

The AM Workshop 4.0 Framework



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.



This work is licensed by the EXAM 4.0 Partnership under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

EXAM 4.0 partners:

TKNIKA – Basque VET Applied Research Centre, CIFP Miguel Altuna, DHBW Heilbronn – Duale Hochschule Baden-Württemberg, Curt Nicolin High School, Da Vinci College, AFM – Spanish Association of Machine Tool Industries, 10XL, and EARLALL – European Association of Regional & Local Authorities for Lifelong Learning.



"De steun van de Europese Commissie voor de totstandkoming van deze publicatie houdt geen goedkeuring in van de inhoud ervan, die uitsluitend de mening van de auteurs weergeeft, en de Commissie kan niet verantwoordelijk worden gesteld voor het gebruik dat eventueel wordt gemaakt van de informatie die erin is vervat".

- **Abstract**

Industry 4.0 stelt nieuwe eisen aan werknemers, en nieuwe technologieën vereisen innovatieve oplossingen, en dus ook innovatieve werknemers die zich aan de vereiste aanpassingen kunnen aanpassen en de sector meerwaarde kunnen bieden. De nieuwe eisen die aan de werknemers worden gesteld, stellen op hun beurt nieuwe eisen aan het onderwijs. Curt Nicolin Gymnasiet en de partners van het EXAM 4.0-consortium hebben in het kader van Werkpakket 4 onderzoek verricht naar methoden voor de ontwikkeling van onderwijs in Industry 4.0 om aan de nieuwe eisen te voldoen. Werkpakket 4, in EXAM 4.0, bevat definities van de eisen waaraan een MBO/HBO-centrum moet voldoen om studenten sleutelvaardigheden en -competenties te kunnen bijbrengen die van cruciaal belang zijn op het gebied van Advanced Manufacturing. Modellen voor het beschrijven van instellingen en LABs worden opgenomen en getest door alle partners van het consortium. De modellen en beschrijvingen kunnen nuttig zijn bij het definiëren van nieuwe LABs, ontworpen voor excellente Advanced Manufacturing. Werkpakket 4 bevat ook informatie over relevante technologieën voor Advanced Manufacturing, belangrijke aspecten van Industry 4.0 en leerprocessen zoals methodologieën en leerinhoud met betrekking tot onderwijs in Industry 4.0. Dit verslag, werkpakket 4.4, bevat informatie over onderwijs in Industry 4.0 en de verantwoordelijkheden van diegenen die bij het proces betrokken zijn. Al het werk in werkpakket 4 wordt ook gebruikt om een kader te creëren, waarin het ideale proces wordt beschreven dat moet worden toegepast bij het creëren van nieuwe AM-LABs 4.0.



- Inhoudsopgave

Abstract	3
Inhoudsopgave	4
WP4.4 Taaksjabloon	5
Afkorting	6
Inleiding	7
Het kader van de AM Werkplaats 4.0	8
4.1 Industry 4.0	8
4.2 Kenmerken van het kader voor de AM-Werkplaats 4.0	8
4.3 Aantal technologieën	13
4.4 Methodologieën voor I4.0-leren	14
4.5 Hoe Industry 4.0 te onderwijzen	16
4.6 Rollen en verantwoordelijkheden	19
4.7 Definitie van nieuwe EXAM 4.0 LABs	19
Referenties	23



- WP4.4 Taaksjabloon

Verwacht resultaat	Nummer	D4.4
	Titel	Het kader van de AM-Werkplaats 4.0
	Type	Verslag
	Beschrijving	Een document waarin de concepten (grafisch) en kenmerken van de diverse elementen van het kader voor de AM-Werkplaats 4.0 worden toegelicht. Organisatie van het leerproces om er voordeel uit te halen. Aantal betrokken technologieën, soort apparatuur dat ter beschikking staat, connectiviteit, de "leren op basis van uitdagingen"-aanpak als de ideale methodologie voor deze ervaring. Rol en verantwoordelijkheden van de betrokken personen. Aanbevelingen inzake planning, programmering, uitvoering en toezicht. Voordelen, vereisten inzake initiële opleiding en deskundigheid, enz.
	Vervaldatum	M07
	Taal (talen)	Engels, Duits, Zweeds, Nederlands en Spaans
	Media	elektronica
Verspreidingsniveau	Publiek	



- **Afkorting**

AI= Artificial Intelligence, Kunstmatige Intelligentie

AM = Advanced Manufacturing, geavanceerde fabricage

AR = Augmented Reality

CAD = Computer Aided Design

CAM = Computer Aided Manufacturing

CoVE = Centres of Vocational Excellence

CPS = Cyber-fysieke systemen

D = Prestatie

EKK = Europees kwalificatiekader

EXAM 4.0 = Excellent Advanced Manufacturing 4.0

HBO = Hoger Beroepsonderwijs

I4.0 = Industry 4.0

ICT = Informatie- en communicatietechnologieën

IoT = internet der dingen

IIoT = industrieel internet der dingen

IT = Informatietechnologie

ST = sleuteltechnologieën

M2M = Machine-to-machine-communicatie

OT = Operationele Technologie

RFID = radiofrequentie-identificatie

MBO = Middelbaar beroepsonderwijs

VR = Virtuele Realiteit

WP = werkpakket



- **Inleiding**

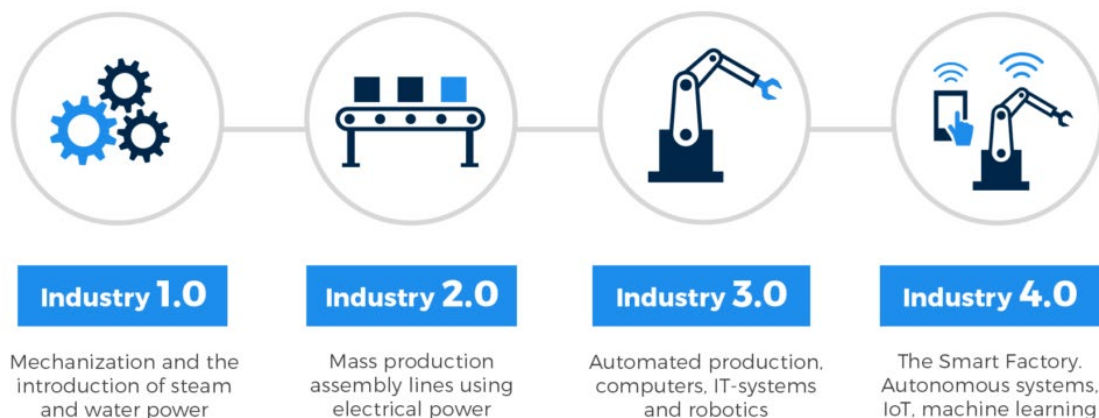
Het vierde deel van het verslag bevat grafieken en kenmerken van de diverse elementen van het kader voor de AM-Werkplaats 4.0. Diverse grafieken met visuele voorstellingen van belangrijke aspecten van Industry 4.0 en de betrokken technologieën. Verschillende leerbenaderingen zoals leren op basis van uitdagingen als een ideale methodologie. Informatie over onderwijs in Industry 4.0 en de rol en verantwoordelijkheden van de betrokkenen. Dit deel bevat ook aanbevelingen inzake planning, programmering, uitvoering en monitoring van nieuwe AM-LABs.



Het kader van de AM-Werkplaats 4.0

I4.0 = Industry 4.0

The Four Industrial Revolutions



We zitten momenteel in een transformatie, waarin de manier van produceren als gevolg van de digitalisering verandert. Deze transformatie wordt Industry 4.0, of I4.0, genoemd en is de vierde industriële revolutie. In deze transformatie wordt voortgezet wat in de derde industriële revolutie was begonnen. Computers, automatisering, robotica versmelten met nieuwe technologieën zoals autonome systemen die worden bevorderd door machinelere en data (Marr 2018). Interconnectiviteit, automatisering, machinaal leren en realtimegegevens vormen de belangrijkste focus van Industry 4.0. Het idee van I4.0 is het samenvoegen van fysieke productie met slimme digitale technologieën om goed verbonden ecosystemen te creëren met betrekking tot productie en het beheer van toeleveringsketens (Epicor n.d).

4.2 Kenmerken van het kader van de AM-Werkplaats 4.0

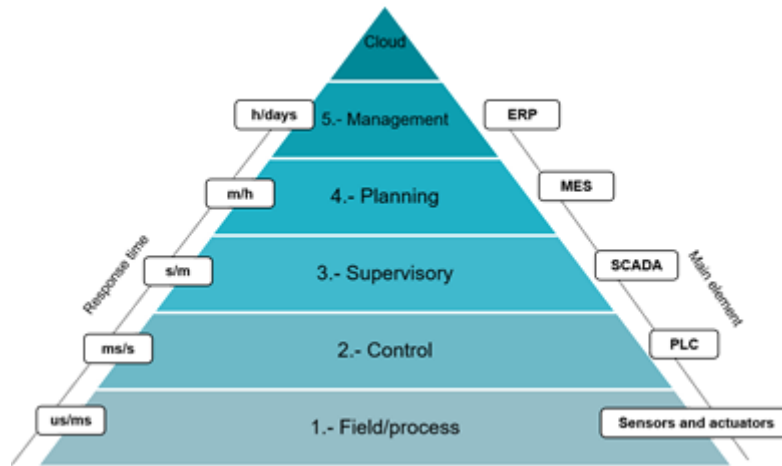
Voor het definiëren of karakteriseren van AM-werkplaatsen voor beroepsopleidingscentra is een technologisch referentiekader nodig waarin de belangrijkste kenmerken worden vastgelegd die de digitale transformatie met zich meebrengt.

Het referentiekader is gebaseerd op de aanpassingen die in bedrijven worden doorgevoerd, op de manier waarop bedrijven die zich bezighouden met AM de transformatie naar slimme fabrieken integreren en uitvoeren.

Het is belangrijk te bedenken dat het hier gaat om onderwijs- en leeromgevingen, waar de toepassing van technologie rechtstreeks verband houdt met de competenties die worden onderwezen en de leerdoelen die moeten worden behaald.



