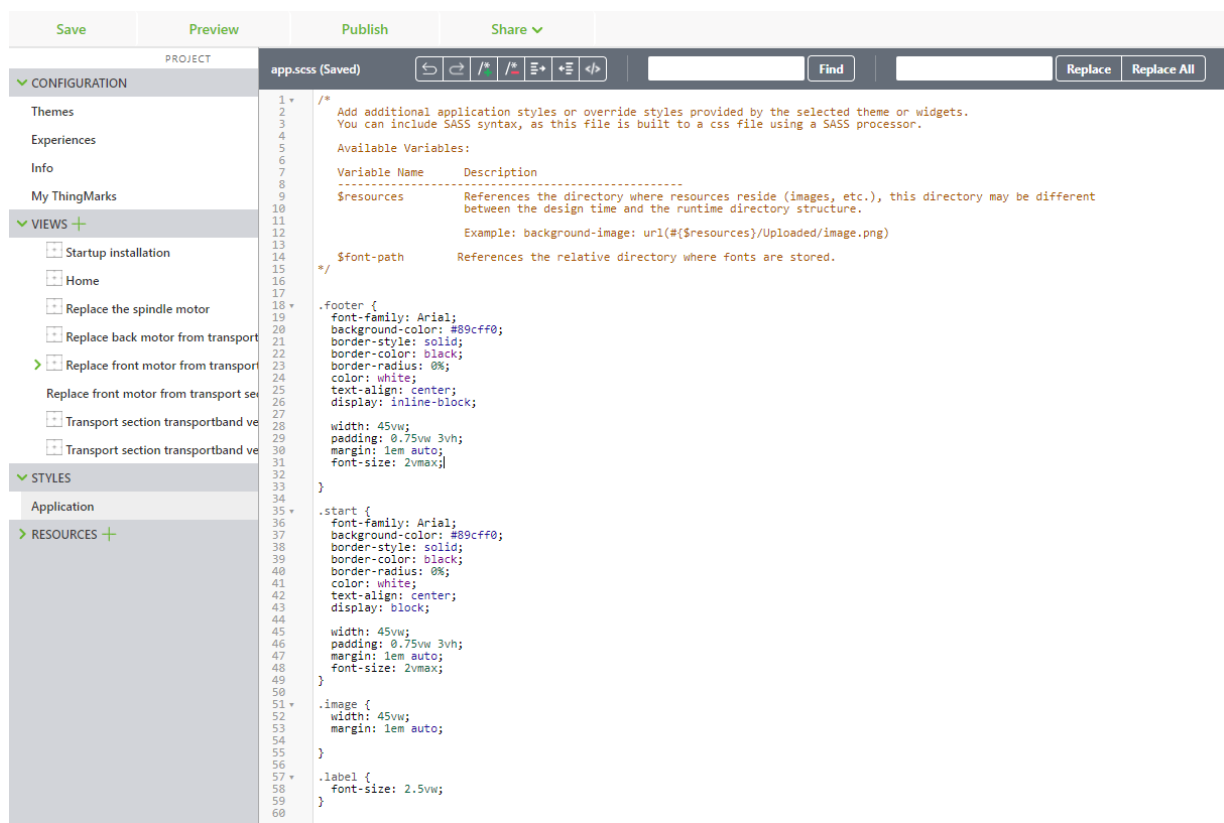
Figuur 90: Header configureren met appConfig [85]

#### 4.3.4 Applicatie compatibel met elk toestel

Omdat op voorhand niet geweten is op welk toestel de klant de AR-ervaring gaat bekijken is het nodig om de applicatie voor verschillende toestellen te creëren. In de vorige voorbeelden was de AR-ervaring gecreëerd voor een tablet.

Voor de widgets zijn er een aantal *classes* gemaakt met behulp van *Cascading Style Sheets* (CSS). Dit wordt gedaan onder het tabblad *application*. Door de vele mogelijkheden van CSS kan iedere gewenste stijl gecreëerd worden. Zo kan bijvoorbeeld het lettertype, de achtergrondkleur, de tekstkleur, ... van de knoppen geconfigureerd worden. Dit is te zien bij de *classes footer* en *start*. De widgets moeten gekoppeld worden aan de gewenste *class*. Dit wordt gedaan bij de eigenschappen van de widget.

Op Figuur 91 zijn de gemaakte *classes* te zien, namelijk: *footer*, *start*, *image* en *label*. Aan de *class footer* zijn de *previous* en *play* knop van het afspeelscherm gekoppeld. Aan de *class start* zijn alle knoppen van het startscherm gekoppeld. Alle afbeeldingen op het startscherm zijn gekoppeld aan de *class image*. Tot slot is het label van het afspeelscherm gekoppeld aan de *class label*.



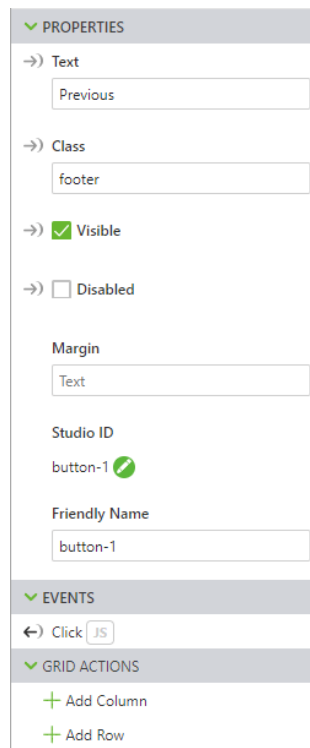
```
1 /*
2 Add additional application styles or override styles provided by the selected theme or widgets.
3 You can include SASS syntax, as this file is built to a css file using a SASS processor.
4
5 Available Variables:
6
7 Variable Name      Description
8 -----
9 $resources          References the directory where resources reside (images, etc.), this directory may be different
10                    between the design time and the runtime directory structure.
11
12                    Example: background-image: url(#{ $resources }/Uploaded/image.png)
13
14 * $font-path        References the relative directory where fonts are stored.
15
16
17
18 .footer {
19   font-family: Arial;
20   background-color: #89c9ff;
21   border-style: solid;
22   border-color: black;
23   border-radius: 0%;
24   color: white;
25   text-align: center;
26   display: inline-block;
27
28   width: 45vw;
29   padding: 0.75vw 3vh;
30   margin: 1em auto;
31   font-size: 2vmax;
32 }
33
34
35 .start {
36   font-family: Arial;
37   background-color: #89c9ff;
38   border-style: solid;
39   border-color: black;
40   border-radius: 0%;
41   color: white;
42   text-align: center;
43   display: block;
44
45   width: 45vw;
46   padding: 0.75vw 3vh;
47   margin: 1em auto;
48   font-size: 2vmax;
49 }
50
51 .image {
52   width: 45vw;
53   margin: 1em auto;
54 }
55
56
57 .label {
58   font-size: 2.5vw;
59 }
60 }
```

Figuur 91: Verschillende *classes* in CSS [85]

Aan de hand van relatieve bematingen kunnen de widgets dynamisch geprogrammeerd worden. De breedte, opvulling en lettergrootte van de widgets zullen hierdoor automatisch wijzigen afhankelijk van het toestel. Daardoor zal de applicatie compatibel zijn met elk soort mobiel toestel.

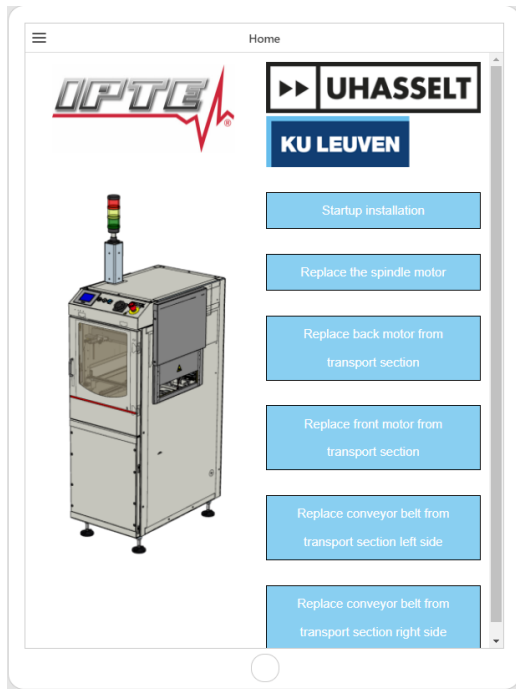
De *width* (= breedte) krijgt bij de *classes footer, start* en *image* de waarde 45vw, dit wil zeggen 45 % van de totale scherm breedte. De *padding* (= opvulling) krijgt bij de *classes footer* en *start* de waarde 0,75vw 3vh. 0,75vw wil zeggen dat de widget wordt opgevuld in de breedterichting met 0,75 % van de totale scherm breedte. 3vh vult de widget in de hoogterichting met 3 % van de totale scherm hoogte. De *font-size* (= lettergrootte) wordt ingesteld op 2vmax bij de *classes footer* en *start*, bij de *class label* wordt deze ingesteld op 2,5vw. De waarde 2vmax wordt bepaald op basis van de totale scherm breedte of de totale scherm hoogte. De waarde 2vmax wil zeggen dat de lettergrootte van 2 % berekend wordt ten opzichte van de grootste waarde. De waarde 2,5vw bij de *class label* wil zeggen een lettergrootte van 2,5 % ten opzichte van de totale scherm breedte [86].

Nadat de *classes* zijn geconfigureerd moeten deze toegekend worden aan de bijhorende widgets. Dit kan gedaan worden door bij de eigenschappen van de widget de gewenste klasse in te vullen bij *class*. In onderstaand voorbeeld wordt de *previous* knop gekoppeld aan de *class footer* (zie Figuur 92).

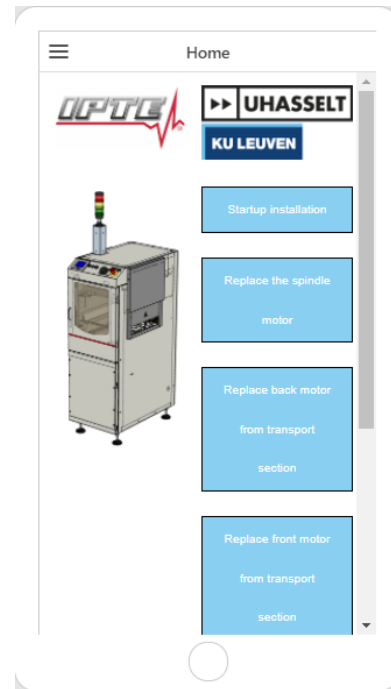


Figuur 92: Eigenschappen van de 2D-knop in Vuforia Studio [85]

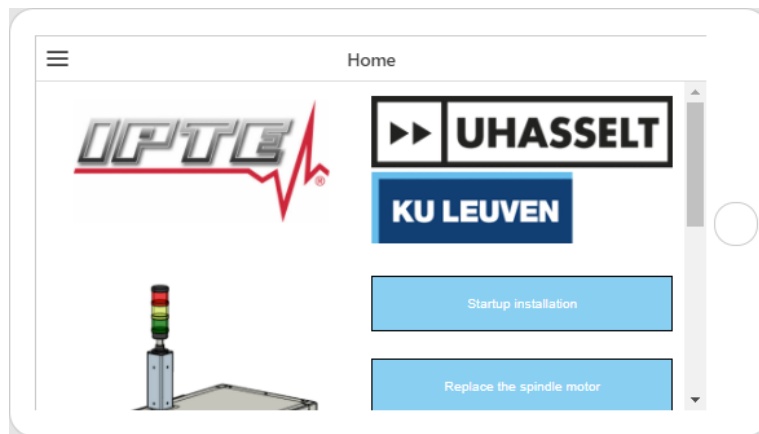
Als alle *classes* zijn toegekend aan een widget zal de grootte van de widgets automatisch wijzigen afhankelijk van de schermgrootte van het mobiel toestel, zoals te zien op Figuur 93 en Figuur 94. Ook als het toestel geroteerd wordt zal de grootte van de widgets automatisch wijzigen, zoals te zien in Figuur 94 en Figuur 95.



Figuur 93: iPad *portrait* [85]



Figuur 94: iPhone *portrait* [85]



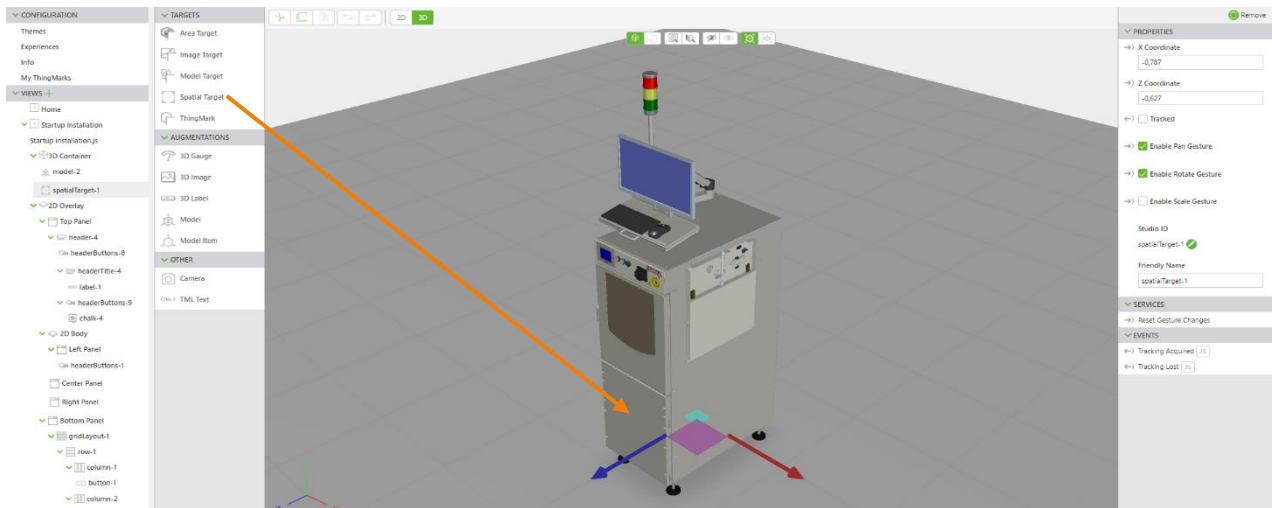
Figuur 95: iPhone *landscape* [85]

Tot slot kan de volledig gecreëerde applicatie gepubliceerd worden naar Vuforia View met de knop *publish* (zie Figuur 85). Door de *experience* URL die gegenereerd is in Vuforia Studio in te geven in Vuforia View kan de gecreëerde applicatie gratis bekeken worden.

## 4.3.5 Targets

### 4.3.5.1 Spatial target

De vorige *views* zijn allemaal geplaatst aan de hand van een *spatial target*. Dit wordt gekozen als een model virtueel op een oppervlak geplaatst moet worden. Hiervoor moet de widget *spatial target* aan het model toegekend worden. Dit kan door deze te slepen naar het 3D-model. Er opent een scherm met de verschillende eigenschappen van de *spatial target* (zie Figuur 96).



Figuur 96: Toekennen van een *spatial target* [85]

Dit kan gebruikt worden voor het bekijken van de AR-ervaring wanneer er een beperkte mogelijkheid is met het in contact komen met de fysieke machine (zie Figuur 97).



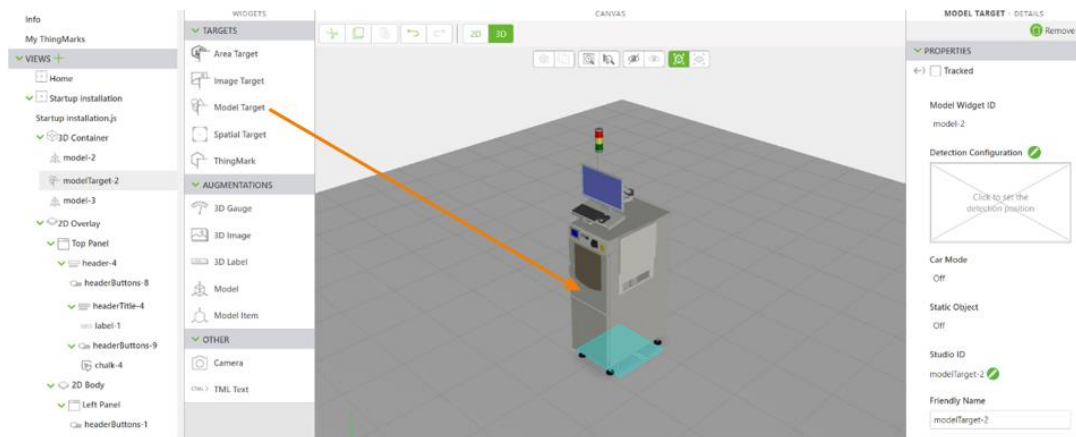
Figuur 97: View met *spatial target* [87]

### 4.3.5.2 Model target

In het volgende voorbeeld zijn de *views* geplaatst aan de hand van een *model target*. Dit wordt gebruikt om een fysiek object te herkennen. Het fysiek object wordt vergeleken met het 3D-model, de animaties zullen over de fysieke installatie weergegeven worden.