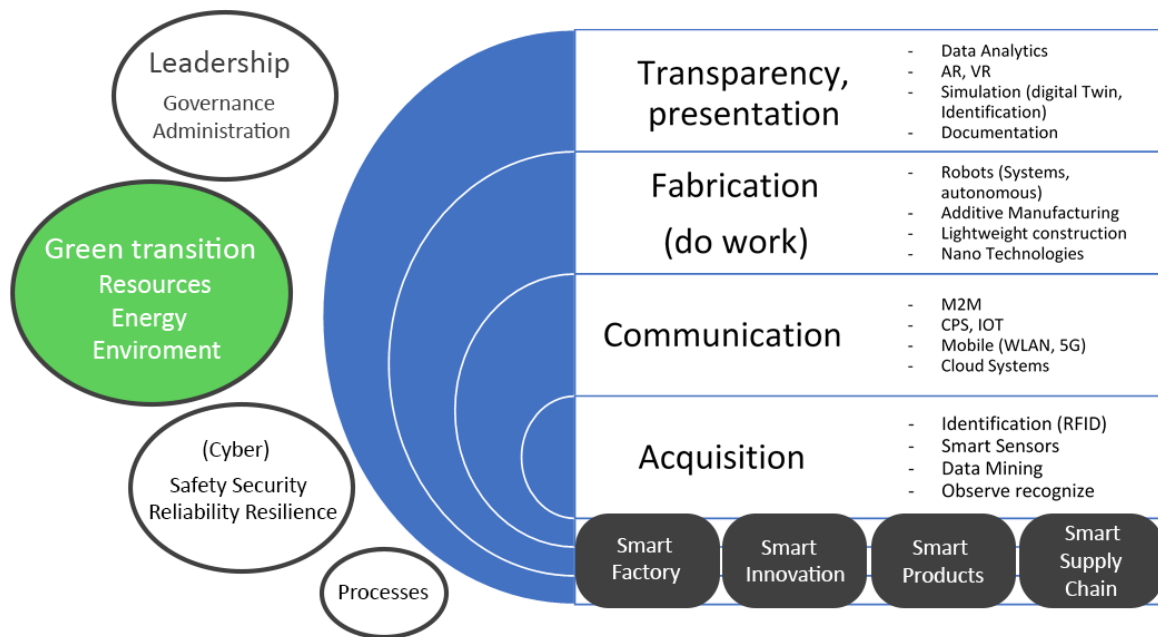
Aan de hand van de veelgebruikte niveaus en elementen van de automatiseringspiramide van Figuur 16 en met toevoeging van enkele andere elementen, stellen wij een leersysteem voor dat volgens een soortgelijke architectuur is opgebouwd.



Figuur 16 Automatiseringspiramide(EXAM4.0)

Een vereenvoudigde weergave van de mogelijke structuur van een LAB voor beroepsopleiding is te zien in Figuur 17. De voorgestelde LABs moeten worden gedigitaliseerd tot een representatief niveau dat het mogelijk maakt een groot aantal van de digitale kenmerken toe te passen die mogelijk worden gebruikt in slimme fabrieken. Volgens de typische lagen van een geautomatiseerde productielijn worden de voorgestelde AM-LABs voor beroepsonderwijs en -opleiding geconfigureerd rond een productieproces. Aangezien deze architectuur is ontworpen voor leerdoeleinden, is de configuratie open, modulair en flexibel.

Grafieken en kenmerken van de diverse elementen van Industry 4.0 die relevant zijn voor de AM-Werkplaats 4.0.



Figuur 17 Configuratie van een AM-lab voor beroepsonderwijs (EXAM 4.0)

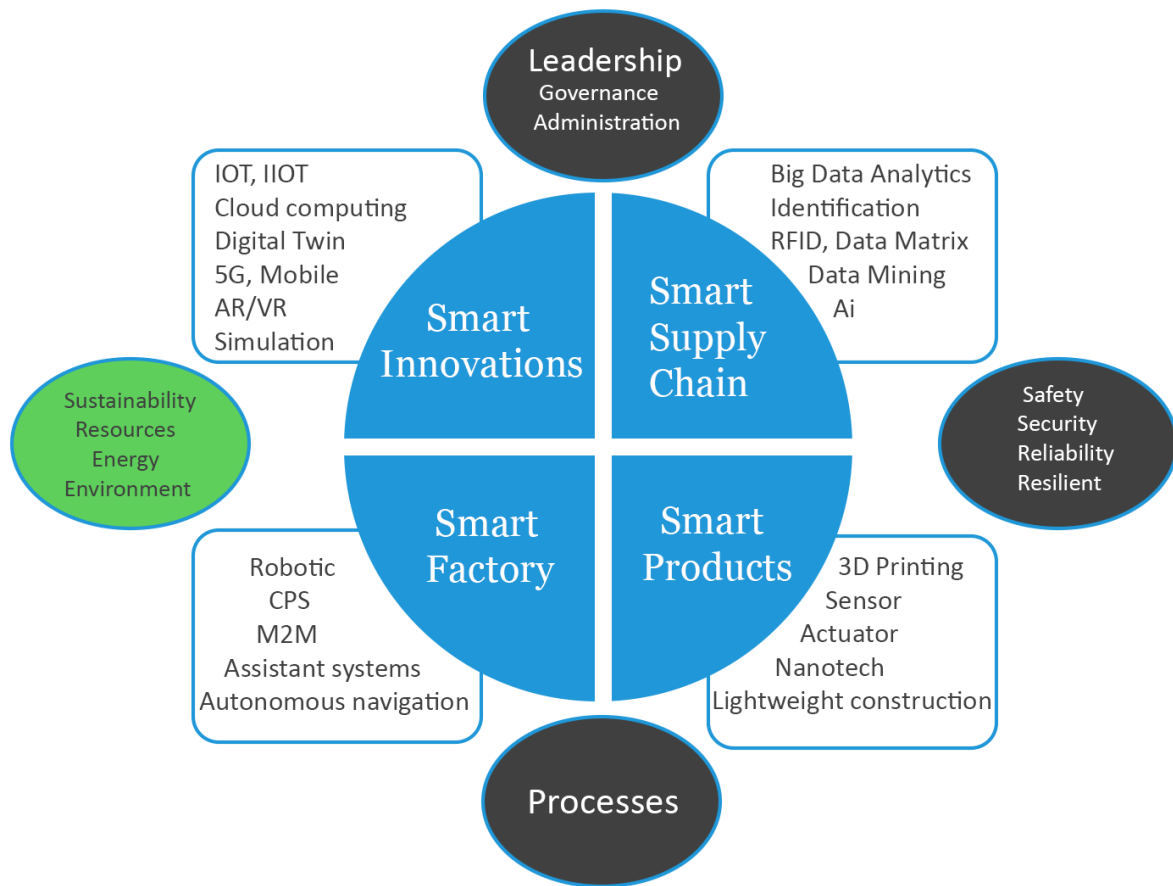
Het eerste veldniveau is het acquisitieniveau. Het tweede niveau is de communicatielaag, waarin verschillende communicatieprotocollen en -systemen worden geïmplementeerd, die niet alleen alle veldelementen met elkaar verbinden en besturen, maar ook communiceren met verschillende machines en apparatuur. Het derde niveau is de "fabricagelaag" waar de productie plaatsvindt. De configuratie en indeling van de productiemachines, met leerdoelen, zorgt voor de juiste productieworkflow. Er wordt aanvullende technologie gebruikt: robots en cobots, additive manufacturing, lijnmetrologie, traceerbaarheid, enz. De vierde laag is de transparantie- en presentatielaag.

Merk op dat deze weergave een aanvulling is op de *automatiseringspiramide* weergegeven in Figuur 16. De AM-LABs voor beroepsonderwijs en -opleiding moeten de controle niveaus, scada-systemen, MES-systemen en zelfs ERP's bevatten om de gegevens van de LABs te verbinden met andere gedigitaliseerde gebieden van de beroepsopleidingscentra.

Sturende bedrijfsmodellen

Een ander relevant aspect dat in overweging moet worden genomen is het bedrijfsmodel dat de activiteiten in de industrie aanstuurt. In WP2 hebben we de belangrijkste factoren beschreven die in verschillende industrieën van invloed zijn. Slimme oplossingen, slimme innovatie, slimme toeleveringsketens en slimme fabrieken zijn gebieden waarop fabrikanten enorme mogelijkheden kunnen verwezenlijken door hun bedrijf te digitaliseren. Waar slimme oplossingen en innovaties vooral zorgen voor bedrijfsgroei, zorgen slimme toeleveringsketens en slimme fabrieken voor efficiëntie.

Afhankelijk van de belangrijkste sturende factor die wordt gebruikt, zullen alle operationele modellen variëren, met inbegrip van de belangrijkste technologische factoren die op het proces inwerken. Het is belangrijk na te gaan welke gevolgen dit zal hebben voor de bedrijfsmodellen of het operationele model in onze AM-LABs voor beroepsonderwijs en -opleiding. In Figuur 19 zijn de belangrijkste technologische invloedsfactoren weergegeven, afhankelijk van het sturende bedrijfsmodel.



Figuur 18 Belangrijkste technologische invloedsfactoren en I4.0-elementen afhankelijk van het sturende bedrijfsmodel (EXAM 4.0)

Dit model geeft een algemeen beeld van de technologieën, methoden en elementen die van belang zijn voor het succes van I4.0.

In de volgende paragrafen wordt nader ingegaan op de vier voornaamste bedrijfsmodellen:

Slimme fabriek:

"De slimme fabriek is een concept om het einddoel van digitalisering in de productie tot uitdrukking te brengen" (Koo 2020).

De term "slimme fabriek" wordt meestal gebruikt in verband met sterk gedigitaliseerde fabrieken. Deze fabrieken verzamelen ononderbroken productiegegevens en delen gegevens tussen aangesloten machines en apparaten. De apparaten gebruiken de gegevens voor zelfoptimalisatie en de organisatie kan ze gebruiken om problemen in de fabriek aan te pakken en zo de productie te verbeteren. Binnen slimme fabrieken worden tal van technologieën gebruikt om ze functioneel te maken, bijvoorbeeld AI, Big Data Analytics, Cloud Computing en IIoT. (Koo 2020).

Beheer van slimme toeleveringsketens:

Industry 4.0 omvat meer dan alleen slimme fabrieken en de implementatie van technologieën, logistiek 4.0 en beheer van slimme toeleveringsketens. Logistiek 4.0 en beheer van slimme toeleveringsketens heeft betrekking op een verscheidenheid van kenmerken met betrekking tot end-to-end logistiek en beheer van slimme toeleveringsketens in Industry 4.0, zoals IoT, CPS en geavanceerde data-analyse. (i-SCOOP n.d).



Slimme fabrieken maken gebruik van technologieën zoals sensoren in apparatuur die is aangesloten op het IoT, samen met tal van andere geavanceerde technologieën zoals cyber-fysieke systemen, gegevensanalyse, robotica en AI. Deze technologieën spelen een sleutelrol in het beheer van slimme toeleveringsketens.

Het beheer van slimme toeleveringsketens biedt tal van voordelen, zoals het voorspellen van knelpunten. De toeleveringsketen kan zelforganiserend en zelfoptimaliserend zijn door gebruik van real-time data van sensoren in de fabriek. Slimme systemen die worden gebruikt in het beheer van slimme toeleveringsketens kunnen toekomstige knelpunten voorspellen en de implementatie van lean production ondersteunen (Throughput 2019).

Slimme producten:

Concepten van Industry 4.0, zoals slimme fabrieken en AM-technologieën, stimuleren innovatie en ontwikkeling die zowel processen als producten beïnvloeden, waardoor het mogelijk wordt slimme producten te creëren. (Schmidt et al. 2015, waarnaar wordt verwezen in Nunes et al. 2017)

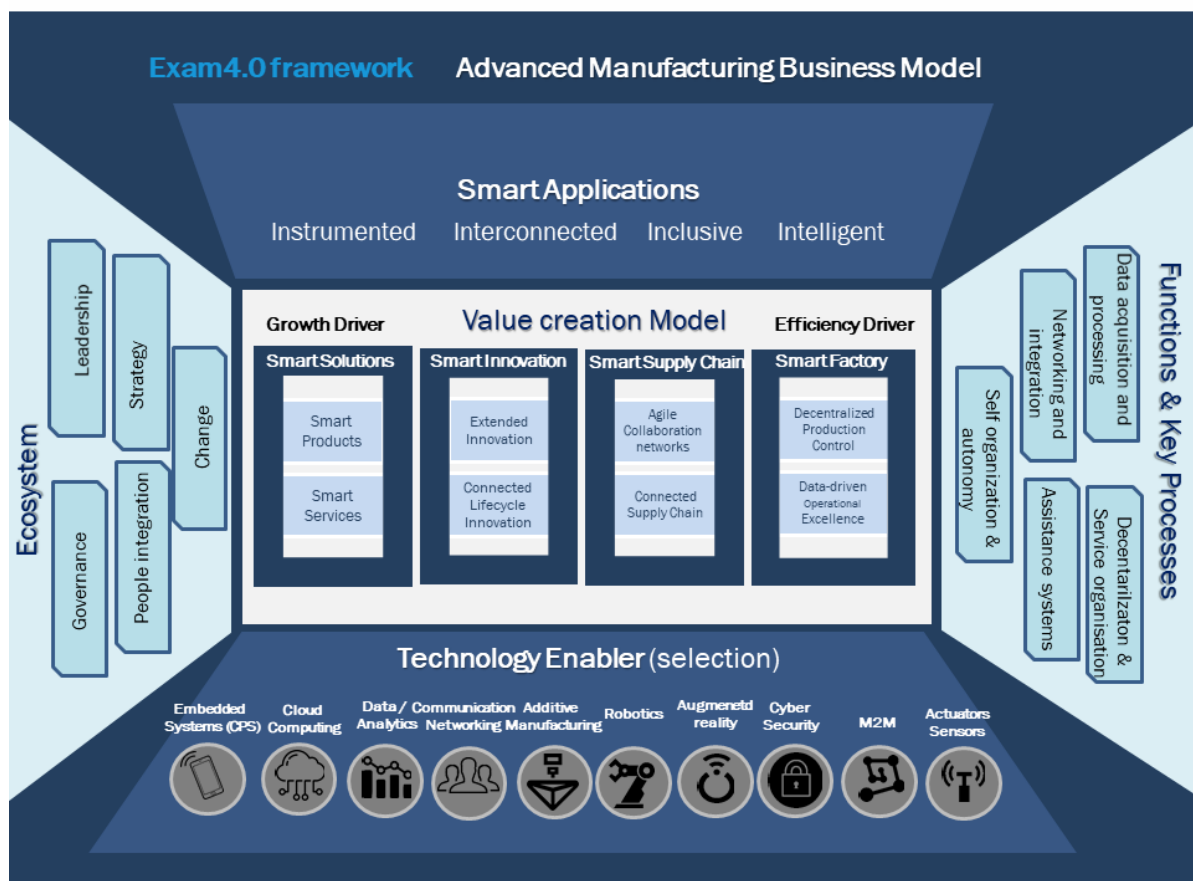
Het begrip "slim" heeft geen echte definitie, maar de term verwijst meestal naar apparaten die zelfstandig samenwerken met andere apparaten in een netwerk en met ingebedde systemen acties uitvoeren op basis van real-time updates (Raji 1994, waarnaar wordt verwezen in Nunes et al. 2017). De ontwikkeling van slimme producten en processen staat centraal in de vierde industriële revolutie. Deze ontwikkelingen worden gedreven door de transformatie van conventionele fabrieken naar slimme fabrieken (Radziwon 2014, waarnaar wordt verwezen in Nunes et al. 2017). In slimme fabrieken kan de complexiteit worden beheerst en de productie-efficiëntie verbeterd. Een slimme fabriek wordt gekenmerkt door de onderlinge communicatie in netwerken met menselijke hulpbronnen, machines en apparatuur, zoals slimme producten (Kagermann 2013, waarnaar wordt verwezen in Nunes et al. 2017).

Slimme producten zijn belangrijk voor I4.0-productie. Deze producten worden in het gehele productieproces gebruikt, ondersteunen dit proces voortdurend en sturen bepaalde delen van de productie autonoom aan. Slimme producten zijn ook geïnformeerd over de parameters en het toekomstige gebruik van zichzelf en zullen daarom gedurende hun hele levenscyclus statusinformatie over zichzelf verstrekken (Kagermann 2013, waarnaar wordt verwezen in Nunes et al. 2017). Het belangrijkste doel van slimme producten is hun interactie met de omgeving door middel van berekening, gegevensopslag en communicatie. Slimme producten kunnen in hun hele waardeketen informatie geven over hun voortgang, informatie opslaan over eerdere processtappen en ook informatie geven over toekomstige productie- en onderhoudsprocessen. Slimme producten kunnen ook zonder menselijke tussenkomst een wisselwerking hebben met fysieke omgevingen (Schmidt et al. 2015, waarnaar wordt verwezen in Nunes et al. 2017).

Slimme innovaties:

De digitalisering van de industrie zal niet alleen waardecreatieprocessen transformeren, maar ook aanleiding geven tot nieuwe bedrijfsmodellen en nieuwe innovaties. Slimme, digitale productieprocessen bieden grote kansen voor bedrijven - vooral voor het MKB. Nieuwe impulsen komen uit een veelheid van bronnen buiten de eigen organisatie, en die moeten proactief in een open innovatieproces worden geïntegreerd. In een onderling verbonden Industry 4.0 zijn ideeën echter veel waardevoller als ze zijn ingebed in een even innovatieve periferie van apparaten of aanverwante oplossingen. Extended Innovation omvat de creatie en distributie van ideeën over organisatorische grenzen heen, terwijl Connected Lifecycle Innovation gebruikmaakt van gegevens over de levenscyclus van producten als bron voor innovatie. Extended Innovation vereist dat innovatieprocessen in productiebedrijven worden opengesteld voor externe partners en klanten. Communicatie en connectiviteit maken bedrijfsoverschrijdende innovatieactiviteiten mogelijk. Extended Innovation is tweerichtingsverkeer, waarbij informatie het bedrijf binnenkomt en uitgaat. Terwijl prikkels van buitenaf actief het bedrijf worden binnengebracht, fungeert het als een hub om ze vervolgens in het partnernetwerk in te brengen en zo innovatie en het genereren van ideeën breed te ondersteunen. Samenwerking in het innovatieproces met zowel klanten als partners zal de time-to-market verkorten en de innovatiesnelheid opdrijven naar een constante stroom. Ten slotte zullen innovaties duurzamer worden door informatie te delen in het hele ecosysteem van de fabrikant. Connected

Lifecycle Innovation onderscheidt zich van 'gewoon' productlevenscyclusbeheer door zijn holistische aanpak: productgerelateerde informatie wordt gekoppeld aan andere relevante gegevens, zoals machineparameters of klantordergegevens. Deze informatie wordt vervolgens geanalyseerd, verwerkt en gebruikt voor het genereren van innovatie, waardoor gegevensgestuurde R&D-besluitvorming en innovatie van bedrijfsprocessen in de hele organisatie mogelijk wordt, bijvoorbeeld in verkoopprocessen. Net als Extended Innovation zal Connected Lifecycle Innovation leiden tot een toename van de innovatiefrequentie. Hierdoor zal de tijd die nodig is om een product op de markt te brengen, worden verkort, hetgeen groeipotentieel en een grotere efficiëntie bij de activiteiten inhoudt, met lagere R&D-kosten.