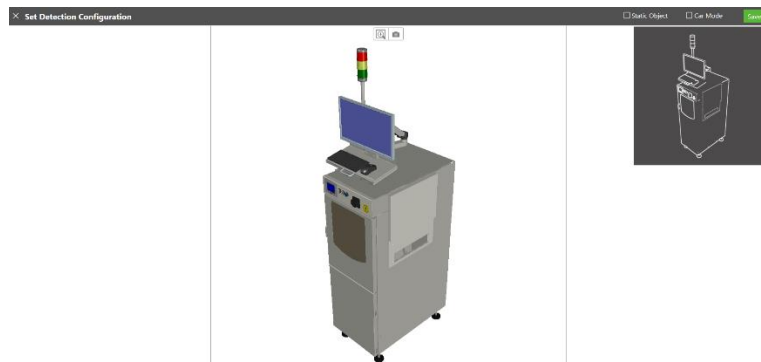
Om de AR-ervaring te optimaliseren worden enkel de geanimeerde onderdelen zichtbaar gemaakt op de fysieke installatie. Dit wordt gerealiseerd door de installatie te *hiden* in Creo Illustrate, daarna worden per stap de geanimeerde onderdelen terug zichtbaar gemaakt. Het nieuwe PVZ-bestand wordt ingeladen in Vuforia Studio.

Daarna wordt nog een PVZ-bestand aangemaakt in Creo Illustrate. In dit bestand worden alle schroeven en de hele binnenkant van de installatie verwijderd. Dit wordt gedaan omdat het model anders te complex is voor de detectieconfiguratie. Dit model wordt ook ingeladen in Vuforia Studio en wordt op 'onzichtbaar' ingesteld. Het is belangrijk dat de assenstelsels van beide PVZ-bestanden samenvallen. Aan dit model wordt de widget *model target* toegekend. Dit kan door deze te slepen naar het 3D-model. Een scherm zal dan openen met de verschillende eigenschappen van het model target (zie Figuur 98).



Figuur 98: Toekennen van een *model target* [85]

Nu moet de *detection configuration* nog ingesteld worden. Dit is de configuratie van de machine die gedetecteerd moet worden. Hiervoor moet op het groene potlood geklikt worden. Dit opent een nieuw scherm (zie Figuur 99). In dit scherm moet de machine geplaatst worden hoe deze waargenomen moet worden. Daarna wordt op de camera geklikt waardoor de detectiehoek bepaald is.



Figuur 99: *Detection configuration* [85]



Het *model target* is getest op de ETH van IPTE. Eerst moet op het startscherm de gewenste animatiereeks gekozen worden. Nadat de gewenste animatiereeks gekozen is, wordt het detectiescherm zichtbaar (zie Figuur 100), hier zoekt de applicatie naar de overeenkomstige vorm van de fysieke installatie. Zodra de installatie gevonden is, kan de applicatie de eerder gecreëerde animaties afspelen in AR (zie Figuur 101 en Figuur 102). Eerder is ingesteld dat enkel de geanimeerde onderdelen zichtbaar zijn. Hierdoor worden enkel deze weergegeven in AR op de installatie. Door middel van de knoppen *previous* en *play* is het mogelijk om respectievelijk de vorige en volgende animatie af te spelen.



Figuur 100: Detectiescherm bij een *model target* [87]



Figuur 101: Animatie die de achterplaat verwijdert in AR [87]

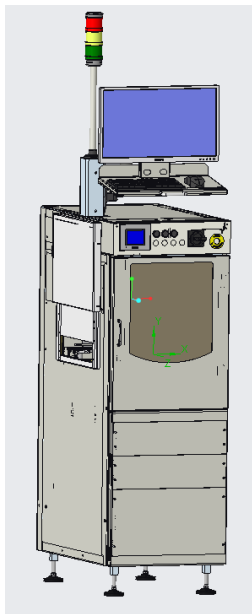


Figuur 102: Animatie die de drive opendraait in AR [87]

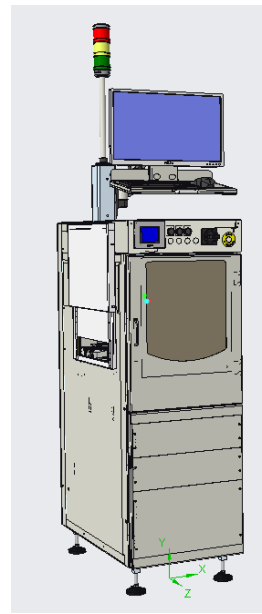
### 4.3.5.3 ThingMark

Voor marketingdoeleinden is een aparte AR-ervaring gecreëerd. Deze ervaring kan de vertegenwoordiger gebruiken om de machine in 3D weer te geven voor de klant. Bij het creëren van deze applicatie is gekozen om de machine te plaatsen door middel van een *ThingMark*. Hiervoor wordt de widget *ThingMark* aan het model toegekend. De *ThingMark* kan afgeprint worden, zodra deze gescand wordt met de Vuforia View app zal de ETH in *augmented reality* op de *ThingMark* weergegeven worden.

Omdat het assenstelsel (zie Figuur 103) in het midden van de ETH ligt en de *ThingMark* onder de machine geplaatst wordt, zal de machine gaan zweven bij het schalen met de *slider*. Dit komt doordat de machine schaalst ten opzichte van het assenstelsel. Dit kan opgelost worden door het assenstelsel onder de machine te definiëren. Hiervoor moet een nieuw assenstelsel aangemaakt worden op de gewenste positie (zie Figuur 104).

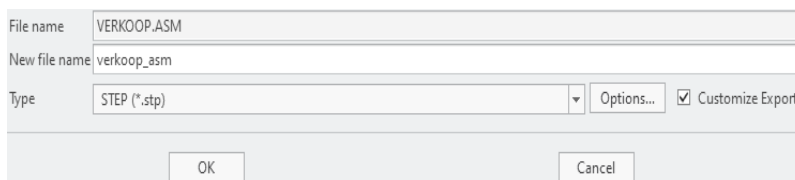


Figuur 103: ETH-assenstelsel in het midden [85]

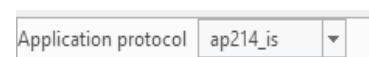


Figuur 104: ETH-assenstelsel vanonder [85]

Om een nieuw assenstelsel aan te maken moet het model worden opgeslagen als een STEP-bestand in het CAD-pakket, in dit voorbeeld PTC Creo. Bij opties wordt gekozen voor ap214 of ap242 (zie Figuur 106), zodat de kleuren behouden blijven. Het is belangrijk dat *customize export* (zie Figuur 105) aangevinkt is.

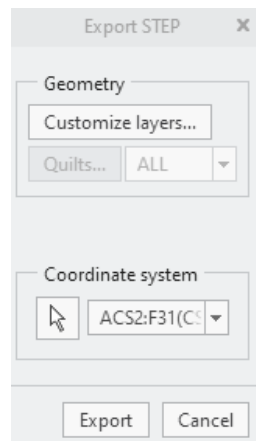


Figuur 105: CAD exporteren naar STEP [88]



Figuur 106: Protocol ap214 [88]

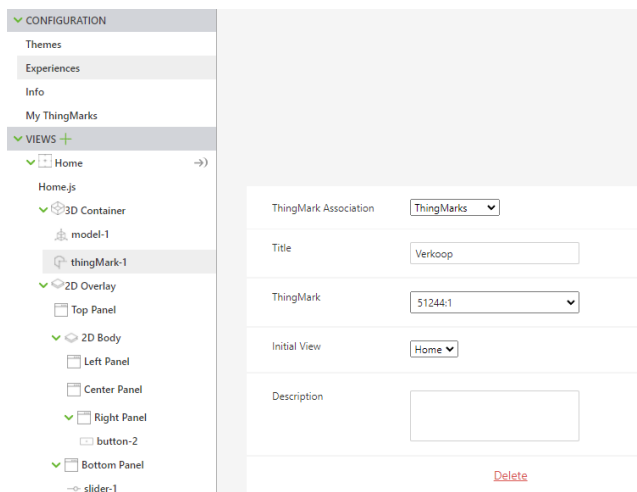
Wanneer op “OK” wordt geklikt opent een nieuw scherm (zie Figuur 107). Hier is het belangrijk dat het nieuwe assenstelsel gedefinieerd wordt. In dit geval onderaan in het midden van de machine. Daarna wordt het model geëxporteerd naar een STEP-bestand.



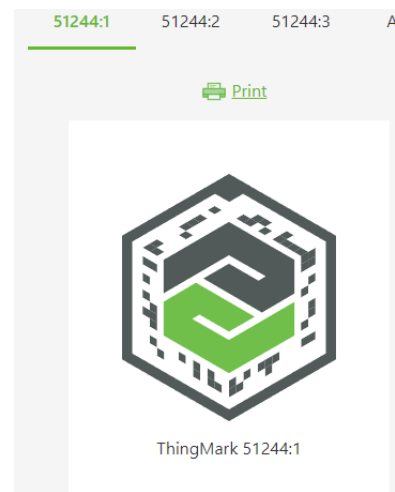
Figuur 107: Coördinaten van het systeem selecteren [88]

Tenslotte moet het STEP-bestand opnieuw geïmporteerd worden in PTC Creo. In dit geïmporteerde bestand is het nieuwe assenstelsel het nulpunt.

Als het assenstelsel onderaan de installatie geplaatst is, kan de *ThingMark* op het assenstelsel van de ETH geplaatst worden. Na het plaatsen van de *ThingMark* moet deze nog geconfigureerd worden zodat Vuforia Studio weet welke view bij de *ThingMark* hoort. Dit gebeurt in het tabblad *experiences* (zie Figuur 108). Hier is het belangrijk dat de *ThingMark Association* op *ThingMarks* staat en een *ThingMark*, bijvoorbeeld 51244:1 (zie Figuur 109), gekoppeld wordt.



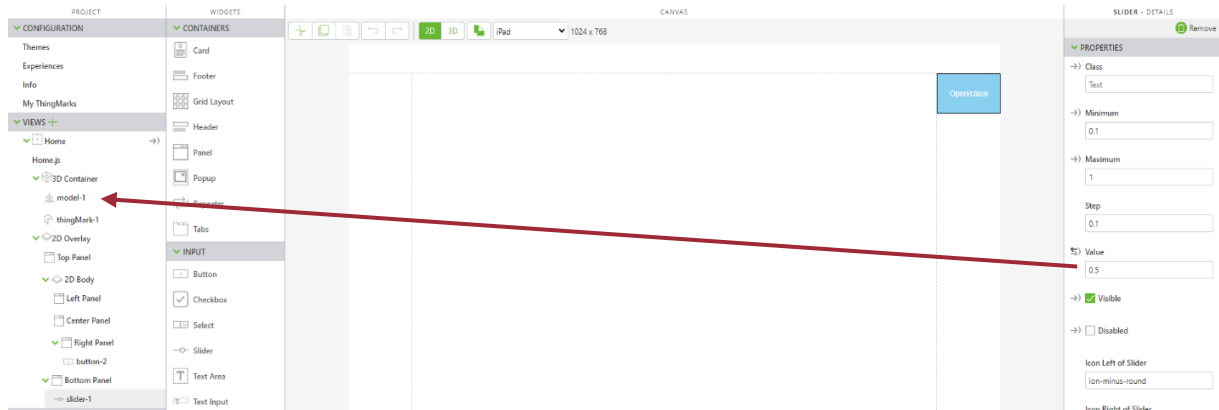
Figuur 108: Tabblad Experiences [85]



Figuur 109: ThingMark 51244:1 [85]

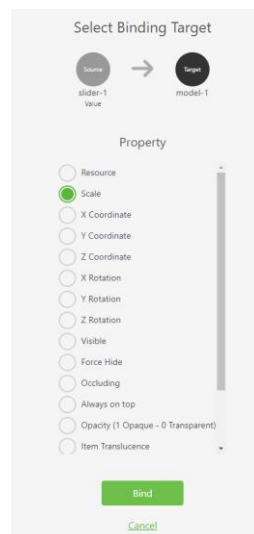
In Creo Illustrate is een animatie aangemaakt waarbij de deur van de ETH geopend en gesloten kan worden. Dit is gedaan zodat de vertegenwoordiger op een interactieve manier de ETH kan tonen aan de klant.

Voor het 2D-afspeelscherm is gekozen om een *slider* te plaatsen zodat de machine in verschillende groottes bekeken kan worden. Dit wordt simpelweg gedaan door de widget *slider* op het afspeelscherm te slepen waardoor een nieuw venster tevoorschijn komt. In dit venster wordt het bereik van de *slider* ingesteld. In dit voorbeeld is gekozen om de machine te schalen van 0,1 tot de ware grootte van de machine in stappen van 1/10. De functie van de *slider* moet ook nog toegekend worden. Dit wordt gedaan door de knop *value* te slepen naar het model (zie Figuur 110).



Figuur 110: Koppelen van de *slider* [85]

Er zal een nieuw venster openen waarin de functie van de *slider* gedefinieerd moet worden (zie Figuur 111). In dit venster wordt de eigenschap *scale* gekozen omdat het doel van de *slider* het schalen van het model is.



Figuur 111: Functie van de *slider* definiëren [85]

Nu is het mogelijk om met de Vuforia View app op een smartphone de *ThingMark* te scannen. De ETH zal dan boven op de *ThingMark* weergegeven worden in *augmented reality*. Door middel van de *slider* is het mogelijk om de ETH te herschalen. Dit zal ervoor zorgen dat de ETH op een tafel kleiner weergegeven kan worden en in bijvoorbeeld een bedrijfshal op ware grootte. Met de knop *open/close* is het mogelijk om de deur te openen (zie Figuur 112) en te sluiten (zie Figuur 113). Dit zal zorgen voor meer interactie met de klant.



Figuur 112: ETH op *ThingMark* met deur open [87]



Figuur 113: ETH op *ThingMark* met gesloten deur [87]

## 4.4 Vuforia Chalk

### 4.4.1 Mobiele applicatie

Vuforia Chalk is getest op de ETH van IPTE, de werking is hieronder beschreven.

De techniek van IPTE en de klant moeten beiden de Vuforia Chalk applicatie downloaden. Bij het openen van de applicatie is onderstaand beeld te zien (zie Figuur 114). De techniek moet inloggen met zijn account en de klant kan de sessie die de techniek aanmaakt volgen via *join session*. De klant zal dan een connectiecode moeten ingeven.

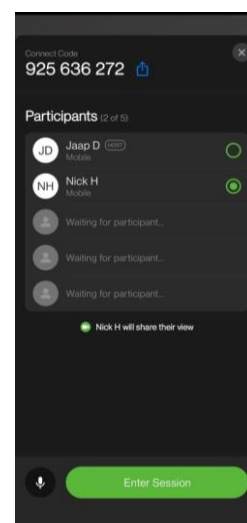


Figuur 114: Inlogpagina van de Vuforia Chalk applicatie [89]

Nadat de techniek heeft ingelogd kan gekozen worden om een sessie te starten of een reeds gestarte sessie mee te volgen (zie Figuur 115). Als de techniek een sessie mee wil volgen zal een connectiecode ingegeven moeten worden. Indien de techniek zelf een sessie wil starten zal een connectiecode gegenereerd worden. Andere deelnemers zullen deze connectiecode moeten ingeven om aan de sessie deel te kunnen nemen. De techniek, die de sessie heeft aangemaakt, kan kiezen welke deelnemer de camera zal delen. Dit is de deelnemer met de groene bol achter de naam (zie Figuur 116).



Figuur 115: Startscreen van Vuforia Chalk voor de techniek [89]

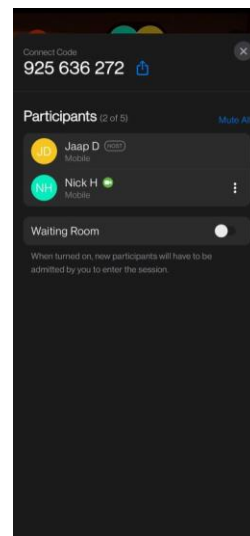


Figuur 116: Deelnemers van het gesprek [89]

Zodra de host op *enter session* drukt wordt de sessie gestart. Door op de drie puntjes te drukken rechtsboven zal een menu geopend worden (zie Figuur 117). Door op de bovenste knop in het menu te drukken is er een overzicht van de deelnemers en kan een wachtkamer geactiveerd worden. Met een wachtkamer moeten deelnemers eerst geaccepteerd worden door de host voor ze aan de sessie kunnen deelnemen (zie Figuur 118). Door op de microfoon te duwen wordt de eigen microfoon gedempt. Ook kan de host de zaklamp van de persoon die de camera deelt activeren. Door op de voorlaatste knop te drukken in het menu wordt de lage bandbreedte mode geactiveerd. De video zal gestreamd worden in hoge resolutie maar met een lagere *frame rate*. Dit kan gebruikt worden als er een slechte internetconnectie is. De laatste knop, de verfborstel, wordt gebruikt om aantekeningen te maken op het scherm. Elke deelnemer kan aantekeningen maken op het scherm, ook de kleur van de aantekeningen kan ingesteld worden. Door middel van *computer vision* technologie blijven de aantekeningen bij het bijhorende onderdeel staan. Een voorbeeld hiervan is te zien op Figuur 119 en Figuur 120. In Figuur 119 is een aantekening gemaakt en bij Figuur 120, waar de camera onder een andere hoek staat, zal de aantekening nog altijd bij hetzelfde onderdeel te zien zijn.