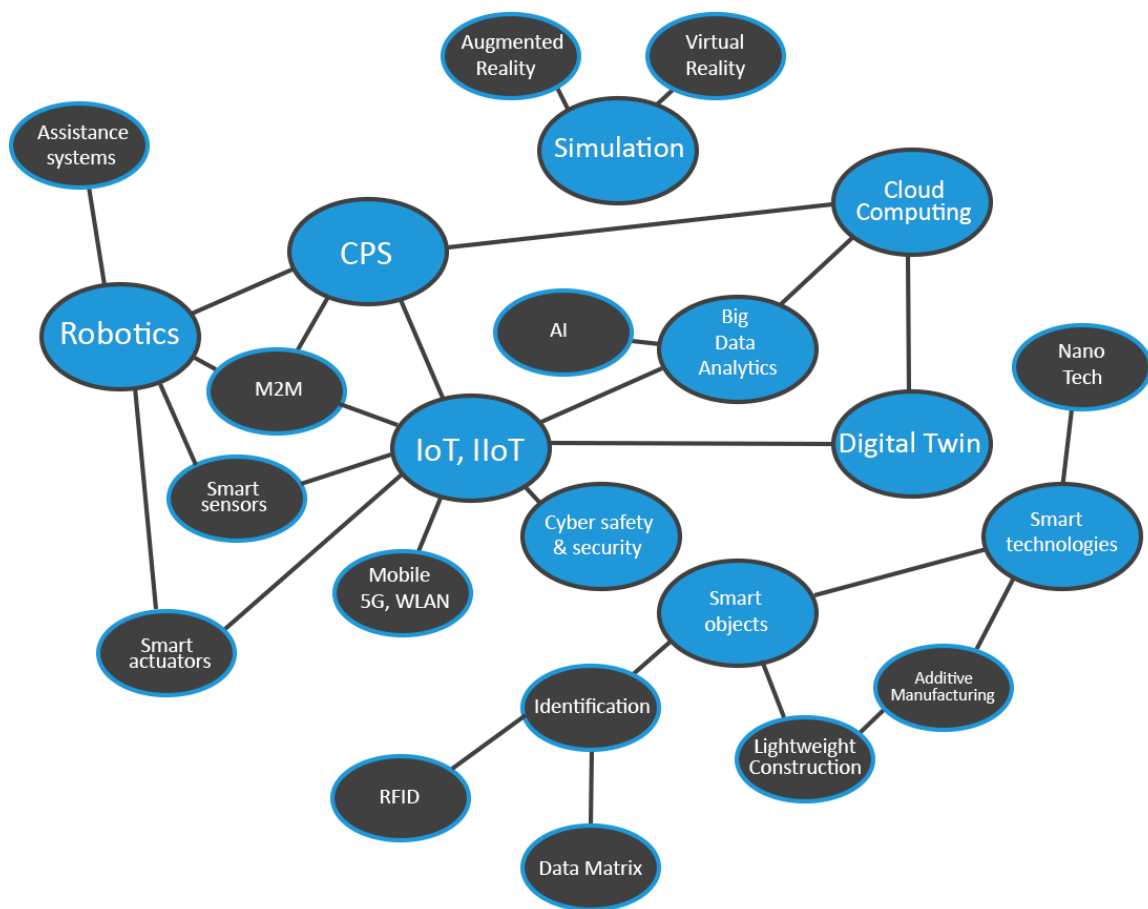


Figuur 19 EXAM 4.0-Bedrijfsmodel (EXAM 4.0)

EXAM 4.0-LABs moeten overeenstemmen met of gebaseerd zijn op het Exam 4.0-Kader en het Exam 4.0-Competentiekader uit het WP 2-onderzoeksverslag.

De semigestructureerde vragenlijst die door de partners van het consortium is ingevuld, kan niet alleen worden gebruikt bij de beschrijving van bestaande LABs, maar ook bij de beschrijving van nieuwe EXAM 4.0-LABs.

4.3 Aantal technologieën



Figuur 20 Grafische weergave AM-technologieën (EXAM 4.0)

De ST's en de aan industrie 4.0 en AM gerelateerde technologieën zijn beschreven in deel 2 van dit document. Figuur 20 is een grafische voorstelling van de technologieën en hun onderlinge relaties. De grafiek is gebaseerd op de PowerPoint "EXAM 4.0-Kader, technologische invloedsfactoren" van WP2. De grijze en blauwe ellipsen stellen lagen van de verschillende technologieën voor en de lijn ertussen geeft de fundamentele relatie tussen deze technologieën weer.

4.4 Methodologieën voor I4.0-leren

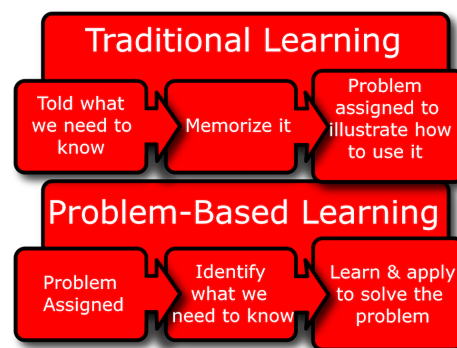
Een van de kenmerken van de Centres of Vocational Excellence (CoVE) die door de EU-commissie worden genoemd, is dat zij een studentgecentreerde leerbenadering en actieve leermethoden hanteren.



In de EXAM 4.0-context worden actieve leermethoden gebruikt in I4.0-onderwijs- en leeromgevingen. Relevante leermethoden en nadere informatie daarover worden dienovereenkomstig beschreven:

- **Probleemgestuurd leren**

PBL is een onderwijsmethode die wordt gebruikt om concepten en beginselen te leren. Deze onderwijsmethode is tegengesteld aan de directe presentatie van feiten en concepten. Complexe wereldproblemen worden in PBL toegepast om het leren van de studenten te stimuleren. Naast bepaalde vaardigheden en competenties in het onderwijsprogramma kan PBL het aanleren van probleemoplossend vermogen, communicatievaardigheden en kritisch denkvermogen ondersteunen. De leermethode ondersteunt onder meer een leven lang leren en teamwork (Duch, Groh, Allen 2001, waarnaar wordt verwezen in University of Illinois Board of Trustees, et al 2020).



Figuur 21 *Probleemgestuurd leren (PBL)*(Serhat 2020)

- **Projectgebaseerd leren**

Projectgebaseerd leren is een onderwijsmethode waarbij lerenden in projecten aan reële en zinvolle taken werken.

Het project wordt uitgevoerd binnen een bepaalde tijdsduur, waarbij het tijdschema zeer uiteenlopend kan zijn. Bij projectgebaseerd leren worden de leerlingen betrokken bij het oplossen van problemen en complexe vragen uit de echte wereld. Terwijl de leerlingen met zinvolle projecten werken, geven zij hun vaardigheden- en kennisniveau aan.

Lerenden verbeteren inhoudelijke kennis, en daarnaast kritisch denken, samenwerking, creativiteit en communicatievaardigheden door projectgebaseerd leren als onderwijsaanpak te gebruiken (Buck Institute for Education n.d).

Dit zijn allemaal essentiële competenties voor het werken in I4.0.

- **Leren op basis van uitdagingen**

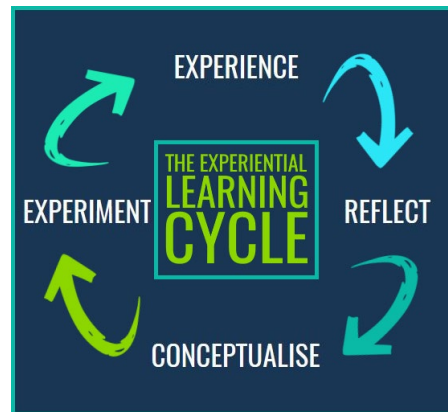
"Challenge Based Learning (CBL), of leren op basis van uitdagingen, biedt een efficiënt en effectief kader om te leren terwijl je uitdagingen in de echte wereld oplost" (The Challenge Institute 2018). CBL is een onderwijsmethode met het doel leerlingen te onderwijzen terwijl ze uitdagingen uit de echte wereld oplossen. De methode stimuleert samenwerking op vele gebieden, bijvoorbeeld om uitdagingen te signaleren, te onderzoeken en op te lossen (The Challenge Institute 2018).



- **Experimenteel leren (ook Hands-on leren)**

De betekenis van Experimenteel leren is leren door ervaring, zoals de naam al aangeeft (Cherry 2020). De definitie van deze leermethode kan volgens de psycholoog David Kolb worden uitgelegd als "het proces waarbij kennis wordt gecreëerd door de transformatie van ervaring. Kennis is het resultaat van de combinatie van het begrijpen en transformeren van de ervaring" (Kolb 1984, waarnaar wordt verwezen in Cherry 2020).

Bij experimenteel leren moet de leerling over zijn ervaring nadenken om nieuwe kennis te verwerven.



Figuur 22 De cyclus van het ervaren leren (Growth Engineering 2017)

- **Ontdekkend leren**

Ontdekkend Leren is een onderwijsmethode van op onderzoek gebaseerde instructie.

Ontdekkend Leren kent vijf belangrijke principes. Dit zijn 1. probleem oplossen 2. learner management 3. integreren en verbinden 4. informatie analyseren en interpreteren 5. falen en feedback geven (Pappas 2014).

- **Just-in-time onderwijs**

Just-in-time-onderwijs bestaat uit een leerproces in twee fasen, dat wordt gebruikt om onderwijs te verstrekken waar en wanneer dat van cruciaal belang is. De eerste stap van JITO bestaat erin dat de leerlingen specifieke activiteiten of taken buiten het onderwijs uitvoeren. De onderwijzer valideert vervolgens deze activiteiten om vast te stellen op welke gebieden de leerlingen zich moeten verbeteren. De daaropvolgende les zal dan aan deze gebieden worden aangepast om te garanderen dat de leerlingen de essentiële kennis verwerven. (University of Illinois Board of Trustees, et al 2020).

- **Spelgebaseerd leren**

Spelgebaseerd leren is een onderwijsmethode waarbij gebruik wordt gemaakt van spelletjes en games. De methode kan op verschillende onderwijsniveaus worden gebruikt, van kleuteronderwijs tot een leven lang leren. Spelgebaseerd leren is toepasbaar in verschillende onderwijsdoeleinden, zoals eenvoudig uit het hoofd leren of meer gecompliceerde leerresultaten. Zowel niet-digitale als digitale spellen kunnen worden gebruikt bij het opleiden met spelgebaseerd leren (Whitton 2012).

Hoewel de sterkte van het bewijs voor verschillende methoden varieert, blijken inductieve methoden consequent ten minste gelijkwaardig aan, en in het algemeen effectiever te zijn dan, traditionele deductieve methoden voor het bereiken van een breed scala van leerresultaten (Prince en Felder 2006).

Met betrekking tot de methodologieën die in de AM-LABs moeten worden gebruikt, is het van belang een bredere systemische aanpak te overwegen, waarbij de gehele leeromgeving in aanmerking wordt genomen. Het is de moeite waard de suggestie uit het verslag Leerplanrichtsnoeren voor AM (PwC 2020) mee te nemen.



Leeromgeving omvat soorten omgeving die tijdens het onderwijs- of opleidingsprogramma worden gecreëerd.

De leeromgeving heeft zowel betrekking op de kwaliteiten van de ruimte (zowel fysiek als virtueel) waarin de leeractiviteiten plaatsvinden als op andere immateriële aspecten die de sociale en emotionele dimensies van het leren ondersteunen en versterken.

De leeromgeving kan op talloze verschillende manieren worden georganiseerd, en moet voortvloeien uit de strategie en de specifieke doelstellingen/gewenste leerresultaten.

Voorbeelden van doelstellingen zijn het stimuleren van multidisciplinaire oriëntatie, design thinking, creativiteit, teamgeest, collectieve probleemoplossing, risicogedrag, experimentele benaderingen enz. Hiervoor kunnen verschillende vormen van realiteit nodig zijn (d.w.z. fysiek, virtueel of gemengd (augmented)). Er kunnen meerdere soorten methodologieën worden gebruikt en gecombineerd om de gestelde doelen te bereiken, zoals probleemgestuurd (of probleemgebaseerd) leren, projectgebaseerd leren, ervaringsgebaseerd (of ervaringsgericht) leren, samenwerkend leren, door technologie ondersteund leren, enz. De doelstellingen en methodologieën bepalen ook de meest geschikte manieren om een fysieke leeromgeving te organiseren, bijvoorbeeld in de vorm van een leer- of onderwijsfabriek, een ontwerpfabriek, een leerlab, een proeftuin, een innovatiehub, een makerspace, enz.

4.5 Hoe Industry 4.0 te onderwijzen

Elke school en elk programma moet onderzoeken hoe Industry 4.0 in de toekomstige werkomgeving van de afgestudeerden zal worden gebruikt en aantonen dat het onderwijsniveau relevant is voor de studenten om aan de eisen van de industrie te voldoen.

Volgens Matthew D. Kirchner moeten studenten kennis en ervaring opdoen binnen de volgende zes bouwstenen (Kirchner 2017).

Bouwsteen 1:

Industry 4.0 is een instrument dat bedrijven kunnen gebruiken om hun concurrentievermogen te vergroten.

Om dit instrument te kunnen gebruiken en aan de eisen van Industry 4.0 te kunnen voldoen, moeten studenten een fundamentele basiskennis hebben van de disciplines die ten grondslag liggen aan industrieel succes.

Deze disciplines omvatten:

- Een waardering voor veiligheid op de werkplek en veilig werken.
- Inzicht in de basisverwerkingsvergelijking en de basisbehoefte van de industrie om efficiëntie en productiviteit te maximaliseren.
- Inzicht in de Zeven Dodelijke Verliezen en hoe deze zich in de industrie en industrie-gerelateerde processen voordoen.
- Bekendheid met industriële gestandaardiseerde kwaliteitssystemen.
- Het vermogen om problemen met industriële processen en apparatuur op te lossen.
- Zachte industriële vaardigheden, waaronder samenwerken, problemen oplossen, discipline en tijdbeheer.

Bouwsteen 2:

Bouwsteen 2 gaat over de kennis van productie- en fabricageapparatuur die essentieel is voor Industry 4.0. Dit betreft bijvoorbeeld industriële robotica, manueel en robotisch lassen, extruderen en vormen.

Bouwsteen 3:

Slimme sensoren en slimme apparaten vormen de hoeksteen van Industry 4.0. Deze technologie verzamelt immense hoeveelheden informatie over haar omgeving, waarbij ingebedde intelligentie wordt gebruikt om geprogrammeerde functies uit te voeren. Dit wordt gedaan voordat de informatie via computernetwerken en het internet wordt gedeeld met andere systemen en apparaten.



Paul Perkins, voorzitter van de State of Indiana Workforce Innovation Council en lid van de National Governors Association of State Workforce Board Chairs, zei dat "de kennis die studenten opdoen verder moet gaan dan een eenvoudig begrip van slimme sensoren en soorten apparaten". (Kirchner2017).

Bouwsteen 4:

De eigenlijke productiewerkzaamheden van het bewerken, vormen, gieten en extruderen van materialen tot producten worden uitgevoerd door industriële apparatuur en technologie. Het proces wordt bewaakt door slimme sensoren en apparaten die feedback geven. Deze systemen dienen om het gehele fabricageproces in real time te beheersen.

Willen studenten klaar zijn voor Industry 4.0, dan moeten zij inzicht hebben in deze opeenvolgende systemen:

- Bediening en programmering van Programmeerbare Logische Controller (PLC)
- Bediening en programmering van veiligheids-PLC's
- Bediener- en mens/machine-interfaces
- Gedistribueerd I/O
- Elektronische aandrijvingen en frequentieregelaars
- Bewegingscontrole en regeltechniek
- Vermogens- & Besturingselektronica

Bouwsteen 5:

Industry 4.0 heeft tot gevolg dat de industriële apparatuur meer met het internet verbonden wordt. Mensen die zowel Operationele Technologie (OT) als Informatietechnologie (IT) kunnen beheren, hebben grote kansen voor de toekomst. Studenten moeten een beter inzicht krijgen in netwerken die gegevens van slimme apparaten overbrengen. Om studenten een beter inzicht te geven in deze netwerken moeten zij meerdere technologieën leren, zoals netwerkserver, gedistribueerde servers, routers, switches, gateway-apparaten, Ethernet, Foundation Fieldbus, Profibus, Draadloze communicatie, verbindingstechnologieën en Multi-User toepassingen.

Bouwsteen 6:

In de afgelopen twee jaar zijn er meer gegevens gecreëerd dan in de voorgaande 5000 jaar van het menselijk bestaan. (Harris, 2016). Een uitdaging voor veel bedrijven in Industrie 3.0 was het ontbreken van gegevens. In Industry 4.0 ligt de uitdaging veeleer in het beheer van de hoeveelheid beschikbare gegevens. Mensen die de kennis bezitten om gegevens te analyseren en op basis daarvan maatregelen voor te stellen, zullen nodig zijn voor de vierde industriële revolutie(Kirchner2017).

Deze zes bouwstenen worden in de zeven dimensies van het onderwijs toegepast om het ideale leerproces tot stand te brengen. De zeven dimensies van leren worden dienovereenkomstig gepresenteerd:



Figuur 23 gebaseerd op *Live Lecture*(Kirchner2017)

Live Lecture, LL, is de eerste van de zeven dimensies voor onderwijs. LL is waarschijnlijk de meest gebruikelijke methode voor onderwijs en verwijst naar een docent die live, in persoon of online les geeft aan een groep mensen. Een klassikaal college, bijvoorbeeld.



Figuur 24 gebaseerd op *eLearning* (Kirchner2017)

De tweede dimensie is eLearning, ook wel online leren of elektronisch leren genoemd, en verwijst naar systemen van formatief leren met behulp van elektronische hulpmiddelen. eLearning is in de meeste gevallen toegankelijk via het internet, en biedt daarom leermateriaal dat bijna overal en altijd toegankelijk



is.

3
ID

Instructor Demonstration, 1:many

Figuur 25 gebaseerd op *Instructor Demonstration* (Kirchner2017)

De derde dimensie is Instructor Demonstration. De term verwijst naar de onderwijsmethode waarbij een instructeur een bepaald onderwerp of een bepaalde taak demonstreert aan een groep lerenden, persoonlijk of online. Het aantal lerenden in deze methode is "veel", dus van twee tot een oneindig aantal lerenden.

4
VS

Virtual Skill Development

Figuur 26 gebaseerd op *Virtual Skill Development* (Kirchner2017)

De vierde dimensie is Virtual Skill Development en verwijst naar fysieke trainingselementen die virtueel, via software, worden uitgevoerd. Het wordt vaak gebruikt via computerspelletjes of visualisatie zoals Virtual Reality. Een voorbeeld van een gebied voor Virtual Skill Development zou dat voor monteurs kunnen zijn. Ze kunnen via VR leren een product in elkaar te zetten voordat ze de werktak op een echte werkplek uitvoeren. Leerlingen kunnen een basis van ervaring ontwikkelen om op een echte werkplek te gebruiken en de kosten te verlagen aangezien de leerling niet met echte producten hoeft te trainen.

5
IIS

Instructor Interactive skills, 1:1

Figuur 27 gebaseerd op *Instructor Interactive skills* (Kirchner2017)

De vijfde dimensie is Instructor Interactive skills, IIS. IIS wordt uitgevoerd wanneer een instructeur de leerlingen individueel onderwijst. Dit is voor leerlingen vaak een doeltreffende manier om te leren, omdat de specifieke leerling in het middelpunt staat en de kans krijgt om vooruitgang te boeken zonder afleiding van andere leerlingen. De instructeur kan de onderwijsinhoud ook aanpassen aan de behoeften van de specifieke lerende, wat vaak leidt tot effectiever leren.

6
HO

Hands-on skill development

Figuur 28 gebaseerd op *Hands-on skill development* (Kirchner2017)

HO, of de ontwikkeling van vaardigheden in de praktijk, is de zesde dimensie en een van de belangrijkste voor het aanleren van AM-methoden. HO is praktisch onderwijs, een methode waarmee de leerling kan leren door fysiek met verschillende machines of apparatuur te werken.

7
PR

Portable Rotational at-Home Skills

Figuur 29 gebaseerd op *Portable Rotational at-Home Skills* (Kirchner2017)

De laatste dimensie is Portable Rotational at-Home Skills, en is uitstekend geschikt voor afstandsonderwijs. Opleidingsmateriaal wordt naar de lerenden gezonden zodat zij specifieke taken kunnen uitvoeren. Na studies wordt het materiaal teruggestuurd naar de onderwijsorganisatie. Daarna worden nieuwe materialen en taken naar de leerling gezonden.

Hoe les te geven in Industry 4.0 in 2020 (LAB Midwest 2020)



4.6 Rollen en verantwoordelijkheden

Voor geschikte docenten is een rol weggelegd met betrekking tot onderwijs in Industry 4.0. Deze docenten hebben bepaalde verantwoordelijkheden die van essentieel belang zijn als zij toekomstige werknemers willen opleiden die voor innovatie zorgen.