Figuur 117: Menu vuforia Chalk [89]



Figuur 118: Overzicht deelnemers [89]



Figuur 119: Aantekening in AR op de ETH [89]



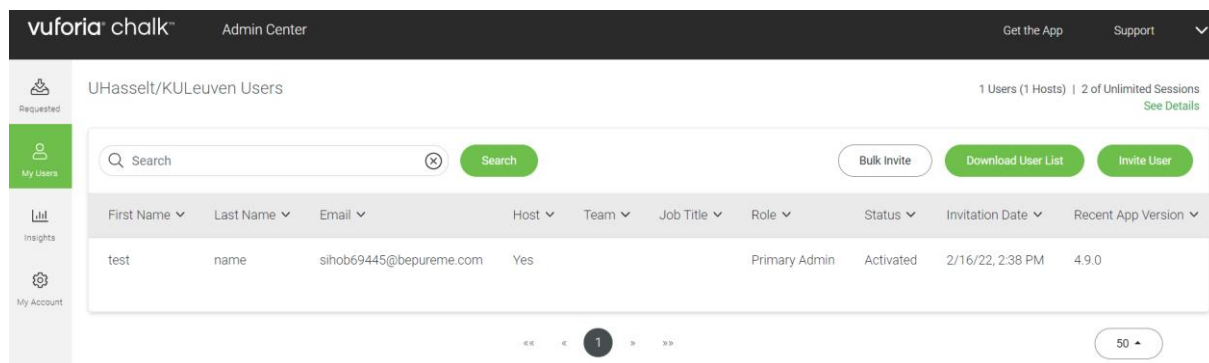
Figuur 120: Aantekening in AR op de ETH onder een andere hoek [89]

Na de sessie heeft de host de mogelijkheid om de gemaakte aantekeningen te exporteren zodat deze achteraf nog gebruikt kunnen worden als bewijs van service of opleidingsdoelinden.

## 4.4.2 Admin center

In het *Admin center* (zie Figuur 121) kunnen alle leden van de organisatie, in dit geval IPTE, toegevoegd worden. Voor elke gebruiker kan de functie opgegeven worden en de mogelijkheid om host te zijn van een sessie, er is een duidelijk overzicht van alle gebruikers. Ook is er een grafiek zichtbaar van het aantal unieke gebruikers die betrokken zijn geweest bij een sessie.

Er is een overzicht van alle Chalk sessies die plaats hebben gevonden onder het tabblad *insights*, hierbij zijn de e-mailadressen van de host en deelnemers zichtbaar, de dag van de sessie, het uur van de sessie en de duur van de sessie. Er is de mogelijkheid om deze data te downloaden naar een CSV-bestand.



Figuur 121: Vuforia Chalk *Admin Center* [89]

Onder de tab *my account* is er de mogelijkheid om het encryptietype in te stellen (zie Figuur 122). Met de standaard encryptie is het mogelijk om met vijf mensen tegelijk te bellen. Er is een evenwicht tussen functies en beveiliging. De encryptiesleutel zit in een *cloud* waar de inhoud gecodeerd wordt. Daarna wordt de inhoud gedeeld met de deelnemers en wordt de inhoud gedecodeerd [90], [91].

Met de *end-to-end* encryptie is het slechts mogelijk om met twee mensen tegelijk een sessie te volgen. De sessie vindt plaats volgens een *peer-to-peer* model. Dit wil zeggen dat een netwerk gebouwd wordt tussen de twee apparaten zonder de tussenkomst van een server [90] - [92].

### Encryption Type [Learn More](#)

- Standard Encryption Recommended  
Offers the best balance between features such as Multi-Expert Sessions, user-friendliness and security.
- End-to-end Encryption (E2EE)  
Offers the highest level of security, but some features such as Multi-Expert Sessions will not be available to your users.
- Allow Host to Choose  
Your users must choose which encryption type they want each time they start a session. Please carefully consider that if you choose this option, your users may need training on when to use Standard Encryption vs. End-to-end Encryption

Figuur 122: Vuforia Chalk *Admin Center* verschillende encryptietypes [89]



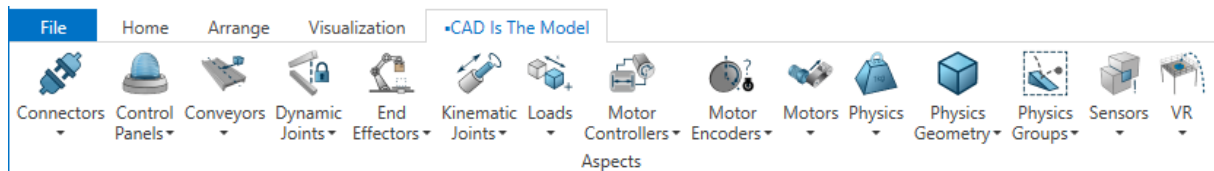
## 4.5 Emulate3D

### 4.5.1 Opstart

Voor de praktische uitwerking van Emulate3D is een virtueel model gecreëerd van de *Easy Test Handler* van IPTE. Met dit virtueel model is het enerzijds mogelijk om het PLC-programma te testen (= *virtual prototyping*), anderzijds is het mogelijk om dit model als *digital twin* te gebruiken. Om Emulate3D op te starten moet het programma worden uitgevoerd als administrator, anders zijn er functies in het programma die niet werken. Het CAD-model van de ETH is geïmporteerd als een STEP-bestand.

### 4.5.2 CAD is The Model

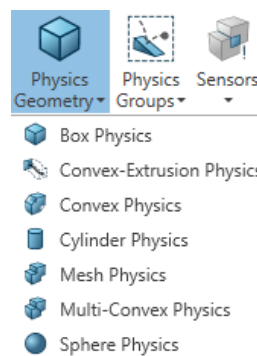
Op het geïmporteerde CAD-model moeten functionaliteiten toegevoegd worden zoals motoren, sensoren, knoppen, ... Er is geen eenduidige oplossing om tot het gewenste resultaat te komen, meerdere mogelijkheden kunnen leiden tot dezelfde oplossing. Deze functionaliteiten worden toegevoegd via de 'CAD is The Model' *toolbar* in Emulate3D (zie Figuur 123).



Figuur 123: "CAD Is The Model" *toolbar* in Emulate3D[75]

Alle functionaliteiten toegekend aan een onderdeel zijn te zien in de *aspect viewer*. Om een onderdeel zichtbaar te maken in deze *viewer* moet met 'ctrl' en rechtermuisknop het onderdeel geselecteerd worden.

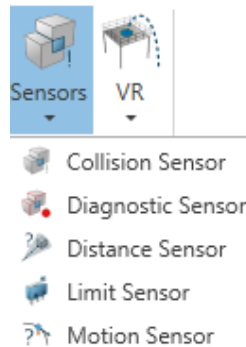
Ten eerste is gebruik gemaakt van *physics geometry*. Deze wordt toegekend aan onderdelen van het CAD-model die interactie hebben met de producten. Indien geen *physics geometry* wordt toegekend zal het product door het onderdeel heen gaan. Er zijn verschillende soorten fysica die aan het onderdeel kunnen toegekend worden (zie Figuur 124).



Figuur 124: *Physics geometry* in Emulate3D [75]

De fysica die het meest gebruikt is voor de ETH zijn de cilinder en mesh fysica. De cilinder fysica is toegekend aan cilindrischvormige onderdelen en de mesh fysica is toegekend aan onderdelen met willekeurige vormen.

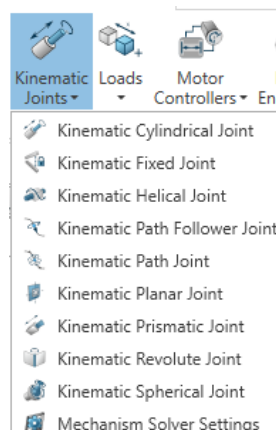
Daarnaast zijn verschillende soorten sensoren toegekend aan het model. Sommige sensoren creëren ingangen in de IO browser die achteraf toegekend kunnen worden aan ingangen van de PLC. De verschillende soorten sensoren zijn te zien in Figuur 125.



Figuur 125: Sensoren in Emulate3D [75]

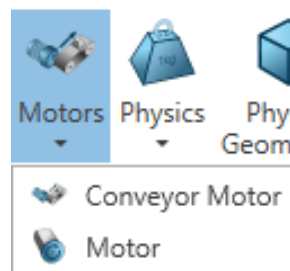
Een *collision* sensor detecteert botsingen tussen de sensor en een object. Dan zal ook een ingang genereren in de IO browser. Een *diagnostic* sensor detecteert ook botsingen tussen de sensor en een object, maar zal geen ingang genereren in de IO browser. Het object waar de *diagnostic* sensor aan toegekend is, zal van kleur veranderen indien een botsing gedetecteerd wordt. Een *distance* sensor heeft verschillende toepassingen, namelijk de detectie van een object, afstand meten tot een object en de kleur van het object vergelijken met een opgegeven kleur. De *distance* sensor zal drie ingangen genereren in de IO browser. De *limit* sensor wordt gebruikt om de uiterste posities van een motor te bewaken en zal twee ingangen creëren in de IO browser. Tot slot de *motion* sensor, deze wordt gebruikt om de positie, snelheid en versnelling van een object te meten. De *motion* sensor zal drie analoge ingangen genereren in de IO browser. De *collision*- en *limit* sensor worden beide gebruikt voor de ETH.

Ook kunnen *kinematic joints* gebruikt worden. Deze worden toegekend aan bewegende onderdelen van het CAD-model. Afhankelijk van de gewenste beweging van een onderdeel/*assembly* moet een bepaald type *kinematic joint* gekozen worden (zie Figuur 126). Voor de ETH zijn de *prismatic* en *revolute joint* gebruikt.



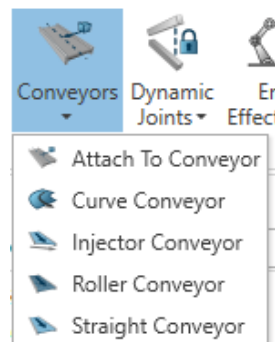
Figuur 126: Soorten kinematische *joints* in Emulate3D [75]

Aan de bewegende onderdelen is een *kinematic* joint gekoppeld. Als de *kinematic* joint aangedreven wordt dan moet aan de *kinematic* joint ook een motor gekoppeld worden. Er zijn verschillende types motoren die toegekend kunnen worden (zie Figuur 127).



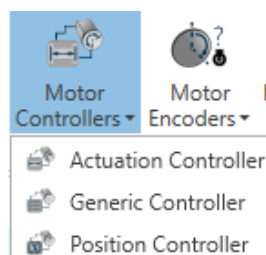
Figuur 127: Soorten motoren in Emulate3D [75]

De gewone motor kan gekoppeld worden aan een *kinematic* joint. De motor zal de beweging van de *kinematic* joint automatisch uitvoeren. Ook is er een mogelijkheid om een transportbandmotor toe te kennen aan een transportband. De transportbandmotor zal uitgangen genereren in de IO browser waaraan uitgangen van de PLC gekoppeld kunnen worden. Hiervoor moet eerst een transportband worden toegekend aan een oppervlak. Hier zijn verschillende opties voor mogelijk (zie Figuur 128). Door een transportband toe te kennen aan een oppervlak van het CAD-model zal dit oppervlak zich gedragen als een transportband.



Figuur 128: Soorten transportbanden in Emulate3D [75]

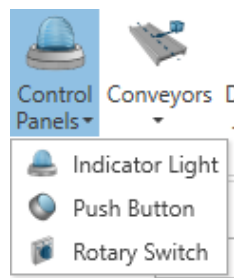
Een gewone motor zal geen uitgangen genereren in de IO browser. Om deze reden kan een controller toegekend worden aan de motor. Aan een *conveyor* motor kan geen controller toegekend worden. Er zijn verschillende controller keuzes. Deze genereren verschillende soorten uitgangen in de IO browser (zie Figuur 129).



Figuur 129: Soorten motor *controllers* in Emulate3D [75]

De *actuation* controller zal één uitgang creëren die de motor van de laagste naar de hoogste limiet zal sturen. Dit is een monostabiel signaal, d.w.z. dat indien het signaal wegvalt de kinematische joint terug naar de initiële positie gaat. De *generic* controller kan vijf uitgangen genereren in de IO browser, namelijk status, links, rechts, snelheid en versnelling. Ook heeft deze de mogelijkheid om de snelheid, versnelling en vertraging van de motor in te stellen. De *position* controller kan de joint d.m.v. een analoge waarde naar de doelpositie sturen. De *position* controller zal één analoge uitgang genereren in de IO browser, namelijk de positie.

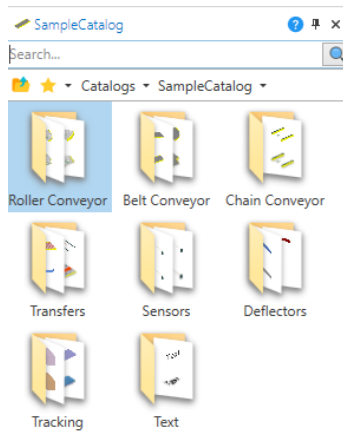
Door middel van de functie “control panels” is het mogelijk om drukknoppen/schakelaars van het CAD-model functioneel te maken. Daarnaast kunnen ook lampen van het CAD-model functioneel gemaakt worden. De drukknoppen/schakelaars zullen een ingang genereren en de lampen zullen een uitgang genereren (zie Figuur 130).



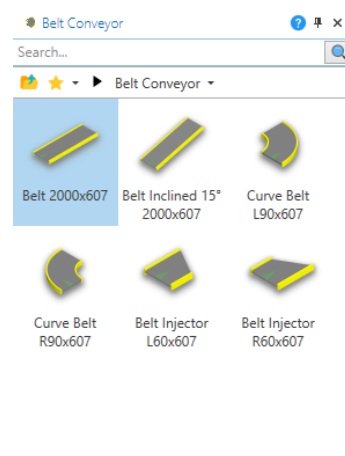
Figuur 130: Lampen en knoppen toevoegen in Emulate3D [75]

### 4.5.3 Catalogen

Naast het toekennen van functionaliteiten aan CAD-onderdelen in Emulate3D is het ook mogelijk om allerlei andere standaard onderdelen toe te voegen aan het model via de catalogoog. Eén van deze onderdelen zijn transportbanden. Er zijn veel verschillende soorten transportbanden die toegevoegd kunnen worden (zie Figuur 131 en Figuur 132).



Figuur 131: Catalogen in Emulate3D [75]



Figuur 132: Soorten standaard transportbanden in Emulate3D [75]

Zo zijn er rechte transportbanden, transportbanden met een bocht, rollenbanen, ... Aan ieder onderdeel van de transportband is het mogelijk om eigenschappen in te stellen. Daarnaast is er de mogelijkheid om de motor van een transportband in te stellen.

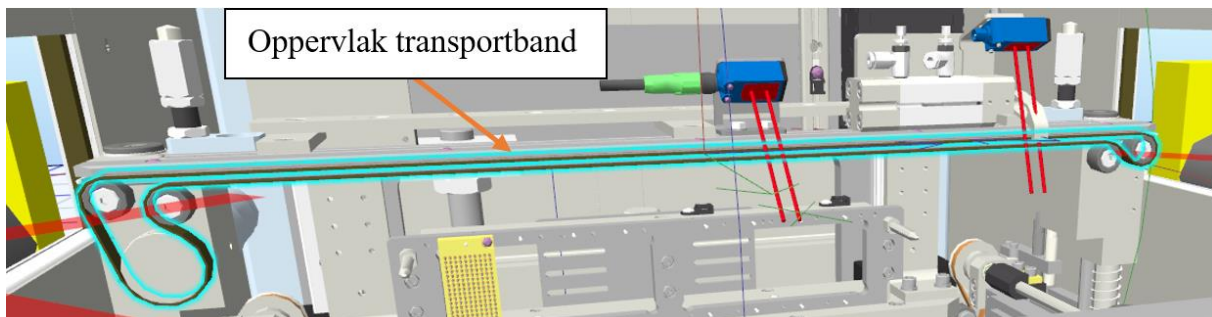
Een transportband binnengehaald via de catalogoog bevat automatisch een *load creator*. Een *load creator* genereert objecten die in het systeem gemanipuleerd zullen worden. Deze objecten kunnen volledig naar wens ingesteld worden. Ook is het mogelijk om de tijd tussen het genereren van *loads* in te stellen. Het is ook mogelijk om een aparte *load creator* toe te voegen.

#### 4.5.4 Voorbeelden

Voor de praktische uitwerking van Emulate3D worden hieronder enkele geïmplementeerde voorbeelden toegelicht. Deze voorbeelden bevatten alle verschillende functionaliteiten die zijn toegepast in het model. Alle toegekende functionaliteiten aan het virtueel model zijn gedefinieerd zodat ze overeenkomen met de fysieke machine.