De eerste en meest essentiële verantwoordelijkheid is het beschikken over deskundige kennis op het vakgebied, in dit verband Industry 4.0. Ook docenten moeten een leven lang leren om op de hoogte te blijven van technische en onderwijskundige aspecten.

Docenten moeten daartoe geschikte cursussen en lezingen volgen. Het is relevant om de zes bouwstenen en zeven dimensies, alsmede verschillende onderwijsmethodologieën, zoals PBL, te gebruiken met betrekking tot I4.0-onderwijs.

Samenwerking is een van de belangrijkste competenties met betrekking tot I4.0, het is daarom belangrijk dat de docent in staat is samen te werken met andere docenten, personeel en lerenden. Van de docent wordt ook verwacht dat hij zich goed gedraagt tegenover zijn collega's en de leerlingen. Gedragingen zoals eerlijkheid, rechtvaardigheid, ethisch gedrag, een zorgzame houding en een correct taalgebruik, bijvoorbeeld (QEC n.d).

Er zijn niet alleen verantwoordelijkheden voor de docent, maar ook voor de leerling. De eerste verantwoordelijkheden voor lerenden lijken misschien voor de hand te liggen, maar ze zijn van cruciaal belang. De leerlingen moeten er altijd naar streven hun best te doen:

Het is van essentieel belang dat zij regelmatig op tijd in de les aanwezig zijn en voorbereid zijn op het college wat betreft zowel materialen als uitgevoerde taken. De leerling toont op deze manier respect voor zowel de docent als het onderwerp. De leerlingen moeten alle opdrachten uitvoeren en goed opletten in de klas. Zij moeten alle docenten, personeel en klasgenoten respecteren en zorg dragen voor de school en de materialen (Burnaby scholen 2020).

Er zijn ook verantwoordelijkheden voor besluitvormers zoals directeuren en bestuursleden.

Directeuren, bestuursleden en mensen die verantwoordelijk zijn voor onderwijs en curricula moeten de eisen van ondernemingen en toekomstige werkplekken voor afgestudeerden evalueren en op die manier het onderwijs aan de eisen aanpassen.

4.7 Definitie van nieuwe EXAM 4.0-LABs

Het EXAM 4.0-kader voor AM 4.0-LABs moet I4.0-competentiegericht zijn en geschikt zijn om te worden toegepast in MBO/HBO-centra.

De specifieke kenmerken van het uiteindelijke toekomstige AM LAB 4.0 zijn moeilijk te omschrijven. Er zijn talrijke aspecten waarmee rekening moet worden gehouden bij het creëren van zowel een kader voor toekomstige LABs als het daadwerkelijk creëren van een nieuw LAB. Deze aspecten kunnen bijvoorbeeld betrekking hebben op de beschikbare vloeroppervlakte, het budget voor de uitvoering, het EKK-niveau, het onderwijsprogramma en de lerenden die in het LAB zullen werken. Vanwege deze factoren is het moeilijk precies te bepalen hoe een uiteindelijk AM-LAB moet worden gevormd; het kader voor toekomstige AM-



LABs 4.0 dat binnen EXAM wordt gecreëerd, zal daarom een basis vormen voor toekomstige AM-LABs. Het kader is gebaseerd op het onderzoek dat tijdens WP4 is uitgevoerd en op de beschrijvingen van bestaande LABs. Dit verslag en dit kader kunnen worden gebruikt als basis voor het opzetten van nieuwe LABs.

In het onderwijs wordt vaak gebruikgemaakt van verouderde software en apparatuur, hetgeen vaak een gevolg is van een laag budget. Studenten krijgen niet de expertise die nodig is om met geavanceerde productiegerelateerde opdrachten bij bedrijven te werken als ze weinig of niet in contact zijn geweest met Industry 4.0-gerelateerde technologieën. FESTO wijst erop dat de scholen de ontwikkelingssnelheid van de bedrijven niet kunnen bijhouden, zodat afgestudeerden niet over de juiste deskundigheid zullen beschikken wanneer zij naar een baan solliciteren. Het is daarom noodzakelijk voor scholen om samen te werken met bedrijven of I4.0-organisaties (FESTO n.d). (n.d). Het eerste deel van het kader voor de toekomstige AM-LABs 4.0 heeft betrekking op de financiering. In de tabellen voor de beschrijving van bestaande LABs is te zien dat alle EXAM 4.0-partners verschillende financieringsmethoden voor hun instellingen, en dus hun LABs, hebben, zoals interne fondsen, overheidsfondsen en bedrijfsfondsen. Het is goed om verschillende bronnen van financiering te hebben, bijvoorbeeld voor afzonderlijke evenementen of projecten met verschillende duur.

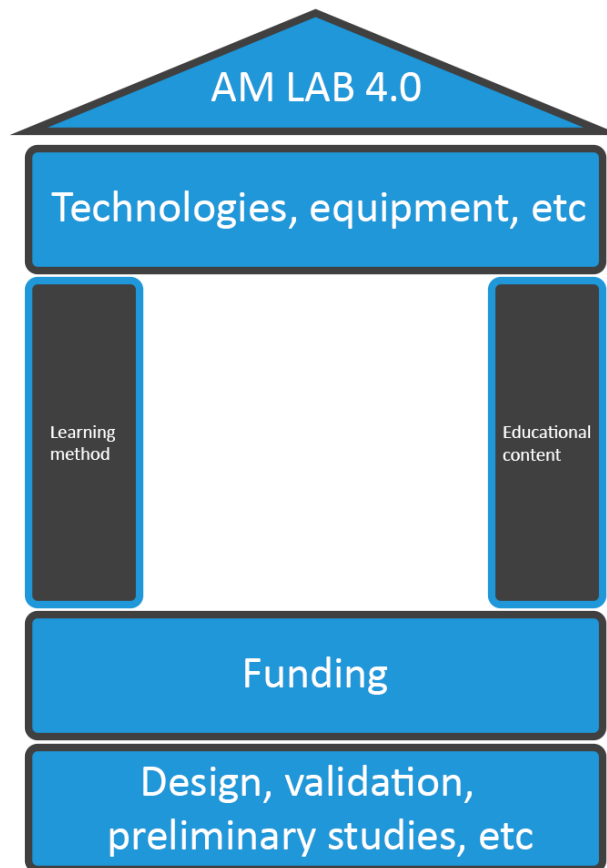
Zoals eerder gezegd, leidt Industry 4.0 ertoe dat industriële apparatuur meer met het internet verbonden wordt. Mensen die zowel operationele technologie (OT) als informatietechnologie (IT) kunnen beheren, zijn grote troeven voor de toekomst. Studenten moeten een beter inzicht krijgen in netwerken die gegevens van slimme apparaten overbrengen. Het is daarom van vitaal belang dat een LAB in hoge mate IT-integratie omvat, zoals CAD, CAM en PLM. Het is ook belangrijk dat in het LAB slimme apparaten worden gebruikt, zoals sensoren, actuatoren, M2M en CPS. Om klaar te zijn om in de AM-sector te werken, moeten de lerenden vertrouwd zijn met alle relevante technologieën en moeten zij binnen een aantal daarvan deskundig zijn. Het LAB moet daarom, op basis van de eisen voor de onderwijsprogramma's in het LAB, technologieën aanbieden zoals robotica, 3D-printers, VR/AR en CNC-machines.

De leerstrategie, de onderwijsmethode en de onderwijsinhoud die in LABs worden onderwezen, zijn allemaal belangrijke aspecten met betrekking tot de leerresultaten van de studenten. Informatie over leermethoden en competenties die van vitaal belang zijn voor een Industry 4.0 LAB is opgenomen in het D4.3 rapport / onderdeel van WP4.

Er zijn ook veel aspecten van een nieuw LAB die in aanmerking moeten worden genomen en moeten worden gevalideerd voordat het LAB wordt opgezet. Deze aspecten kunnen zijn:

- Aantal leerlingen dat in het LAB zal werken
- Levenscyclus LAB
- Doelsectoren
- Hoofd- en secundair doel van het LAB
- Levenscyclus van technologie
- Productiemethoden

Er is geen duidelijke invulling van de diverse aspecten. Het is echter voor elke organisatie van vitaal belang deze aspecten te valideren en op basis van onderzoek maatregelen te nemen om het best mogelijke resultaat voor het betrokken LAB te bereiken.



Figuur 30 *Prototype van een AM-LAB (EXAM 4.0)*

Om tot de volgende stap over te kunnen gaan, is het van essentieel belang dat in voorbereidende studies rekening wordt gehouden met de bovengenoemde aspecten, zoals de levenscyclus van het LAB, de beoogde sectoren, enz. Het is een onvermijdelijke vereiste de grondslag van het LAB te kennen om financieringsmethoden te kunnen onderzoeken.

In de volgende stap, de financiering, is het van belang alle aspecten van de financiering te valideren. Bijv. fondsen voor de oprichting van het LAB, fondsen voor het onderhoud van het LAB en hoe het LAB zou kunnen worden gebruikt om meer inkomsten te genereren, ook al wordt het LAB in de eerste plaats voor onderwijs gebruikt. Het EXAM 4.0 MBO/HBO-centrummodel voor AM LABs kan worden gebruikt bij het ontwerpen van het nieuwe laboratorium en het valideren van de financiering. In plaats van het model te gebruiken als een beschrijving van een bestaand LAB zou het kunnen worden gebruikt en beantwoord als een referentie voor het uiteindelijke LAB.

De derde stap is de meest essentiële bij het creëren van een nieuw AM-LAB: Welke onderwijsprogramma's gebruikmaken van het LAB en de EKK-niveaus daarvan. Het is van belang te weten welke onderwijsinhoud in de programma's zal worden opgenomen en welke leermethoden zullen worden gebruikt.

De onderwijsprogramma's in het LAB hebben gevolgen voor de technologieën en apparatuur die voor het LAB in kwestie van belang zijn. Informatie over Industry 4.0-technologieën die relevant zijn voor AM LABs zijn eerder opgenomen in WP4.