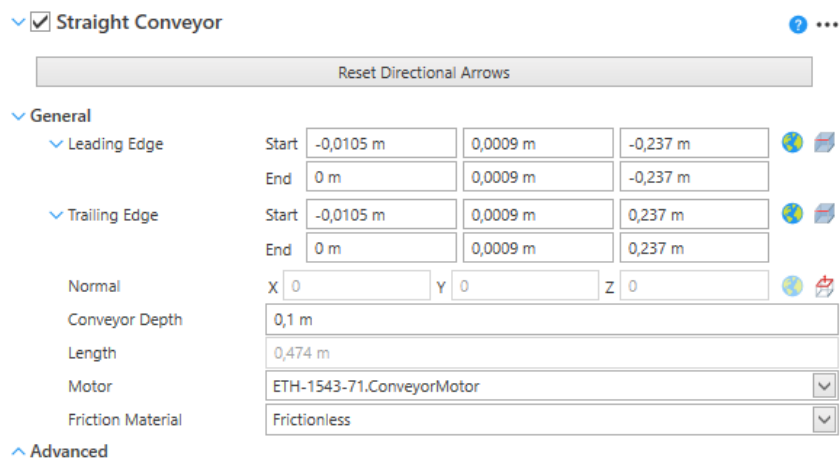
##### 4.5.4.1 Transportband

Ten eerste is een transportband functionaliteit toegevoegd aan een in CAD-getekende transportband. Deze transportband functionaliteit is toegekend aan de bovenkant van de gewenste transportband (zie Figuur 133).



Figuur 133: Oppervlak waaraan transportband is toegekend [75]

Hiervoor is eerst een *straight conveyor* toegevoegd aan dit oppervlak. De ingestelde parameters uit de *aspect viewer* zijn te zien op Figuur 134. Voor de *leading edge* en *trailing edge* is respectievelijk het begin en einde van de transportband geselecteerd.



Figuur 134: *Aspect viewer* van een rechte transportband [75]

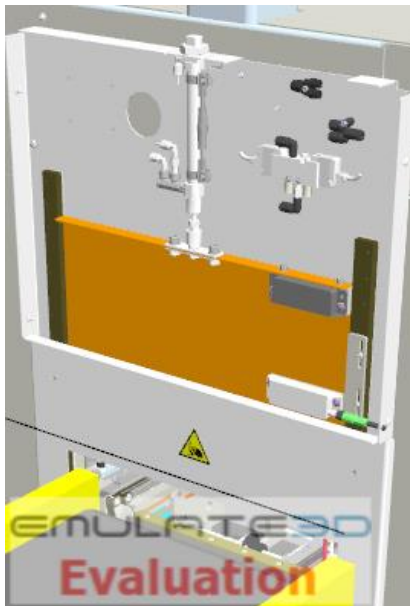
Een andere belangrijke parameter is de motor, zonder motor kan de transportband niet bewegen. Om deze reden is aan de *straight conveyor* een transportbandmotor toegekend. De parameters van de motor zijn te zien in Figuur 135. De *control mode* is ingesteld op voorwaarts/achterwaarts. In de IO lijst zijn twee uitgangen gegenereerd, namelijk voorwaarts en achterwaarts. De *initial state* is de status als het model gereset wordt. Deze is ingesteld op uit. De ingestelde *state* en richting zijn niet van belang. Deze worden achteraf toch overschreven door het PLC-programma. Ook de snelheid, versnelling en vertraging van de motor zijn ingesteld. De *pulse encoder* wordt automatisch toegevoegd samen met de *conveyor motor*. Deze *pulse encoder* is enkel actief als de functie *pulse enabled* aangevinkt is. Indien *pulse enabled* is aangevinkt worden vier ingangen gegenereerd in de IO browser. Voor deze toepassing is dit niet van belang.

<input checked="" type="checkbox"/> Conveyor Motor <span style="float: right;">? ...</span>	
Name	(No Value)
Control Mode	Forward Reverse
Initial State	Off
State	Off
Direction	Forwards
Speed	0,1 m/s
Acceleration	0,1 m/s <sup>2</sup>
Deceleration	0,1 m/s <sup>2</sup>
Pulse State	<input type="checkbox"/>
Pulse Count	0
<input checked="" type="checkbox"/> Pulse Encoder	
Pulse Enabled	<input type="checkbox"/>
Gray Code	<input type="checkbox"/>
Max Pulse Count	2147483647
Min Pulse Count	0
Pulse Distance	0,05 m
Pulse Generation Mode	Auto
Pulse High Ratio	0,5

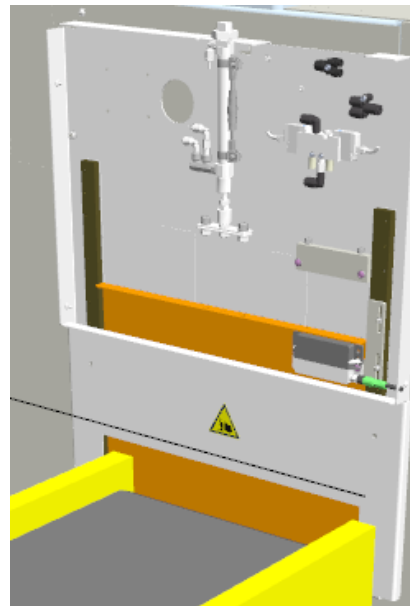
Figuur 135: *Aspect viewer* van een transportbandmotor [75]

#### 4.5.4.2 Schuifdeur

Het volgende voorbeeld is de schuifdeur van de installatie. Deze bevindt zich aan beide zijanten van de installatie. Het doel van deze schuifdeur is openen als een printplaat in of uit de installatie moet en sluiten als geen andere printplaat in de installatie mag komen. De schuifdeur opent en sluit d.m.v. een pneumatische cilinder. De geopende toestand is te zien in Figuur 136 en de gesloten toestand is te zien in Figuur 137.

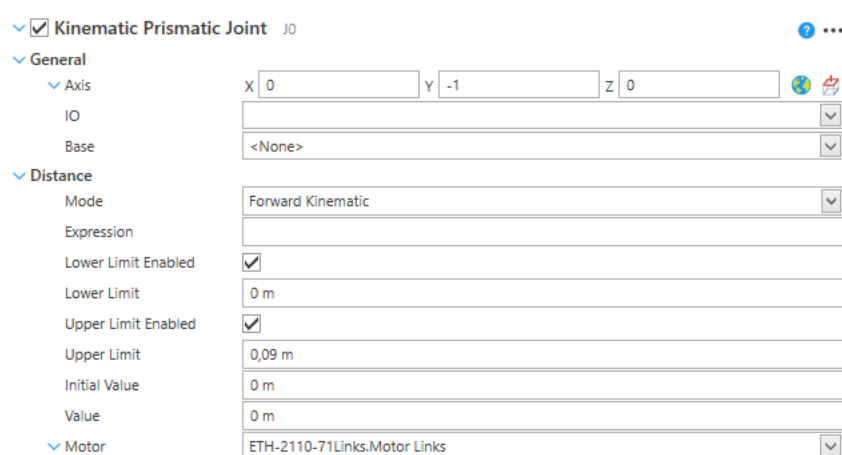


Figuur 136: Schuifdeur van installatie geopend [75]



Figuur 137: Schuifdeur van installatie gesloten [75]

Eerst is een *kinematic prismatic joint* toegevoegd aan de schuifdeur. Dit type *joint* maakt het verticaal bewegen van de schuifdeur mogelijk. De ingestelde parameters uit de *aspect viewer* zijn te zien op Figuur 138. De as waarlangs de schuifdeur mag bewegen is de *y*-as (= *axis*). De *mode* is ingesteld op voorwaartse kinematica, dat wil zeggen dat de schuifdeur aangestuurd moet worden door een motor. Een andere mogelijkheid is de mode instellen op inverse kinematica. Hiermee is het mogelijk om manueel de schuifdeur te openen en te sluiten. Dit wordt gebruikt om de werking van de *joint* te testen. De onder- en bovenlimiet zijn actief. Hiermee is het mogelijk om de slag van de schuifdeur te beperken tot de limieten.



Figuur 138: *Aspect viewer* van een *kinematic prismatic joint* [75]



Daarna is een motor gekoppeld aan de *joint* zodat deze automatisch kan bewegen. De ingestelde parameters zijn de snelheid, versnelling en vertraging. De onder- en bovenlimiet worden automatisch overgenomen van de *joint*. Bij een reset van het programma wordt de motor van de schuifdeur uitgeschakeld en ingesteld op voorwaarts bewegen (zie Figuur 139).

Motor Links	
Name	Links
Controller	ETH-2110-71Links.GenericController links
Encoder	<None>
Unit Type	Linear
Target State	Off
Target Direction	Reverse
Target Speed	0,2 m/s
Max Acceleration	0,2 m/s <sup>2</sup>
Max Deceleration	0,2 m/s <sup>2</sup>
Minimum Position	-∞
Maximum Position	∞
Lower Position Limit	0 m
Upper Position Limit	0,09 m
Reset Target Properties	State × Direction ×
Reset Target State	Off
Reset Target Direction	Forwards
Initialization Properties	<input checked="" type="checkbox"/>
Initialization Direction	Forwards
Initialization Position	0 m
Initialization Speed	0 m/s

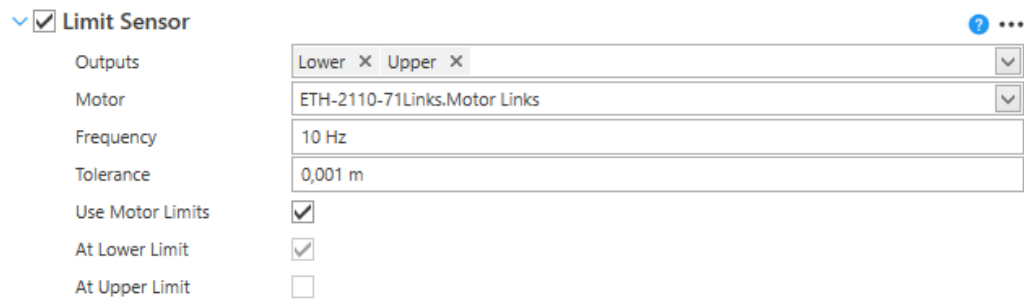
Figuur 139: *Aspect viewer* van een motor [75]

Aan de motor is een *generic controller* gekoppeld. Hierdoor is betere controle bij het aansturen van de motor mogelijk. Voor deze toepassing is gekozen om de motor aan te sturen met de *state* en richting. Met de *state* kan de motor geactiveerd worden en met de richtingsinstelling kan de motor omhoog of omlaag gestuurd worden. Er worden drie uitgangen gegenereerd in de IO browser namelijk *state*, voorwaarts en achterwaarts. De *state* moet altijd hoog zijn. Dit stelt de perslucht voor die altijd aanwezig moet zijn. De schuifdeur opent als bijhorende uitgang een puls krijgt en de schuifdeur sluit als de uitgang voorwaarts een puls krijgt. Deze uitgangen komen overeen met de bistabiele werking van de pneumatische cilinder (zie Figuur 140).

Generic Controller links	
Name	links
Motor	ETH-2110-71Links.Motor Links
Inputs	State × Direction ×
State	<input checked="" type="checkbox"/>
Forwards	<input type="checkbox"/>
Reverse	<input type="checkbox"/>

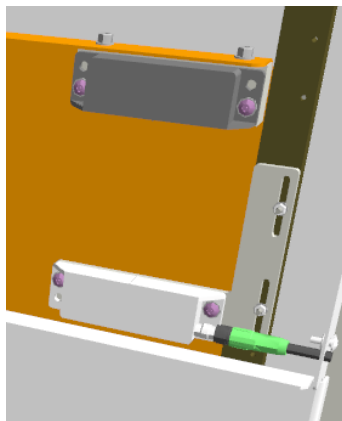
Figuur 140: *Aspect viewer* van een *generic controller* [75]

Ook is een *limit sensor* toegevoegd. Deze is gekoppeld aan de motor. Deze genereert twee ingangen die hoog worden als de motor zijn boven- of onderlimiet bereikt heeft (zie Figuur 141).

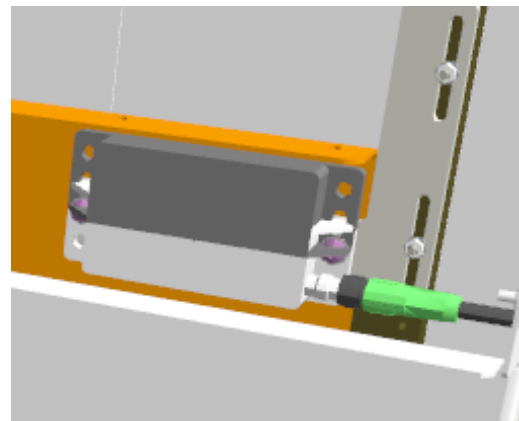


Figuur 141: *Aspect viewer* van een *limit sensor* [75]

Tot slot is het magnetisch contact op de schuifdeur ingesteld. Dit contact bestaat uit twee onderdelen. Het *input* signaal moet hoog worden indien de twee magnetische contacten elkaar raken. Op Figuur 142 is de schuifdeur geopend en zullen de contacten elkaar niet raken. Op Figuur 143 is de schuifdeur gesloten en zullen de magnetische contacten elkaar raken.

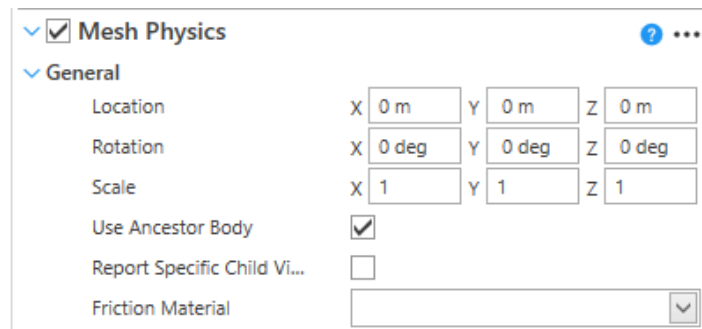


Figuur 142: Magnetisch contact van de schuifdeur geopend [75]



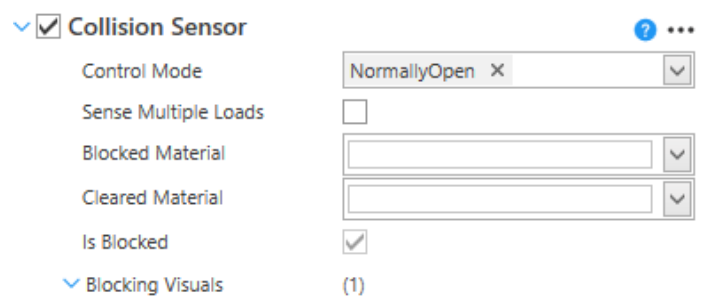
Figuur 143: Magnetisch contact van de schuifdeur gesloten [75]

Eerst is aan beide contacten *mesh physics* toegekend. Indien deze niet toegekend worden kunnen botsingen niet gedetecteerd worden. *Mesh physics* benaderen de fysische geometrie van het CAD-model zo nauwkeurig mogelijk. Dit wordt toegepast voor nauwkeurige botsingsdetectie (zie Figuur 144).



Figuur 144: *Aspect viewer* van de *mesh physics* [75]

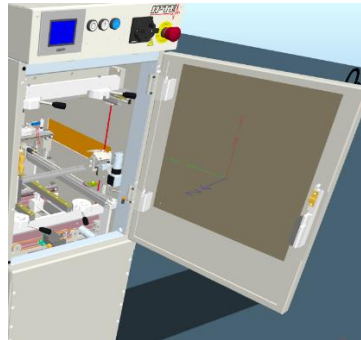
Daarna is een *collision sensor* gekoppeld aan één van de twee magnetische contacten. Deze sensor zal één ingang genereren in de IO browser. Omdat de sensor is ingesteld op normaal open zal de ingang hoog worden indien de twee magneten contact maken met elkaar (zie Figuur 145).



Figuur 145: *Aspect viewer* van de botsingsdetectie [75]

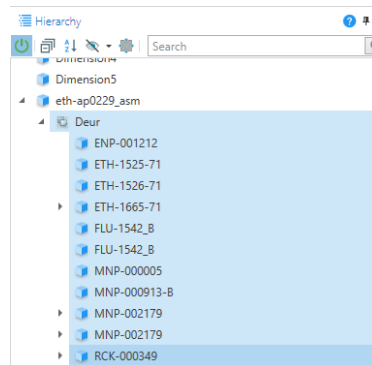
#### 4.5.4.3 Voordeur

De voordeur van de installatie kan manueel geopend en gesloten worden. Ook is een magnetisch contact op de voordeur aanwezig (zie Figuur 146).



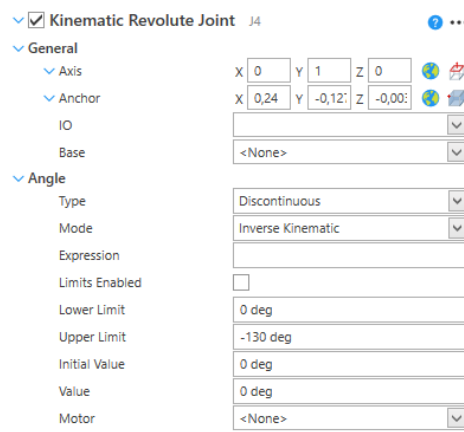
Figuur 146: Voordeur van het model geopend [75]

Eerst zijn de verschillende CAD-onderdelen van de voordeur gegroepeerd. Dit is gedaan door de gewenste onderdelen te selecteren in de hiërarchie en deze te binden met de toetsencombinatie `ctrl + G` (zie Figuur 147).



Figuur 147: Groepering van de deur [75]

Hierna is een *kinematic revolute joint* toegevoegd aan de gegroepeerde deur. De as waarrond geroteerd wordt, is aangeduid met *axis*. Dit is de *y*-as. *Anchor* is een punt van het onderdeel waarrond geroteerd wordt. In dit voorbeeld is dit een punt van het deurscharnier. De mode is ingesteld op inverse kinemata. Dit wil zeggen dat de deur met de muis geopend en gesloten kan worden. Ook de limieten van de deur zijn ingesteld, de deur mag maximaal  $130^\circ$  openen (zie Figuur 148).

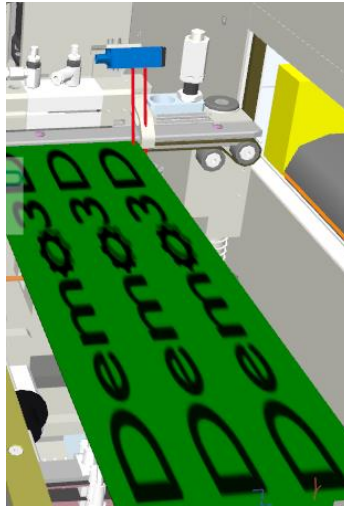


Figuur 148: Aspect viewer van de *kinematic revolute joint* [75]

Tot slot is een magnetisch contact op de deur ingesteld. Deze procedure is eerder beschreven (zie paragraaf 4.5.4.2). Deze *collision sensor* is ingesteld op normaal gesloten, dit wil zeggen dat de sensor hoog is als de deur geopend is.

#### 4.5.4.4 Stopper

De stopper wordt gebruikt om de printplaat te stoppen op de transportband. Dit is een roterende monostabiele cilinder (zie Figuur 149).



Figuur 149: Stopper die de printplaat tegenhoudt [75]

Eerst is een *kinematic revolute joint* toegekend aan de stopper zodat deze kan roteren. Daarna is een motor gekoppeld aan deze joint, het type hiervan is ‘angular’. Aan deze motor is een *actuation controller* gekoppeld. Deze controller zal een uitgang genereren in de IO lijst. Als de uitgang hoog is, zal de stopper naar beneden gaan. Als de uitgang laag is, dan zal de stopper naar boven gaan. Dit komt overeen met de monostabiele werking van de cilinder waarop de stopper gemonteerd is (zie Figuur 150).

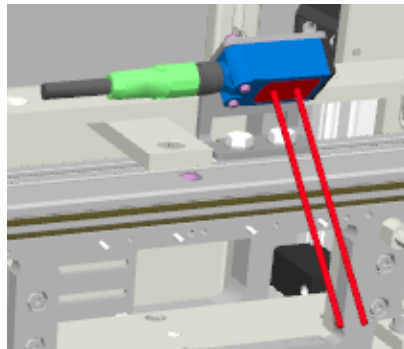


Figuur 150: Aspect viewer van de *actuation controller* [75]

Daarnaast zijn twee *limit sensors* gekoppeld aan de motor. Deze genereren twee ingangen die hoog zijn op de boven- en onderlimiet van de motor. In dit geval is dat respectievelijk  $90^\circ$  en  $0^\circ$ . Tot slot zijn *mesh physics* toegekend aan de stopper zodat deze de printplaat zal blokkeren. Indien geen fysica wordt toegekend zal de printplaat door de stopper heen gaan.

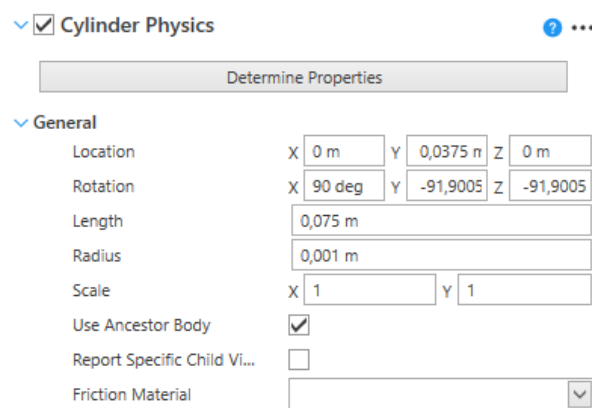
#### 4.5.4.5 Sensoren met laserstraal

In de ETH zijn optische sensoren aanwezig waarvan de laserstraal getekend is in het CAD-model. Het is mogelijk om de getekende laserstraal als sensor te gebruiken (zie Figuur 151).



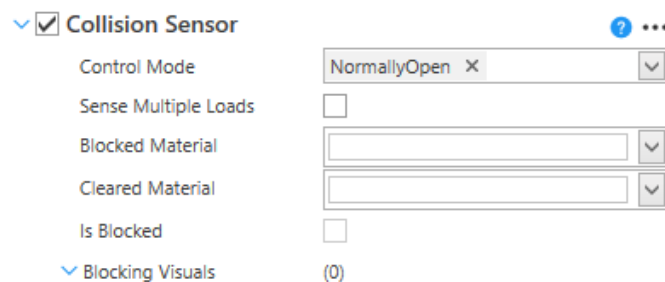
Figuur 151: Optische sensoren met laserstraal getekend in CAD [75]

Eerst wordt aan de laserstraal *cylinder physics* toegekend, zoals te zien op Figuur 152. Dit is noodzakelijk om de laserstraal te gebruiken als *collision sensor*.



Figuur 152: *Aspect viewer* van de cilinder fysica [75]

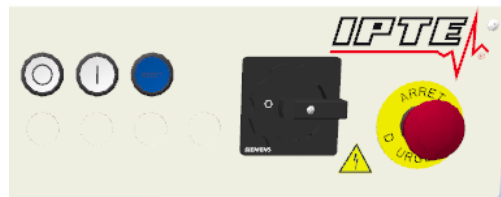
Tot slot wordt een *collision sensor* toegekend aan de laserstraal. Deze genereert een ingang in de IO browser. De sensor is ingesteld op normaal open, dit wil zeggen dat de sensor hoog is als de laserstraal geblokkeerd is (zie Figuur 153).



Figuur 153: *Aspect viewer* van de botsingssensor normaal open [75]

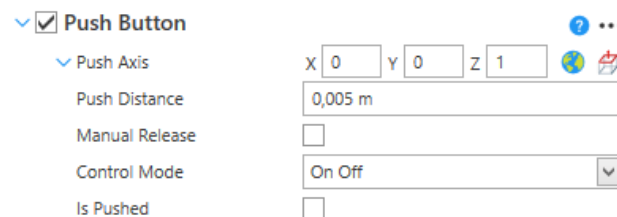
#### 4.5.4.6 Knoppen en lampen

Aan CAD-ontworpen onderdelen kan een lamp en/of knop *feature* gekoppeld worden. In dit voorbeeld wordt de startknop verduidelijkt aangezien deze beide *features* bevat (zie Figuur 154).



Figuur 154: Drukknoppen van de ETH [75]

Eerst is een knop *feature* toegekend aan de gewenste knop. In dit voorbeeld is gekozen voor een drukknoop (zie Figuur 155). Een andere keuze is een roterende knop. Deze kan gebruikt worden voor bijvoorbeeld een noodstop of hoofdschakelaar. Voor de drukknoop is de richting van de knop, de afstand en de mode ingesteld. Door *manual release* aan te vinken zal de knop ingedrukt blijven indien deze geactiveerd wordt. Er zal een tweede keer geklikt moeten worden op de knop om deze te deactiveren. Als deze niet is aangevinkt zal de knop niet ingedrukt blijven en enkel een puls als signaal geven indien deze ingedrukt wordt. De knop genereert één ingang in de IO browser.



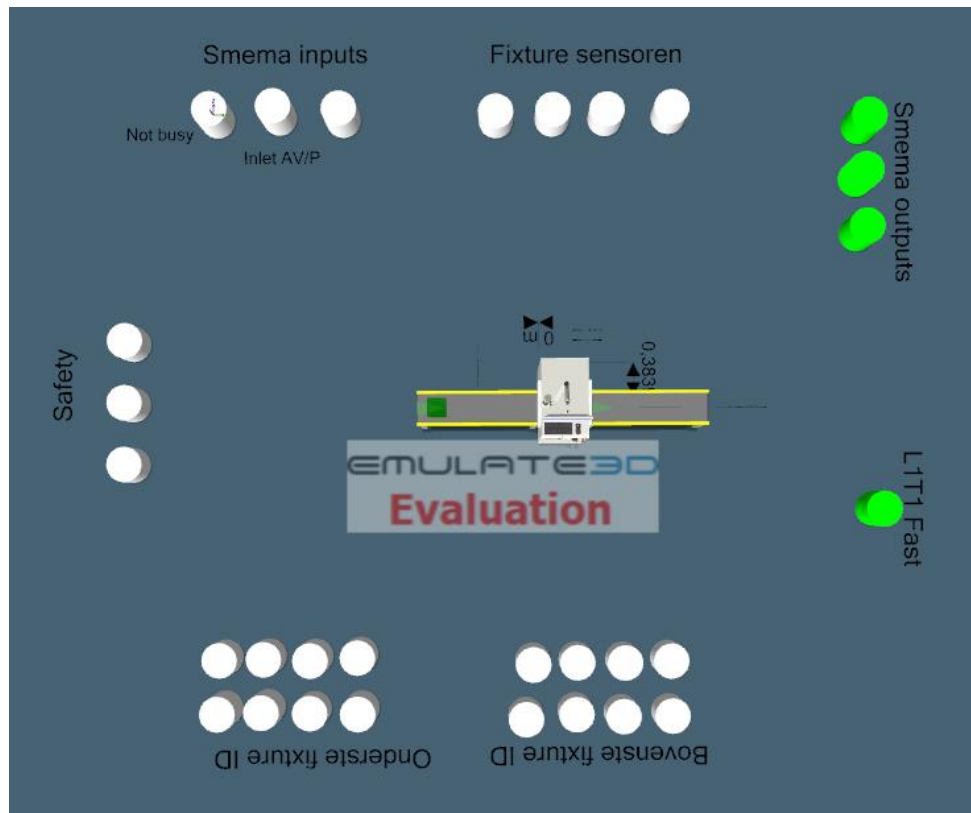
Figuur 155: *Aspect viewer* van de drukknoop [75]

Tot slot is een lamp functie toegekend aan deze knop. De lamp zal aangaan indien de gegenereerde uitgang van de lamp in de IO browser hoog wordt (zie Figuur 156).



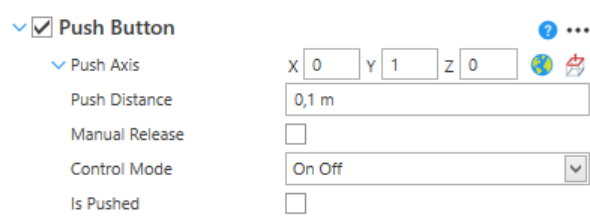
Figuur 156: *Aspect viewer* van de indicatorlamp [75]

Rond de machine zijn fysieke knoppen en lampen toegevoegd (zie Figuur 157).



Figuur 157: Bovenaanzicht Emulate3D [75]

De externe knoppen zijn toegevoegd om signalen van een voorgaande en volgende machine te simuleren. Ook worden deze gebruikt om veiligheidssignalen te simuleren van bepaalde controllers in de ETH. Tot slot zijn er knoppen aangebracht voor de *fixture* sensoren en id's te simuleren aangezien de *fixtures* niet fysiek aanwezig zijn. De knoppen zijn cilinders die zijn toegevoegd in Emulate3D waaraan een knop *feature* is toegekend (zie Figuur 158). De knoppen zullen één ingang genereren in de IO browser.



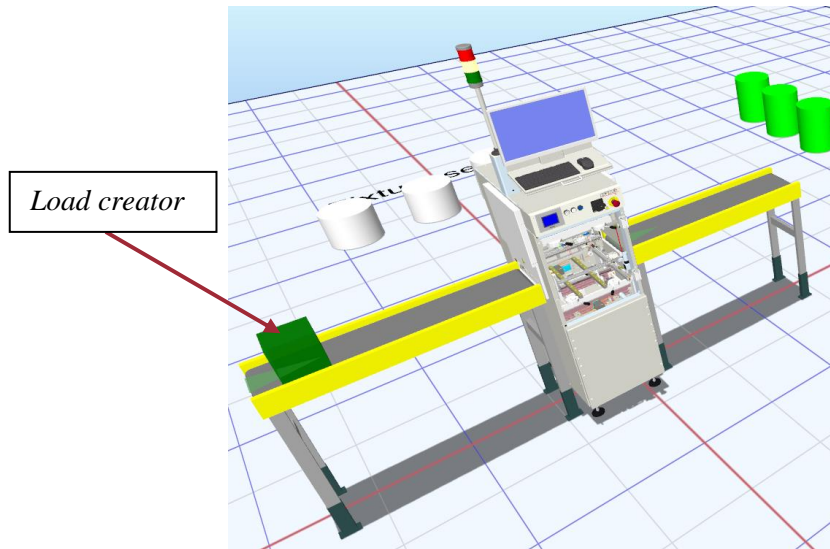
Figuur 158: *Aspect viewer* van externe drukknoppen [75]

De externe lampen worden gebruikt om het signaal van gewenste uitgangen visueel zichtbaar te maken. Dit zijn uitgangen die niet visueel zichtbaar zijn tijdens de simulatie. De cilinders zijn geïmporteerd als STEP-bestand, dit omdat een cilinder gecreëerd in Emulate3D niet zal oplichten. Aan deze cilinder is een *indicator light* toegekend. De lampen genereren één uitgang in de IO browser.



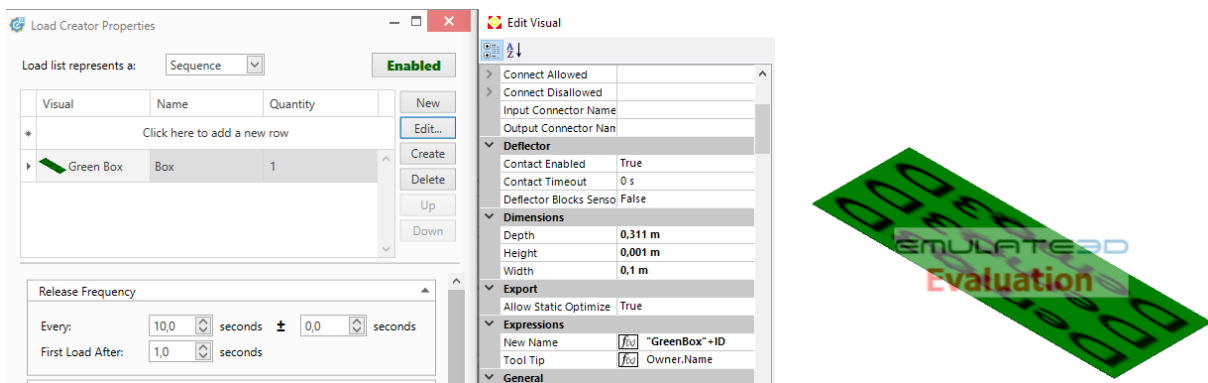
#### 4.5.4.7 Load creator

Eerst zijn twee transportbanden voor en achter de installatie toegevoegd, dit is om de printplaten te importeren en exporteren. Op deze transportbanden zit automatisch een *load creator*. Enkel op de transportband die de printplaten importeert in de installatie is deze gewenst (zie Figuur 159).



Figuur 159: *Load creator* op de transportband [75]

De objecten die uit de *load creator* komen zijn ingesteld volgens de parameters van de fysieke printplaten. Ook is ingesteld hoeveel objecten gegenereerd worden en om de hoeveel tijd. Enkele ingestelde parameters zijn te zien in Figuur 160.



Figuur 160: Parameters van de *load* en *load creator* [75]

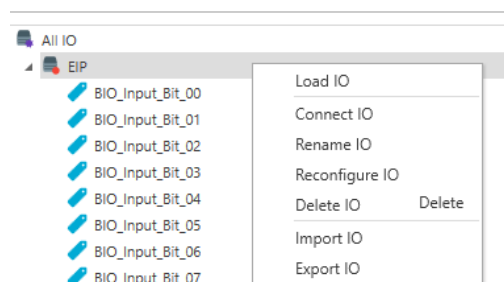
## 4.5.5 PLC

Om het virtueel prototype uit te voeren wordt in dit voorbeeld een PLC gebruikt als controller. Deze PLC is het type NX1P2 van het merk Omron. De PLC is met de computer verbonden via Ethernet. Eerst wordt de PLC gekoppeld d.m.v. de 'add' functie waardoor de in- en uitgangen zichtbaar worden in de IO browser van Emulate3D (zie EIP Figuur 161). Bij IPTE zijn de in- en uitgangen per IO-kaart gelinkt aan één globale variabele met datatype WORD. Deze globale variabele is niet zichtbaar in Emulate3D. Om deze reden is elke in- en uitgang toegekend aan een aparte globale variabele met datatype BOOLEAN. Alle eerder gegenereerde virtuele in- en uitgangen kunnen nu gekoppeld worden aan de bijhorende fysieke in- en uitgangen van de PLC. De *server value* is het signaal komende van de PLC, de *model value* is het signaal van het virtueel model. Het signaal van het virtueel model kan apart gemanipuleerd worden, dan neemt deze een andere waarde aan dan de PLC. Ingangen worden ingesteld op *write to PLC* en uitgangen op *read from PLC* (zie Figuur 161).