Toekomstig EXAM 4.0-LAB

De beschrijvingen van bestaande LABs, dus de LABs van de consortiumpartners, zijn geëvalueerd en het EXAM 4.0 MBO/HBO-centrummodel voor AM-LABs is gebruikt om het uiteindelijke LAB dienovereenkomstig te beschrijven:

1.1	operator	academische instelling			niet-academische instelling					winstgerichte operator	
		universiteit	college	BA	beroepsschool / middelbare school	kamer	vakbond	werkgeversvereniging	industriel netwerk	raadpleging	producerend bedrijf
1.2	opleider	professor	onderzoeker	student-assistent		technisch deskundige /int. Specialist			consultant	pedagoog	
1.3	ontwikkeling	eigen ontwikkeling			externe steun voor ontwikkeling				externe ontwikkeling		
1.4	initiële financiering	interne middelen			overheidsmiddelen				bedrijfsmiddelen		
1.5	lopende financiering	interne middelen			overheidsmiddelen				bedrijfsmiddelen		
1.6	financieringscontinuïteit	financiering op korte termijn (bv. eenmalige evenementen)			financiering op de middellange termijn (projecten en programma's < 3 jaar)				financiering op lange termijn (projecten en programma's > 3 jaar)		
1.7	bedrijfsmodel voor opleidingen	open modellen			gesloten modellen (opleidingstraject voor slechts één bedrijf)						
		clubmodel	cursusgeld								

2.1	hoofddoel	onderwijs			beroepsopleiding						onderzoek					
2.2	secundair doel	testomgeving / proefomgeving			industriële productie			innovatieoverdracht			reclame voor productie					
2.3	doelgroepen voor onderwijs & opleiding	leerlingen	studenten			werknemers						ondernemers	freelancer	werklozen	open publiek	
			bachelor	master	promovendi	leerlingen	geschoolde werknemers	halfgeschoolde arbeiders	ongeschoold	managers						
										lager mgmt	midde n mgmt					top mgmt
2.4	groepsindeling	homogeen			heterogeen (kennisniveau, hiërarchie, studenten werknemers, enz.)											
2.5	doelsectoren	werktuigbouwkunde & machinebouw			automotive		logistiek		vervoer		FMCG		ruimtevaart			
		chemische industrie			elektronica		bouw		verzekering / bankwezen		textielindustrie		...			
2.6	vakgerelateerde leerinhouden	prod.-Beheer & organisatie	hulpbronnen efficiëntie		lean mgmt		automatisering		CPPS	ontwerp van werksystemen		HMI	ontwerp	Intralogistiek ontwerp & mgmt		...



2.7	rol van het LAB voor onderzoek	onderzoeksobject			factor die onderzoek mogelijk maakt					
2.8	onderzoeksonderwerpen	productiebeheer & organisatie	hulpbronnefficiëntie	lean mgmt	automatisering	CPPS	veranderlijkheid	HMI	didactiek	...

3.1	productlevenscyclus	productplanning	productontwikkeling	productontwerp	snelle prototyping	productie	montage	Logistiek	service	recycling	
3.2	Levenscycluss LAB	investeringsplanning	fabrieksconcept	procesplanning	opvoeren				onderhoud	recycling	
3.3	levenscyclusopdracht	configuratie & opdracht	opdrachtvolg orde bepalen	productieplanning en -inroostering					picken, verpakken	verzenden	
3.4	levenscyclus van technologie	planning	ontwikkeling	virtueel testen					onderhoud	modernisering	
3.5	indirecte functies	SCM	verkoop	inkoop		HR	financiën / controlling		KM		
3.6	materiaalstroom	continue productie				discrete productie					
3.7	procestype	massaproductie		serieproductie		productie in kleine series			eenmalige productie		
3.8	productie-organisatie	productie op vaste locaties		werkbankprod.		werkplaatsprod.			continue productie		
3.9	mate van automatisering	handmatig		gedeeltelijk geautomatiseerd / hybride automatisering				volautomatisch			
3.10	prod.-methoden	frezes	trad. primaire vormgeving		Additive Manufact.	trekken	lassen	coating	materiaaleigenschappen veranderen		
3.11	prod.-technologieën	fysiek			chemisch			biologisch			

4.1	leeromgeving	zuiver fysiek (planning + uitvoering)	fysiek ondersteund door digitale fabriek (zie regel "IT-Integratie")		Fysiek, uitgebreid virtueel	zuiver virtueel (planning + uitvoering)
4.2	werkschaal	verkleind			op ware grootte	
4.3	werksysteemniveaus	werkplek	werksysteem		fabriek	netwerk
4.4	voorwaarden voor veranderlijkheid	mobiliteit	modulariteit	compatibiliteit	schaalbaarheid	universaliteit
4.5	dimensies van veranderlijkheid	lay-out & logistiek	productkenmerken	productontwerp	technologie	producthoeveelheden
4.6	IT-integratie	IT vóór SOP (CAD, CAM, simulatie)		IT na SOP (PPS, ERP, MES)	IT na productie (CRM, PLM...)	



5.1	materialiteit	materiaal (fysiek product)				immaterieel (dienst)	
5.2	vorm van product	algemene vracht			bulkgoederen		stortgoederen
5.3	producteursprong	eigen ontwikkeling		ontwikkeling door deelnemers		externe ontwikkeling	
5.4	verhandelbaarheid van het product	beschikbaar op de markt		beschikbaar op de markt, maar didactisch vereenvoudigd		niet beschikbaar op de markt	
5.5	functionaliteit van product	functioneel product		didactisch aangepast product met beperkte functionaliteit		zonder functie / toepassing, alleen voor demonstratie	
5.6	aantal verschillende producten	1 product	2 producten	3-4 producten	> 4 producten	flexibel, ontwikkeld door de deelnemers	aanvaarding van echte opdrachten
5.7	aantal versies	1 versie	2-4 versies	4-20 versies	...	flexibel, afhankelijk van de deelnemers	bepaald door echte opdrachten
5.8	aantal onderdelen	1 onderdeel	2-5 onderd.	6-20 onderd.		21-50 onderd.	51-100 onderd. > 100 onderd.
5.9	verder gebruik van het product	hergebruik / recycling		tentoonstellen / uitstellen		give-away	verkoop verwijdering

6.1	competenties	technische en methodologische competenties		sociale & communicatiecompetenties		persoonlijke competenties	activiteits- en uitvoeringsgerichte competenties
6.2	afmetingen leerdoelen	cognitief		affectief		psycho-motorisch	
6.3	strategie leerscenario	instructie		demonstratie		gesloten scenario	open scenario
6.4	soort leeromgeving	greenfield (ontwikkeling van fabrieksomgeving)			brownfield (verbetering van de bestaande fabrieksomgeving)		
6.5	communicatiekanaal	leren op het terrein (in de fabrieksomgeving)			verbinding op afstand (met de fabrieksomgeving)		
6.6	mate van autonomie	geïnstueerd		zelfsturend / zelfregulerend		zelfbepaald/ zelfgeorganiseerd	
6.7	rol van de opleider	presentator	moderator	coach		instructeur	
6.8	soort opleiding	werkcollege	praktische laboratoriumcursus	seminar		werkplaats	projectwerk
6.9	standaardisering van opleidingen	gestandaardiseerde opleidingen			opleidingen op maat		



6.1 0	theoretische grondslag	randvoorwa arde	vooraf (en bloc)	afgewisseld met praktische onderdelen	op basis van de vraag	achteraf
6.1 1	evaluatie-nivea us	feedback van de deelnemers	leren van deelnemers	overdracht naar de echte fabriek	economische impact van opleidingen	rendement van opleidingen / ROI
6.1 2	evaluatie van leerprestaties	kennistest (schriftelijk)	kennistest (mondeling)	schrift elijk verslag	mondelinge presentatie	praktijkexame n geen

Normen en eisen voor EXAM 4.0-LAB-modellen

Standaardbeschrijving voor Industry 4.0 LABS

Een norm, een certificaat, waaruit blijkt dat aan bepaalde criteria is voldaan, zou nuttig zijn voor LABs. De criteria voor educatieve LABs zouden ervoor kunnen zorgen dat de juiste vaardigheden en bekwaamheden worden onderwezen en geleerd. Op die manier kan in het I4.0-LAB overal in Europa dezelfde vaardigheden en competenties worden aangeleerd en onderwezen, ook al betreft het verschillende LABs. Als EXAM 4.0 LAB-certificaten zouden worden gebruikt, zouden we ervoor kunnen zorgen dat een student in Zweden vergelijkbare vaardigheden en competenties heeft geleerd en dezelfde standaardonderwijsinhoud heeft gehad als een student in bijvoorbeeld Duitsland. Een standaardcertificaat voor onderwijs zou bedrijven helpen te zien welke vaardigheden en bekwaamheden een student heeft verworven, waar in Europa hij of zij ook is afgestudeerd. Door nieuwe criteria te definiëren die relevant zijn voor Industry 4.0 zou het niveau van het onderwijs in heel Europa stijgen, waardoor het Europese concurrentievermogen in de nationale industriële sector successievelijk zou toenemen.

Een voorbeeld waaruit blijkt hoe deze criteria kunnen worden toegepast:



EXAM 4.0 Education environment

The EXAM 4.0 LABS, learning space, fulfils following criteria:

☐ Criterion 1

Descriptions of skills the students must obtain in each lab, learning space, AM Workshop 4.0.

Skills:

- ☐ Skill #1 (why?)
- ☐ Skill #2 (why?)
- ☐ Skill #3 (why?)

☐ Criterion 2

Descriptions of competencies the students must obtain in each lab, learning space, AM Workshop 4.0.

Competencies:

- ☐ Competencies #1 (why?)
- ☐ Competencies #2 (why?)
- ☐ Competencies #3 (why?)

☐ Criterion 3

Figuur 31 *Eisen voor LABS*(EXAM 4.0)



- Referenties

Abele, Eberhard; Chrysosolouris, George; ElMaraghy, Hoda; Hummel, Vera; Metternich, Joachim; Ranz, Fabian; Sihn, Wilfried en Tisch, Michael. (2015a). *Learning Factories for Research, Education, and Training. 5e conferentie over Leerfabrieken*. Elsevier B.V., pp. 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.187> (verzameld 2020-09-10).