Active	Address	Name	Server Value	Model Value	Access	Visual	Property
<input checked="" type="checkbox"/>	N2_Output_Bit_12	_Tag_eth-ap0229_a...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Read From PLC	eth-ap0229_asm.ETH...	Reverse
<input checked="" type="checkbox"/>	N2_Input_Bit_15	_Tag_eth-ap0229_a...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Write To PLC	eth-ap0229_asm.ETH...	IsBlocked
<input checked="" type="checkbox"/>	BIO_Input_Bit_00	_Tag_eth-ap0229_a...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Write To PLC	eth-ap0229_asm.ETH...	Pushed
<input checked="" type="checkbox"/>	BIO_Input_Bit_01	_Tag_eth-ap0229_a...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Write To PLC	eth-ap0229_asm.ETH...	Pushed
<input checked="" type="checkbox"/>	N2_Output_Bit_0	_Tag_eth-ap0229_a...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Read From PLC	eth-ap0229_asm.ETH...	IsLampOn
<input checked="" type="checkbox"/>	N2_Output_Bit_1	_Tag_eth-ap0229_a...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Read From PLC	eth-ap0229_asm.ETH...	IsLampOn
<input checked="" type="checkbox"/>	N2_Output_Bit_3	_Tag_eth-ap0229_a...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Read From PLC	eth-ap0229_asm.ETH...	IsLampOn
<input checked="" type="checkbox"/>	N2_Output_Bit_4	_Tag_eth-ap0229_a...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Read From PLC	eth-ap0229_asm.ETH...	IsLampOn
<input checked="" type="checkbox"/>	N2_Output_Bit_5	_Tag_eth-ap0229_a...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Read From PLC	eth-ap0229_asm.ETH...	IsLampOn
<input checked="" type="checkbox"/>	BIO_Input_Bit_11	_Tag_eth-ap0229_a...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Write To PLC	eth-ap0229_asm.ETH...	IsCleared
<input checked="" type="checkbox"/>	BIO_Input_Bit_08	_Tag_eth-ap0229_a...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Write To PLC	eth-ap0229_asm.ETH...	IsBlocked
<input checked="" type="checkbox"/>	BIO_Input_Bit_12	_Tag_eth-ap0229_a...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Write To PLC	eth-ap0229_asm.ETH...	IsCleared
<input checked="" type="checkbox"/>	BIO_Input_Bit_13	_Tag_eth-ap0229_a...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Write To PLC	eth-ap0229_asm.ETH...	IsCleared
<input checked="" type="checkbox"/>	N2_Input_Bit_9	_Tag_eth-ap0229_a...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Write To PLC	eth-ap0229_asm.ETH...	IsBlocked
<input checked="" type="checkbox"/>	BIO_Input_Bit_02	_Tag_eth-ap0229_a...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Write To PLC	eth-ap0229_asm.ETH...	Pushed
<input checked="" type="checkbox"/>	N2_Output_Bit_2	_Tag_eth-ap0229_a...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Read From PLC	eth-ap0229_asm.ETH...	IsLampOn
<input checked="" type="checkbox"/>	BIO_Input_Bit_03	_Tag_eth-ap0229_a...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Write To PLC	eth-ap0229_asm.ETH...	Pushed
<input checked="" type="checkbox"/>	N2_Input_Bit_8	_Tag_eth-ap0229_a...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Write To PLC	eth-ap0229_asm.ETH...	AtLowerLimit
<input checked="" type="checkbox"/>	N2_Input_Bit_7	_Tag_eth-ap0229_a...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Write To PLC	eth-ap0229_asm.ETH...	AtUpperLimit
<input checked="" type="checkbox"/>	N1_Output_Bit_2	_Tag_eth-ap0229_a...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Read From PLC	eth-ap0229_asm.ETH...	MotorReverse
<input checked="" type="checkbox"/>	N1_Output_Bit_3	_Tag_eth-ap0229_a...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Read From PLC	eth-ap0229_asm.ETH...	MotorForward
<input checked="" type="checkbox"/>	N1_Output_Bit_3	_Tag_eth-ap0229_a...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Read From PLC	eth-ap0229_asm.ETH...	MotorForward
<input checked="" type="checkbox"/>	N1_Output_Bit_2	_Tag_eth-ap0229_a...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Read From PLC	eth-ap0229_asm.ETH...	MotorReverse
<input checked="" type="checkbox"/>	N1_Output_Bit_1	_Tag_cylinder3_IsLa...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Read From PLC	cylinder3	IsLampOn
<input checked="" type="checkbox"/>	BIO_Output_Bit_09	_Tag_cylinder2_IsLa...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Read From PLC	cylinder2	IsLampOn
<input checked="" type="checkbox"/>	BIO_Output_Bit_08	_Tag_cylinder1_IsLa...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Read From PLC	cylinder1	IsLampOn
<input checked="" type="checkbox"/>	N1_Output_Bit_0	_Tag_cylinder_IsLam...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Read From PLC	cylinder	IsLampOn
<input checked="" type="checkbox"/>	N1_Input_Bit_12	_Tag_Cylinder25_P...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Write To PLC	Cylinder25	Pushed
<input checked="" type="checkbox"/>	N1_Input_Bit_11	_Tag_Cylinder24_P...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Write To PLC	Cylinder24	Pushed
<input checked="" type="checkbox"/>	N1_Input_Bit_10	_Tag_Cylinder23_P...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Write To PLC	Cylinder23	Pushed
<input checked="" type="checkbox"/>	N1_Input_Bit_13	_Tag_Cylinder26_P...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Write To PLC	Cylinder26	Pushed
<input checked="" type="checkbox"/>	N2_Input_Bit_5	_Tag_Cylinder21_P...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Write To PLC	Cylinder21	Pushed
<input checked="" type="checkbox"/>	N2_Input_Bit_4	_Tag_Cylinder20_P...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Write To PLC	Cylinder20	Pushed
<input checked="" type="checkbox"/>	N2_Input_Bit_3	_Tag_Cylinder19_P...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Write To PLC	Cylinder19	Pushed

Figuur 161: IO browser in Emulate3D [75]

Na het toekennen van de in- en uitgangen moet er geconnecteerd worden met de PLC (zie Figuur 162). Eenmaal geconnecteerd kan het programma gesimuleerd worden in Emulate3D.



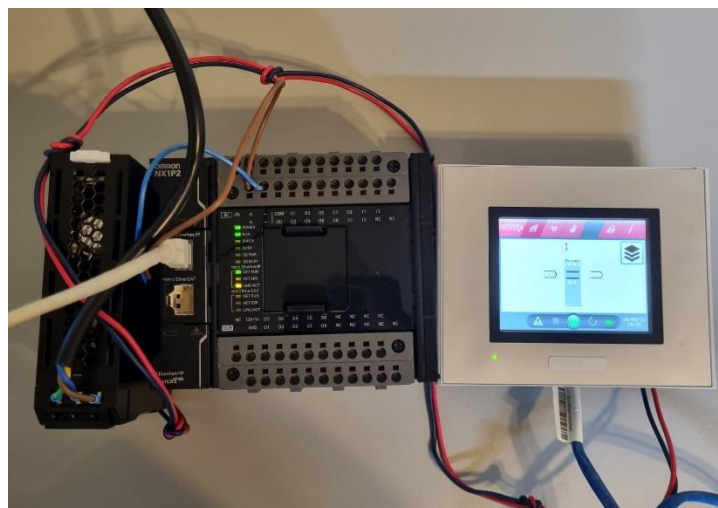
Figuur 162: Connecteren met PLC in Emulate3D [75]

Om de IO lijst op te slaan kan deze geëxporteerd worden naar Excel. In de Excel lijst kunnen dezelfde wijzigingen worden aangebracht aan de IO lijst als in Emulate3D. Indien wijzigingen zijn gebeurd in Excel moet de lijst geïmporteerd worden in de IO browser van Emulate3D. Het is belangrijk dat twee onderdelen niet dezelfde benaming hebben in Emulate3D. Als dat het geval is, kan het programma de in- en uitgangen foutief toekennen (zie Tabel 4).

Tabel 4: Overzicht van de in- en uitgangen

Item	Server	ServerType	Address	Enabled	Access	Visual	Property
Tag_eth-ap0229_asm.transport.ETH-A019-99_ASM.ETH-1592-71_Activate	EIP	NetServer	N1_Output_Bit_4	True	ReadFromPLC	eth-ap0229_asm.transport.ETH-A019-	Activate
Tag_eth-ap0229_asm.transport_State	EIP	NetServer		False	ReadFromPLC	eth-ap0229_asm.transport	State
Tag_eth-ap0229_asm.transport_AtUpperLimit	EIP	NetServer	BIO_Input_Bit_15	True	WriteToPLC	eth-ap0229_asm.transport	AtUpperLimit
Tag_eth-ap0229_asm.transport_AtLowerLimit	EIP	NetServer	BIO_Input_Bit_14	True	WriteToPLC	eth-ap0229_asm.transport	AtLowerLimit

Na het toekennen van de in- en uitgangen kan de PLC geconnecteerd worden. Nu is het mogelijk om het virtueel model te simuleren. Het virtueel model zal het programma geprogrammeerd in de PLC doorlopen. In deze toepassing is een HMI (= *human machine interface*) verbonden met de PLC via EtherCAT. Het is mogelijk om het virtueel prototype te bedienen via het HMI aangezien deze de in- en uitgangen van de PLC manipuleert. Het is ook mogelijk om het PLC-programma te bedienen via de virtuele start en stopknop op de installatie. De praktische opstelling van de PLC en HMI is te zien op Figuur 163.

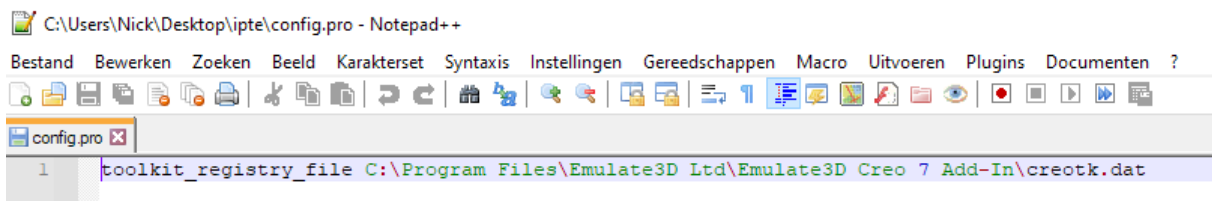


Figuur 163: Praktische opstelling PLC en HMI

#### 4.5.6 Creo *add-in*

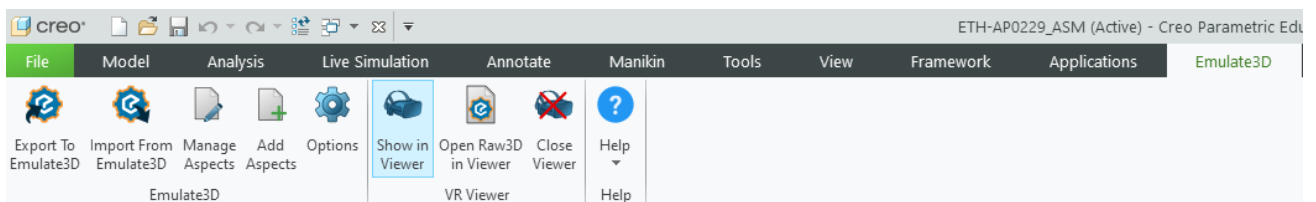
De *aspects* kunnen in Emulate3D toegekend worden, maar dit kan ook in PTC Creo, SolidWorks en Inventor gebeuren. Het voordeel hiervan is dat de *aspects* al tijdens de ontwerpfase toegekend kunnen worden. Hiervoor moet een *add-in* gedownload worden die meegeleverd wordt bij het installatiebestand.

Omdat de tekeningen van de ETH in Creo zijn getekend, wordt hieronder beschreven hoe de Creo *add-in* werkt. Als de *add-in* geïnstalleerd is, moet deze nog toegevoegd worden binnen Creo. Dit wordt gedaan door een *config.pro* tekstbestand te creëren in de map waar de CAD-tekeningen zich bevinden. In dit tekstbestand moet een link gelegd worden naar de bestandslocatie van de Creo *add-in*. Hoe dit gebeurt, is te zien op Figuur 164.



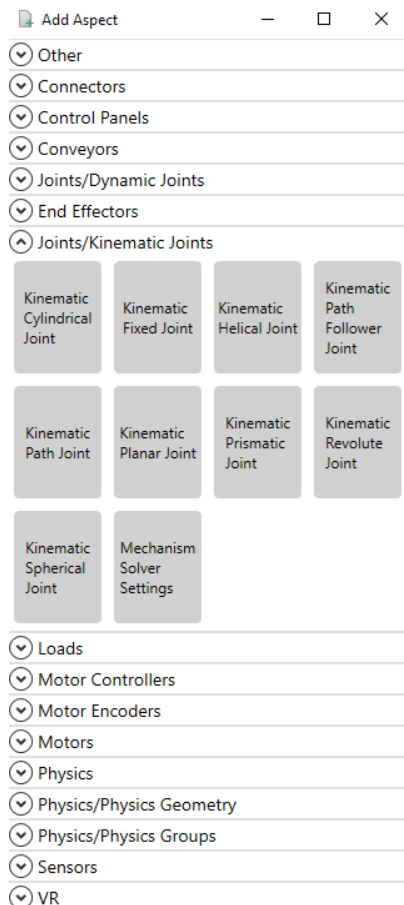
Figuur 164: Tekstbestand *config.pro* voor Emulate3D *ribbon* in Creo

Als een tekening geopend wordt in Creo zal een Emulate3D-*ribbon* (zie Figuur 165) zichtbaar zijn. Deze *ribbon* bevat functies voor het toevoegen/managen van *aspects*. Het toevoegen van een aspect aan een onderdeel of *assembly* gebeurt met de *add aspects* knop, het aanpassen van een aspect vindt plaats met de *manage aspect* knop. Nadat de gewenste *aspects* zijn toegekend kan het CAD-model geëxporteerd worden naar Emulate3D met de toegevoegde *aspects*. Er is ook een mogelijkheid om een Emulate3D-bestand met *aspects* te importeren in Creo.

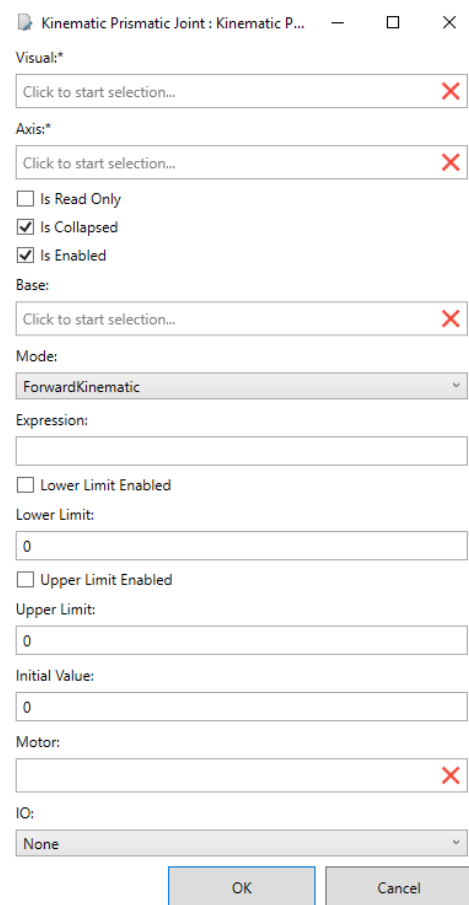


Figuur 165: Emulate3D *ribbon* in Creo [88]

Wanneer op de *add aspect* knop gedrukt wordt, verschijnt een nieuw venster dat te zien is in Figuur 166. In dit venster moet het soort *aspect* (bijvoorbeeld *kinematic prismatic joint*) toegekend worden. Na de keuze van het soort *aspect* moet deze *aspect* ingesteld (zie Figuur 167) worden. Zo moet de *kinematic prismatic joint* gekoppeld worden aan een onderdeel of samenstelling. Ook de as waarover de beweging gebeurt, moet toegekend worden. Daarnaast is het mogelijk om een motor aan deze beweging te koppelen en de uiterste posities in te stellen.

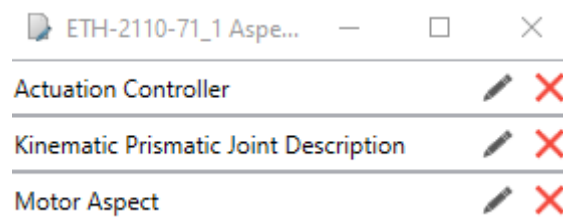


Figuur 166: Add aspect in PTC Creo [88]



Figuur 167: Kinematic prismatic joint in PTC Creo [88]

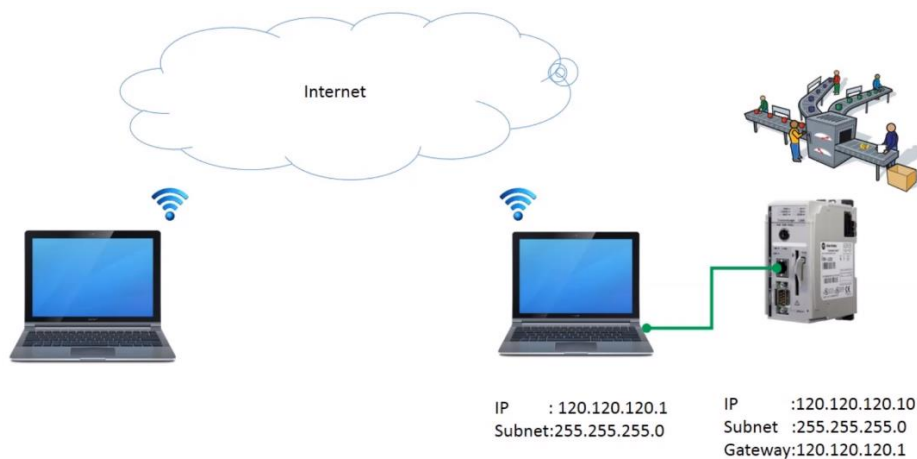
Indien op de *manage aspect* knop gedrukt wordt, moet het onderdeel of de samenstelling geselecteerd worden waarvan de *aspects* aangepast moet worden. Na het selecteren van het onderdeel/samenstelling verschijnt een nieuw venster (zie Figuur 168). In dit venster zijn alle *aspects* te zien die toegekend zijn aan het geselecteerde onderdeel/samenstelling. Deze *aspects* kunnen aangepast worden door op het potlood te drukken.



Figuur 168: Manage aspects in PTC Creo [88]

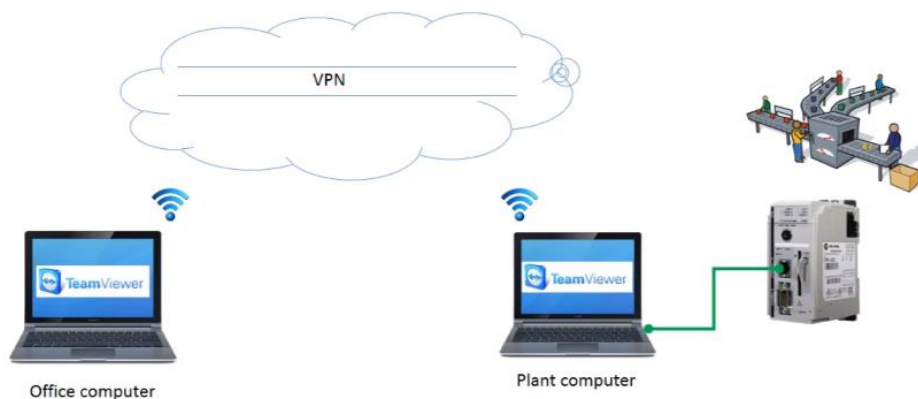
#### 4.5.7 Connecteren met een PLC op afstand

Voor een *digital twin* is het vereist om het virtueel model in Emulate3D met de PLC van de klant te verbinden om de fysieke toestand van de installatie in Emulate3D zichtbaar te krijgen. Het is belangrijk dat de *digital twin* een *realtime* connectie heeft met de installatie van de klant. Hiervoor moet de klant een computer verbinden met de PLC via Ethernet. Het is belangrijk dat de computer van de klant toegang heeft tot het internet. De PLC moet een statisch IP-adres hebben, een *subnet mask* en een *default gateway*. Het IP-adres van de computer moet hetzelfde ingesteld worden als het *gateway* adres van de PLC (zie Figuur 169) [93].



Figuur 169: IP-adressen voor de connectie met een PLC op afstand [93]

Na het configureren van de IP-adressen moet een VPN-connectie tussen de twee computers tot stand gebracht worden. Zo kan de computer van de techniek in hetzelfde netwerk geplaatst worden als deze van de klant. Om een VPN-connectie tot stand te brengen is veel verschillende software beschikbaar, een voorbeeld hiervan is TeamViewer (zie Figuur 170) [93].



Figuur 170: VPN-connectie met een PLC op afstand [93]

De VPN-connectie zal twee nieuwe IP-adressen toekennen, één aan elke computer. Let op, de computer van de klant heeft nu twee IP-adressen. Om de techniek toegang te geven tot de PLC moet deze *enable IP routing* aanzetten en het IP adres van de PLC toevoegen aan de *routing table* van de computer. Tot slot kan de PLC van de klant op locatie verbonden worden met Emulate3D [93].

## 4.6 Conclusie

Uit de praktische uitwerking is gebleken dat er een goede samenhang is tussen PTC Creo, PTC Creo Illustrate en Vuforia Studio. Updates in PTC Creo worden automatisch doorgevoerd naar PTC Creo Illustrate en Vuforia Studio. Door middel van de applicatie in Vuforia Studio is het visueel duidelijk welke stappen de klant moet volgen om de installatie op te starten of om fouten op te lossen. Het is mogelijk om de applicatie aan te vullen met nieuwe fouten die klanten ervaren. Het nadeel van Vuforia Studio is dat het relatief veel tijd kost om de initiële applicatie te creëren, maar eens deze af is kunnen eenvoudig nieuwe animaties toegevoegd worden. Een ander nadeel is dat het fysiek model heel goed overeen moet komen met het virtueel model. Tijdens het testen stond de computer bovenop de installatie omgekeerd en werd het model niet herkend. Aangezien IPTE gebruikmaakt van gedetailleerde 3D-ontwerpen is er veel potentieel voor duidelijke animaties. Creo Illustrate kan ook gebruikmaken van SolidWorks bestanden, deze ondersteuning moet apart aangeschaft worden. Voor een goede AR-ervaring moet de klant een speciale AR-bril aanschaffen, maar de AR-ervaring kan ook plaatsvinden via de camera van een mobiel apparaat. Tot slot kan de klant de gecreëerde AR-ervaring eenvoudig gebruiken via de gratis applicatie Vuforia View.

Indien de klant toch nog tegen problemen aanloopt kan gebruikgemaakt worden van de applicatie Vuforia Chalk. Uit de testen is gebleken dat dit een eenvoudige applicatie is zonder leercurve. Er kunnen eenvoudig aantekeningen gemaakt worden op het scherm. Ook is er een goede connectie tussen Vuforia Chalk en Vuforia Studio. In deze laatste kan een snelkoppeling naar Vuforia Chalk toegevoegd worden. Een nadeel van Vuforia Chalk is dat de flits van het mobiel apparaat enkel in de applicatie geactiveerd kan worden bij ondersteunde toestellen. Voor andere toestellen moet deze geactiveerd worden op het toestel zelf.

Tot slot is het softwareprogramma Emulate3D uitgetest. Initieel is een virtueel model gecreëerd voor het virtueel prototype. Hiermee is het mogelijk om het PLC-programma uitvoerig te testen op het virtueel model in Emulate3D. Dit levert een tijdsbesparing op voor IPTE omdat het achteraf minder tijd kost om de installatie te testen en te optimaliseren. Met Emulate3D is het ook mogelijk om de mechanismen al toe te kennen tijdens het 3D-ontwerp dankzij de Emulate3D *ribbon* in PTC Creo en Solidworks. Aangezien IPTE gebruik maakt van gedetailleerde 3D-ontwerpen is het mogelijk om een gedetailleerde *digital twin* te maken. Een nadeel van Emulate3D is de complexiteit voor het toevoegen van een drive. Deze controller kan geprogrammeerd worden d.m.v. scripting. Een ander nadeel van Emulate3D is dat het veel tijd kost om een model te maken. Een groot voordeel is dat het model ook gebruikt kan worden als *digital twin*. Hiermee is het mogelijk om de installatie van de klant in *real time* te monitoren. Deze *digital twin* in combinatie met Vuforia Chalk en de applicatie in Vuforia Studio zullen de *remote support* drastisch verbeteren. Dit zal de service interventie vereenvoudigen en de productiestop bij de klant verkorten.

## 5 Kostenraming

### 5.1 Inleiding

Voor de gekozen softwarepakketten is een kostenanalyse uitgevoerd. Hierin zijn de kosten en besparingen meegenomen. Deze kostenanalyse wordt uitgevoerd om te controleren of de gekozen softwarepakketten financieel rendabel zijn voor IPTE.

### 5.2 Kosten en besparingen

De kosten van de verschillende softwarepakketten zijn in rekening gebracht. Voor Vuforia Chalk, Creo Illustrate en Vuforia Studio is er een jaarlijkse kostprijs. Voor Emulate3D is zowel een jaarlijkse kostprijs als een eenmalige kost. De jaarlijkse kost is voor de support, updates, ... De licenties van Vuforia Studio en Vuforia Chalk kunnen respectievelijk gebruikt worden door twintig en vijf personen. De licenties van Creo Illustrate en Emulate3D kunnen beide gebruikt worden door één persoon. Ook is rekening gehouden met de leertijd die de techniker nodig heeft om het softwarepakket te begrijpen. Deze thesis zal de leertijd verkorten omdat de belangrijkste aspecten voor IPTE besproken zijn. Tot slot is rekening gehouden met de tijd die nodig is om een applicatie te maken met Vuforia Studio en om een virtueel prototype/*digital twin* te maken met Emulate3D. Het voordeel van Emulate3D is dat het virtueel prototype ook gebruikt kan worden als *digital twin*, hierdoor is deze ontwikkelingstijd maar één keer meegerekend. De stilstand van de installatie van de klant is niet meegenomen als kost omdat dit geen kost is voor IPTE. Daarentegen zal een verkorte productiestop bij de klant een besparing opleveren voor de klant. Dit zal de klanttevredenheid ook doen stijgen. De licentiekost van PTC Creo en Solidworks wordt ook niet meegenomen omdat IPTE deze licenties al ter beschikking heeft. De uren van een personeelslid zijn omgerekend naar een kost in euro. Hiervoor is 31,25 euro/uur in rekening gebracht, er is uitgegaan van een gemiddeld brutoloon van 5000 euro (vakantiegeld, eindejaarspremie, extralegale voordelen, ...) en een werkmaand van 160 uren. De kosten zijn terug te vinden in Tabel 5.

Ook de besparingen van de verschillende softwarepakketten zijn in rekening gebracht. Voor de reiskosten is een besparing van 5000 euro in rekening gebracht. Deze kostenbesparing vindt niet alleen plaats als niet gereisd moet worden voor een nieuwe installatie op te bouwen, maar ook als de klant een probleem ervaart en deze opgelost kan worden via de verbeterde *remote* support. Er is ook een besparing van gemiddeld twee uur per telefonisch probleem in rekening gebracht door duidelijkere communicatie. Tot slot is een ontwikkelingskostenbesparing van gemiddeld één week in rekening gebracht. De fysieke machine zal minder fouten bevatten waardoor deze sneller getest en afgemonteerd kan worden. De materiaalkost en uren om nieuwe onderdelen te produceren of aan te kopen is niet in rekening gebracht. De kostenbesparingen zijn terug te vinden in Tabel 6. Tabel 7 is een samenvattingstabel van de kosten en besparingen.



Tabel 5: Kostentabel

Kosten	Eénmalige kosten (€)	Jaarlijkse kosten (€)	Uren	Kost van de uren (31,25 €/uur)	
Vuforia Chalk	/	3800	/	/	(5 premium gebruikers)
Creo Illustrate	/	4400	/	/	(1 standaard <i>locked</i> licentie)
Vuforia Studio	/	22000	/	/	(20 gebruikers)
Emulate3D	24000	4800	/	/	(1 licentie)
Leertijd Vuforia Chalk	/	/	1	31,25	(Per personeelslid)
Leertijd Creo Illustrate en Vuforia Studio	/	/	24	750	(Per personeelslid)
Leertijd Emulate3D	/	/	80	2500	(Per personeelslid)
Ontwikkelingstijd Vuforia Chalk	/	/	0	0	(Per personeelslid)
Ontwikkelingstijd Creo Illustrate en Vuforia Studio	/	/	8	250	(Per applicatie)
Ontwikkelingstijd Emulate3D	/	/	8	250	(Per <i>digital twin</i> )

Tabel 6: Besparingstabel

Besparingen	Kostenbesparingen	Uren besparing	Besparing in kost per personeelslid (31,25 €/uur)
Reiskosten	5000 €/probleem of opbouw nieuwe installatie	/	/
Duidelijkere communicatie door Vuforia Chalk en digital twin t.o.v. huidige communicatiemiddelen	/	2u/telefonisch probleem	62,5 €/telefonisch probleem
Virtueel prototype	/	1 week ontwikkelingstijd	1250 €/installatie ontwikkeling
Klantentevredenheid	Onbetaalbaar	/	/

Tabel 7: Samenvattingstabel kosten en besparingen

Samenvattingstabel	Kosten (€)	Besparingen
Jaarlijkse kosten	35000	
Eenmalige kosten+leertijd	27281,25	
Kost per <i>digital twin</i>	250	
Kost per applicatie	250	
Reiskosten		5000 €/probleem
Duidelijkere communicatie door Vuforia Chalk en <i>digital twin</i> t.o.v. huidige communicatiemiddelen		62,5 €/telefonisch probleem
Virtueel prototype		1250 €/ontwikkelde installatie

### 5.3 Conclusie

Er kan geen exacte schatting van de besparingen vermeld worden want dat is afhankelijk van de problemen die zich voordoen. Toch kan er besloten worden dat de softwarepakketten wel degelijk een besparing zullen opleveren. Het doel van de softwarepakketten is het verbeteren van de *remote support*. Het resultaat hiervan is dat de installatie van de klant sneller terug operationeel is en een besparing in reiskosten zal opleveren.

De grootste besparing vindt plaats als de reiskosten worden uitgespaard. Deze worden uitgespaard als problemen vanop afstand worden opgelost, maar ook als de klant zelfstandig een nieuwe installatie kan opstarten.

Als zeven keer reiskosten bespaard kunnen worden per jaar zijn de jaarlijkse kosten terugbetaald. Als dan nog vijf keer extra reiskosten uitgespaard worden zijn de eenmalige kosten ook terugbetaald. Het virtueel prototype zal ook een grote besparing opleveren en de ontwikkelingstijd van prototypes zal ook verminderen. De duidelijkere communicatie via Vuforia Chalk in combinatie met de *digital twin* t.o.v. de huidige communicatiemiddelen levert geen grote besparing op in uren maar zal er wel voor zorgen dat de reiskosten uitgespaard kunnen worden. Een ander bijkomend voordeel is dat de techniker extra vrijgekomen tijd heeft als deze niet moet reizen<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Alle gebruikte prijzen zijn inschattingen en situatie afhankelijk, aan deze prijzen kunnen geen rechten worden onthaald.



## 6 Conclusie

Het toepassen van *Augmented reality* in de industrie brengt veel voordelen met zich mee. Zo zal de productiviteit van de medewerkers stijgen, de *first time fix rate* zal verbeteren en de opleidingskosten zullen dalen. Daarnaast zullen virtuele prototypes zorgen voor een vermindering van de ontwikkelingstijd en een kostenbesparing opleveren omdat minder fysieke prototypes nodig zijn.

Uit het onderzoek en de praktische uitwerking van de verschillende softwarepakketten is gebleken dat de opstart van de installatie en het oplossen van problemen met de installatie stapsgewijs weergegeven kan worden via een Vuforia Studio applicatie. Deze visuele weergave in *augmented reality* laat de klant toe om zelfstandig problemen op te lossen en de installatie op te starten. De gecreëerde applicatie in Vuforia Studio kan weergegeven worden via de gratis applicatie Vuforia View. De stapsgewijze animaties kunnen gecreëerd worden dankzij PTC Creo Illustrate. Het nadeel van Vuforia Studio is dat het relatief veel tijd kost om de initiële applicatie te creëren, maar eens deze af is kunnen eenvoudig nieuwe animaties toegevoegd worden.

Vuforia Chalk kan gebruikt worden indien de klant toch nog tegen problemen aanloopt na het gebruik van de gecreëerde applicatie in Vuforia Studio. Vuforia Chalk is een eenvoudig te gebruiken applicatie waarmee aantekeningen gemaakt kunnen worden op het scherm. Deze aantekening blijven rond de bijhorende onderdelen staan dankzij *computer vision* technologie.

Ter ondersteuning van Vuforia Chalk kan gebruik gemaakt worden van een *digital twin*, dit is een virtuele representatie van de fysieke machine bij de klant. Dit virtueel model kan gecreëerd worden met Emulate3D. Initieel wordt het virtueel model gemaakt voor het virtueel prototype. Hiermee is het mogelijk om het PLC-programma uitvoerig te testen op het virtueel model in Emulate3D. Dit levert een tijdsbesparing op voor IPTE omdat het achteraf minder tijd kost om de installatie te testen en te optimaliseren. Het voordeel van Emulate3D is dat het virtueel model dat gebruikt wordt voor het virtueel prototype, ook gebruikt kan worden voor de *digital twin*.

Deze *digital twin* in combinatie met Vuforia Chalk en de applicatie in Vuforia Studio zullen de *remote support* drastisch verbeteren. Dit zal de service interventie vereenvoudigen en de productiestop bij de klant verkorten. Aangezien IPTE gebruikmaakt van gedetailleerde 3D CAD-modellen is er veel potentieel voor animaties in Creo Illustrate en het virtueel model in Emulate3D. Alle applicaties ondersteunen bestandsformaten van PTC Creo en Solidworks. Met een combinatie van deze aanbevolen softwarepakketten is aan alle eerder gestelde doelstellingen voldaan.

Na het onderzoek en de praktische uitwerking is een kostenanalyse uitgevoerd. Er kan geen exacte analyse uitgevoerd worden want de besparingen zijn afhankelijk van de problemen die zich voordoen. De grootste besparing vindt plaats als problemen vanop afstand opgelost kunnen worden en de techniker niet moet reizen. Uit de kostenanalyse blijkt dat zeven keer reiskosten bespaard moeten worden opdat de jaarlijkse kosten zijn terugbetaald. Dit is een haalbare doelstelling.

Tot slot kan IPTE nog vervolgonderzoek uitvoeren omtrent deze onderwerpen. De Vuforia Studio applicatie kan uitgebreid worden door nieuwe problemen die de klant ervaart met de *Easy Test Handler* toe te voegen aan de applicatie. Ook kunnen applicaties gecreëerd worden voor alle andere machines die IPTE aanbiedt. Emulate3D kan uitgebreid worden voor elke installatie aangeboden door IPTE. Mechanismen kunnen dankzij de Emulate3D *ribbon* rechtstreeks toegevoegd worden in het CAD-programma voor nieuw ontworpen machines. Daarnaast is het ook nog mogelijk om een *custom* script te schrijven voor de gebruikte drives en andere controllers in de machine. Als laatste kan alle aanbevolen software praktisch getest worden bij klanten op echte problemen.



## Referentielijst

- [1] IPTE, “Company: IPTE Factory Automation n.v.” <https://www.ipte.com/company> (accessed Dec. 09, 2021).
- [2] IPTE, “Operator Manual ETH [Handleiding],” Genk.
- [3] Michael Hollauf, “Mindmeister.” 2021.
- [4] D. Sniijders, S. Horsman, L. Kool, and R. van Est, *Verantwoord virtueel - Bescherm consumenten in virtual reality*. Den Haag: Rathenau Instituut, 2019.
- [5] J. Luyten, *Het effect op de resultaten van een beleidsonderzoek wanneer er gebruik gemaakt wordt van virtual reality in plaats van conventionele videotecnologie [eindwerk]*. Diepenbeek: Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen, 2018.
- [6] H. C. Lum, L. Jo Elliott, F. Aqlan, and R. Zhao, “Virtual reality: history, applications, and challenges for human factors research,” vol. 6, Embry-Riddle Aeronautical University; Penn State Erie, The Behrend College, 2020, pp. 1263–1268.
- [7] T. van der Zijpp, J. Sturm, and S. van Rooijen, *De waarde van virtual reality in de zorg*. Eindhoven: Fontys Hogeschool , 2018.
- [8] M. van Genderen and H. Vlake, “Virtuele Gezondheidszorg Medische Toepassingen Van Virtual, Augmented En Mixed Reality,” *Nederlands Tijdschrift Voor Geneeskunde*, vol. 163, pp. 14–19, 2018.
- [9] M. Mihelj, D. Novak, and S. Beguš, *Virtual Reality Technology and Applications*, vol. 68. Ljubljana: Faculty of electrical Engineering University of Ljubljana, 2014.
- [10] Playstation, “Beat Saber - PS4 game | PlayStation® Nederlands.” <https://www.playstation.com/nl-nl/games/beat-saber/> (accessed Oct. 10, 2021).
- [11] U. Eck and A. Winkler, “Display-Technologien für Augmented Reality in der Medizin,” *Unfallchirurg*, vol. 121, no. 4, pp. 278–285, Apr. 2018.
- [12] Poppr, “Augmented Reality · Poppr.” <https://www.poppr.be/nl/diensten/augmented-reality/> (accessed Oct. 15, 2021).
- [13] U. Schuurmans and R. Schuurmans, *Augmented reality* . Zutphen: Culemborg: Van Duuren Media, 2011.
- [14] Jeremy Norman’s, “Louis Rosenberg Develops Virtual Fixtures, the First Fully Immersive Augmented Reality System : History of Information.” <https://www.historyofinformation.com/detail.php?id=4231> (accessed Oct. 15, 2021).
- [15] tinmith, “ARQuake - Wearable Computer Lab.” <http://www.tinmith.net/arquake/> (accessed Oct. 15, 2021).
- [16] M. Bower, C. Howe, N. McCredie, A. Robinson, and D. Grover, “Augmented Reality in education - cases, places and potentials,” in *Educational Media International*, 1st ed., vol. 51, no. 1, Macquarie: Routledge, 2014, pp. 1–15.
- [17] Pokemon, “Pokémon GO.” <https://pokemongolive.com/en/> (accessed Oct. 15, 2021).

- [18] bimmerfile, “BMW to Introduce Augmented Reality Heads-Up Displays - BimmerFile.” <http://www.bimmerfile.com/2011/10/12/bmw-to-introduce-augmented-reality-heads-up-displays/> (accessed Oct. 15, 2021).
- [19] PTC, “What Is Augmented Reality? | PTC.” <https://www.ptc.com/en/technologies/augmented-reality> (accessed Oct. 17, 2021).
- [20] XRA and Boost VC, *Augmented and Virtual Reality [Survey Report]*, vol. 4. Perkinscoie, 2020.
- [21] BCG, “Making AR and VR a Business Reality | BCG.” <https://www.bcg.com/de-at/capabilities/digital-technology-data/emerging-technologies/augmented-virtual-reality> (accessed Oct. 15, 2021).
- [22] IDC, “IDC Worldwide Augmented and Virtual Reality Spending Guide,” Worldwide, 2020.
- [23] M. Bordegoni and C. Rizzi, *Innovation in Product Design - From CAD to Virtual Prototyping*. London: Springer, 2011.
- [24] J. Rix, J. Haas, and J. Teixeira, *Virtual Prototyping: Virtual environments and the product design process*. London: Springer, 1995.
- [25] M. Farsi, A. Daneshkhah, A. Hosseinian-Far, and H. Jahankhani, *Digital Twin Technologies and Smart Cities*. Cham: Springer, 2020.
- [26] A. Rasheed, O. San, and T. Kvamsdal, “Digital twin: Values, challenges and enablers from a modeling perspective,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 21980–22012, 2020.
- [27] ITdaily, “Hoe Philips van iedereen een digitale tweeling wil maken - ITdaily.” <https://itdaily.be/blogs/business/philips-digital-twin/> (accessed Oct. 16, 2021).
- [28] M. Grieves, *Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication*. Berlijn: ResearchGate, 2015.
- [29] K. D. Thoben, S. A. Wiesner, and T. Wuest, “‘Industrie 4.0’ and smart manufacturing—a review of research issues and application examples,” in *International Journal of Automation Technology*, vol. 11, no. 1, Bremen: Fuji Technology Press, 2017, pp. 4–16.
- [30] A. Gilchrist, *Industry 4.0*. Berkeley, CA: Apress, 2016.
- [31] F. Khodadadi, V. Dastjerdi, and R. Buyya, *INTERNET OF THINGS*. Melbourne: Morgan Kaufmann, 2016.
- [32] N. Verwimp and S. Reynaert, *INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS IN INDUSTRIE 4.0 [eindwerk]*. Leuven: KULeuven, 2017.
- [33] Microsoft Azure, “Wat is cloudcomputing? .” <https://azure.microsoft.com/nl-nl/overview/what-is-cloud-computing/#benefits> (accessed Nov. 07, 2021).
- [34] CadCorner, “Vuforia Chalk.” <https://www.cadcorner.be/nl/software/vuforia-chalk> (accessed Dec. 10, 2021).
- [35] PTC, “Product brief Vuforia Chalk [informatiebrochure],” 2018.
- [36] PLM Central Ltd, “Vuforia Chalk - PLM Central Ltd | We Design Innovation.” <https://plmcentral.co.uk/vuforia-chalk/> (accessed Dec. 10, 2021).

- [37] CadCorner, “PTC Creo Illustrate.” <https://www.cadcorner.be/nl/software/ptc-creo-illustrate> (accessed Nov. 26, 2021).
- [38] PTC inc., “PTC Creo Illustrate [informatiebrochure],” 2017.
- [39] PTC inc., “Schedule a Demo of Creo Illustrate.” <https://www.ptc.com/en/products/creo/illustrate/demo> (accessed Nov. 26, 2021).
- [40] AD Ultima group, “Maak met Creo Illustrate montage instructies in een handomdraai.” <https://www.adultimagroup.com/blog/ptc/maak-met-creo-illustrate-montage-instructies-in-een-handomdraai/> (accessed Nov. 26, 2021).
- [41] GPO Solutions / CadCorner, “Webinar Series Augmented Reality - Webinar 1: From CAD to AR - YouTube.” Accessed: Nov. 26, 2021. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=qEVGd5zFsxc>
- [42] PTC, “Creo Illustrate Help Center.” [https://support.ptc.com/help/creo/illustrate/r6.0/en/index.html#page/creo\\_illustrate/gxy1335.html](https://support.ptc.com/help/creo/illustrate/r6.0/en/index.html#page/creo_illustrate/gxy1335.html) (accessed Dec. 10, 2021).
- [43] PTC, “PTC Creo Illustrate.” 2022.
- [44] Arbortext, “Creo Illustrate Overview Demonstration - YouTube.” <https://www.youtube.com/watch?v=nunkdnzPZac> (accessed Nov. 26, 2021).
- [45] Aveniq, “PTC Creo Illustrate - YouTube.” <https://www.youtube.com/watch?v=zegW-HSQg0s> (accessed Nov. 26, 2021).
- [46] RadovanMíček, “Creo Illustrate (align annotation from explode line).” <https://community.ptc.com/t5/Addtl-Creo-Products-View-Sketch/Creo-Illustrate-align-annotation-from-explode-line/td-p/462832> (accessed Nov. 26, 2021).
- [47] Vuforia, “Vuforia Studio - Root Solutions | IIoT & AR.” <https://www.vuforia.co.uk/vuforia-studio/> (accessed Dec. 10, 2021).
- [48] PTC, “Vuforia Studio Widgets.” [http://support.ptc.com/help/vuforia/studio/en/#page/Studio\\_Help\\_Center%2FWidgets.html%23](http://support.ptc.com/help/vuforia/studio/en/#page/Studio_Help_Center%2FWidgets.html%23) (accessed Dec. 12, 2021).
- [49] PTC, “PTC Vuforia Studio.” 2021.
- [50] PTC, “Vuforia Studio Model Target.” [http://support.ptc.com/help/vuforia/studio/en/#page/Studio\\_Help\\_Center%2FWidgetModelTarget.html%23](http://support.ptc.com/help/vuforia/studio/en/#page/Studio_Help_Center%2FWidgetModelTarget.html%23) (accessed Dec. 12, 2021).
- [51] Vuforia, “Image Targets | VuforiaLibrary.” <https://library.vuforia.com/features/images/image-targets.html> (accessed Dec. 10, 2021).
- [52] W. J. Milligan, S. M. Gillan, and D. K. Harrison, “ThingMark for a WRV510 Screw Compressor.” [https://www.researchgate.net/figure/ThingMark-for-a-WRV510-Screw-Compressor\\_fig4\\_335588471](https://www.researchgate.net/figure/ThingMark-for-a-WRV510-Screw-Compressor_fig4_335588471) (accessed Dec. 10, 2021).
- [53] PTC, “Vuforia Studio Projects and Experiences.” [http://support.ptc.com/help/vuforia/studio/en/#page/Studio\\_Help\\_Center%2FProjectsExperiences.html%23](http://support.ptc.com/help/vuforia/studio/en/#page/Studio_Help_Center%2FProjectsExperiences.html%23) (accessed Dec. 12, 2021).



- [54] CadCorner, “Vuforia Studio.” <https://www.cadcorner.be/nl/software/vuforia-studio> (accessed Dec. 10, 2021).
- [55] AREA, “How Assisted Reality differs from Augmented Reality .” <https://thearea.org/ar-news/how-assisted-reality-differs-from-augmented-reality/> (accessed Dec. 12, 2021).
- [56] Vuforia, “Home – Vuforia Studio.” <https://trial.studio.vuforia.com/home/> (accessed Dec. 10, 2021).
- [57] Vuzix, “Vuzix M400 | Wearable, Powerful, Smart Glasses.” <https://www.vuzix.com/products/m400-smart-glasses> (accessed Dec. 10, 2021).
- [58] Vuforia, *Getting Started Install and Configuration Vuforia Studio Free Trial*. Needham: PTC, 2019.
- [59] Savaco, “Vuforia Studio & Vuforia View.” <https://www.savaco.com/nl/internet-of-things/augmented-reality/vuforia-studio-vuforia-view> (accessed Dec. 12, 2021).
- [60] Apple, “Vuforia View in de App Store.” <https://apps.apple.com/nl/app/vuforia-view/id1076700285> (accessed Dec. 10, 2021).
- [61] PTC, “ThingWorx Product Brief [informatiebrochure],” 2018.
- [62] PTC, “Brochure ThingWorx overview.” <https://www.ptc.com/en/resources/iiot/brochure/thingworx-overview> (accessed Dec. 10, 2021).
- [63] Modelcam, “Internet of Things (IOT) | PTC ThingWorx - Industrial IoT platform.” <https://www.modelcamtechnologies.com/iiot> (accessed Dec. 05, 2021).
- [64] PTC, “ThingWorx Analytics product brief [informatiebrochure],” 2018.
- [65] PTC community, “Thingworx studio and vuforia studio.” <https://community.ptc.com/t5/Vuforia-Studio/Thingworx-studio-and-vuforia-studio/td-p/523219> (accessed Dec. 10, 2021).
- [66] PTC, “Vuforia Studio - products.” <https://www.ptc.com/de/products/vuforia/vuforia-studio> (accessed Dec. 10, 2021).
- [67] PTC, “ThingWorx Industrial Connectivity product brief [informatiebrochure],” 2018.
- [68] Inas, “ThingWorx Foundation - INAS S.A.” <https://www.inas.ro/en/thingworx-foundation> (accessed Dec. 05, 2021).
- [69] PTC, “ThingWorx Foundation Build product brief [informatiebrochure],” 2018.
- [70] PTC, “ThingWorx Asset Advisor [informatiebrochure],” 2017.
- [71] PTC, “ThingWorx Asset Advisor .” <https://www.ptc.com/en/products/thingworx/asset-advisor> (accessed Dec. 10, 2021).
- [72] PTC, “ThingWorx Controls Advisor [informatiebrochure],” 2017.
- [73] M. Alba, “Democratizing Change Review with ThingWorx Navigate Contribute [informatiebrochure],” 2019.
- [74] Rockwell Automation, “Emulate3D Basics [Webinar].”

- [75] Rockwell Automation, “Emulate3D.” 2022.
- [76] Rockwell Automation, “Emulate3D .” <https://www.demo3d.com/> (accessed Apr. 09, 2022).
- [77] Glenvern Group Pty Ltd, “Sim3D .” <https://www.glenverngroup.com/sim3d> (accessed Apr. 10, 2022).
- [78] Glenvern Group Pty Ltd, “Demo3D .” <https://www.glenverngroup.com/demo3d> (accessed Apr. 10, 2022).
- [79] Glenvern Group Pty Ltd, “Layout3D .” <https://www.glenverngroup.com/layout3d> (accessed Apr. 10, 2022).
- [80] Microsoft, “Details van in immersieve headsethardware.” <https://docs.microsoft.com/nl-nl/windows/mixed-reality/enthusiast-guide/immersive-headset-hardware-details> (accessed Apr. 09, 2022).
- [81] Rockwell Automation, “Emulate3D manual - update CAD.” [https://store.sim3d.com/demo3d\\_2022/update\\_cad](https://store.sim3d.com/demo3d_2022/update_cad) (accessed Apr. 09, 2022).
- [82] Rockwell Automation, “Emulate3D manual - CAD file import/export recommendations.” [https://store.sim3d.com/demo3d\\_2022/cad\\_file\\_export\\_recommendations](https://store.sim3d.com/demo3d_2022/cad_file_export_recommendations) (accessed Apr. 09, 2022).
- [83] IPTE Factory Automation n.v., “ETH S - Easy Test Handler (Spindle).” <https://www.ipte.com/smt/test-handling/detail/eth-s-easy-test-handler-spindle> (accessed Feb. 18, 2022).
- [84] Roth, “RADEX®-NC EK.” <https://www.roth-ing.de/en/products/coupling/backlash-free-servo-couplings/radexr-nc/radexr-nc-ek> (accessed Feb. 18, 2022).
- [85] PTC, “Vuforia Studio.” 2022.
- [86] w3schools, “CSS Tutorial.” <https://www.w3schools.com/css/default.asp> (accessed Feb. 18, 2022).
- [87] PTC, “Vuforia View.” 2022.
- [88] PTC, “Creo.” 2021.
- [89] PTC, “Vuforia Chalk.” 2022.
- [90] PTC, “Support: Standard Encryption.” [https://support.ptc.com/help/vuforia/chalk\\_admin\\_center/#page/Vuforia\\_Chalk\\_Admin\\_Center%2Fcommon%2Fstandard\\_encryption.html%23wwID0EI1CM](https://support.ptc.com/help/vuforia/chalk_admin_center/#page/Vuforia_Chalk_Admin_Center%2Fcommon%2Fstandard_encryption.html%23wwID0EI1CM) (accessed Feb. 18, 2022).
- [91] PTC, “Support: Company Setting.” [https://support.ptc.com/help/vuforia/chalk\\_admin\\_center/#page/Vuforia\\_Chalk\\_Admin\\_Center%2FCompanySettings.html%23](https://support.ptc.com/help/vuforia/chalk_admin_center/#page/Vuforia_Chalk_Admin_Center%2FCompanySettings.html%23) (accessed Feb. 18, 2022).
- [92] MVO Vlaanderen, “Peer-to-peer .” <https://www.mvovlaanderen.be/thema/peer-peer> (accessed Feb. 18, 2022).
- [93] YouTube, “How to connect to a remote PLC .” <https://www.youtube.com/watch?v=4XeK2Zk13V8> (accessed May 09, 2022).