Abele, Eberhard; Hummel, Vera; Metternich, Joachim; Ranz, Fabian en Tisch, Michael. (2015b). *Learning Factory Morphology – Study Of Form And Structure Of An Innovative Learning Approach In The Manufacturing Domain*. Turkish Online Journal of Educational Technology. https://www.researchgate.net/publicatie/281344323_Learning_Factory_Morphology_-_Study_Of_Form_And_Structure_Of_An_Innovative_Learning_Approach_In_The_Manufacturing_Domain (verzameld 2020-09-07).

Abele, Eberhard; Metternich, Joachim; en Tisch, Michael. (2019). *Learning Factories Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92261-4> (verzameld 2020-08-28).

Alves, A.C; Pereira, A.C en Lopes Nunes, M. (2017). *Smart products development approaches for Industry 4.0*. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.035> (gathered 2020-10-17).

AM FIELD GUIDE COMPACT. (2020). *Formnext magazine fon extra*. (verzameld 2020-10-05).

Aventis Learning Group. (2019). *Skills You Must Have To Stay Relevant In Industry 4.0*. <https://aventislearning.com/skills-you-must-have-to-stay-relevant-in-industry-4-0/> (gathered 2020-09-14).

Barro, R.J. (1996). *Determinants of economic growth: A cross-country empirical study*. NBER-werkdocumenten : Vol. 5698. Cambridge, MA: Nationaal Bureau voor Economisch Onderzoek.

Bilberg, A; Bogers, M; Madsen, E.S. en Radziwon, A. (2014). *Procedia Eng.*, 69 1184-1190 (verzameld 2020-10-17).

Buchner, Tilman; Knizek, Claudio; Kuhlmann, Kristian; Küpper, Daniel; Lorenz, Markus; Lässig, Ralph en Maue, Andreas. (2019). *Advanced Robotics in the Factory of the Future*. BCG Innovatiecentrum, Duitsland. <https://www.bcg.com/publications/2019/advanced-robotics-factory-future> (verzameld 2020-10-17).

Buck Institute for Education. (n.d). *What is PBL?*. <https://www.pblworks.org/wat-is-pbl> (verzameld 2020-09-28).

Burnaby schools. (2020). *RESPONSIBILITIES OF STUDENT*. <https://burnabyschools.ca/responsibilities-of-students/>. (verzameld 2020-10-15).

CECIMO. (2013) *Manifest van de Europese gereedschapsmachine-industrie over vaardigheden*.

CEDEFOP. (2010). *Skills supply and demand in Europe: Medium-term forecast up to 2020*. Luxemburg: Bureau voor publicaties van de Europese Unie.

Cherry, Kendra. (2020). *The Experiential Learning Theory of David Kolb*. <https://www.verywellmind.com/experiential-learning-2795154> (verzameld 2020-09-29).

Duch, B. J., Groh, S. E en Allen, D. E. (red.). (2001). *The power of problem-based learning*. Sterling

(n.d). *What is Industry 4.0—the Industrial Internet of Things (IIoT)?* <https://www.epicor.com/en/resource-center/articles/what-is-industry-4-0/>. (verzameld 2020-10-15).

Eurostat. (2016). *Industriestatistiek - NACE Rev. 2: Relatief belang van de be- en verwerkende industrie (NACE-sectie C), 2013 (% aandeel van de toegevoegde waarde en de werkgelegenheid in de totale niet-financiële zakelijke economie)*. Opgehaald van http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Manufacturing_statistics_-_NACE_Rev._2.

(n.d). *Industry 4.0 User's Guide: Educator Edition*. <https://www.festo-didactic.com/us-en/news/industry-4.0-user-s-guide-educator-edition.htm?fbid=dXMuZW4uNTc5LjE3LjE2LjU4MjA> (gathered 2020-09-08).



Fitsilis, Panos; Gerogiannis, Vassilis en Tsoutsas, Paraskevi. (2018). INDUSTRY 4.0: REQUIRED PERSONNEL COMPETENCES. *INDUSTRY 4.0*. Vol. 3, Issue 3. Bulgaria: Scientific technical union of mechanical engineering, pp. 130-133. <https://stumejournals.com/journals/i4/2018/3/130> (verzameld 2020-08-26).

Gewerbliche Schule Crailsheim. (n.d). *WAS IST EINE LERNFABRIK 4.0*. <https://www.gscr.de/index.php?id=203> (verzameld 2020-09-09).

Growth Engineering. (2017). *WHAT IS THE EXPERIENTIAL LEARNING CYCLE?* <https://www.growthengineering.co.uk/what-is-experiential-learning/> (verzameld 2020-09-29).

Grzybowska, Katarzyna, en Łupicka, Anna. (2017). Key competencies for Industry 4.0. *Economics & Management Innovations* 1(1): pp. 250-253. https://www.researchgate.net/publication/322981337_Key_competencies_for_Industry_40 (verzameld 2020-08-27).

Gylfason, Thorvaldur. (2001). Natural resources, education, and economic development. *European Economic Review* 45, 847-859.

Hanushek, E. A., en Woessmann, L. (2007). *The role of education quality in economic growth. Policy research working paper: Vol. 4122*. Washington, DC: World Bank Human Development Network Education Team.

Helbig, J; Kagermann, H en Wahlster, W. (2013). *Securing the Future of German Manufacturing Industry: Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRY 4.0*, München, 2013 (verzameld 2020-10-17).

Heron, Chris. (2019). *What is a Transversal Competency?* Vivagogy. <http://vivagogy.com/2019/03/04/transversal-competencies-2/> (verzameld 2020-10-17).

Härting, R.-C; Jozinović, P; Möhring, M; Neumaier, P; Reichstein, C en Schmidt, R. (2015). Internationale conferentie over bedrijfsinformatiesystemen. 16–27. (verzameld 2020-10-17).

Impuls Foundation (2019) "Impuls compact: Engineers for Industry 4.0", VDMA (The Mechanical Engineering Industry Association).

i-SCOOP. (n.d). *Logistics 4.0 and smart supply chain management in Industry 4.0*. <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/supply-chain-management-scm-logistics/> (verzameld 2020-10-15).

Karukapadath Haffees, Rasim en Parekattil, Aswin Kumar. (2019). *A literature review on learning factory*. Diss, Chalmers University of Technology. <https://hdl.handle.net/20.500.12380/256553> (verzameld 2020-09-09).

Kienegger, Harald; Knigge, Marlene; Krcmar, Helmut en Prifti, Loina. (2017). *A Competency Model for "Industry 4.0" Employees: 13th International Conference on Wirtschaftsinformatik*. St. Gallen, Zwitserland 12-15 februari 2017. https://www.researchgate.net/publication/314391765_A_Competency_Model_for_Industrie_40_Employees (verzameld 2020-09-14).

Knezic, Kruno. (2017). *Creativity is the key to design for additive manufacturing*. LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/creativity-key-design-additive-manufacturing-kruno-knezic/> (verzameld 2020-09-02).

Kolb, D. A. (1984). *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. New Jersey: Prentice-Hall.

Koo, Jenna. (2020). *What is a Smart Factory? (And what it means for you)*. Tulip. <https://tulip.co/blog/digital-transformation/what-is-a-smart-factory-and-what-it-means-for-you/> (verzameld 2020-10-08).

Kirchner, Matthew D. (2017). *Teaching the Industrial Internet of Things*. Mequon. <https://labmidwest.com/wp-content/uploads/2017/09/Teaching-IIoT-Preparing-Students-and-Learners-for-Industry-4.0-2.pdf> (verzameld 2020-10-15).

Kreimeier, Dieter. (2016). *Die LPS Lernfabrik Qualifizierung in einem realitätsnahen Fabrikumfeld*. Ruhr-Universität Bochum. [PowerPoint-dia's]. https://www.uni-siegen.de/smi/aktuelles/20161115_lps_lernfabrik_praesentation_kreimeier.pdf (verzameld 2020-09-10).



- K3 Syspro. (n.d). *What's the Difference Between 3D Printing and Additive Manufacturing?* <https://www.k3syspro.com/advice-centre/erp-advice/whats-the-difference-between-3d-printing-and-additive-manufacturing/>. (verzameld 2020-10-1).
- LAB Midwest. (2020). *How to Teach Industry 4.0 in 2020*. <https://www.youtube.com/watch?v=OhbDfAZ6JUc> (verzameld 2020-10-16).
- Lead The Change Community. (2019). *KEY COMPETENCIES FOR INDUSTRY 4.0 — NEGOTIATION AND CREATIVITY*. Medium. <https://medium.com/@LeadTheChange/key-competencies-for-industry-4-0-negotiation-and-creativity-2f7685f8d49f> (verzameld 2020-09-14).
- Lee, Hee Jang en Shvetsova A. Olga. (2019). *The Impact of VR Application on Student's Competency Development: A Comparative Study of Regular and VR Engineering Classes with Similar Competency Scopes*. https://www.researchgate.net/publication/332386448_The_Impact_of_VR_Application_on_Student's_Competency_Development_A_Comparative_Study_of_Regular_and_VR_Engineering_Classes_with_Similar_Competency_Scopes. (verzameld 2020-09-02).
- Leinweber S. Etappe 3: Kompetenzmanagement. In: Meifert MT, red. *Strategische Personalentwicklung - Ein Programm in acht Etappen*. 3e ed. Wiesbaden: Springer Fachmedien; 2013
- Linke, Rebecca. (2017). *Additive manufacturing, explained*. MIT management. <https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/additive-manufacturing-explained>. (verzameld 2020-10-1).
- Loughborough University. (n.d). *About Additive Manufacturing*. <https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/vatphotopolymerisation/> (verzameld 2020-10-02).
- Marr, Bernard. (2018). *What is Industry 4.0?* Forbes. <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/09/02/what-is-industry-4-0-heres-a-super-easy-explanation-for-anyone/?sh=4acd83579788>. (verzameld 2020-10-15).
- McNeill, Jane. (2019). *SKILLS VS. COMPETENCIES – WHAT'S THE DIFFERENCE, AND WHY SHOULD YOU CARE*. Hays. <https://social.hays.com/2019/10/04/skills-competencies-whats-the-difference/> (verzameld 2020-10-09).
- Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg. (2019). *Lernfabriken 4.0 in Baden-Württemberg*. <https://wm.baden-wuerttemberg.de/de/innovatie/schluessestechnologien/industrie-40/lernfabriken-40/> (verzameld 2020-09-10).
- O'Sullivan, D., Rolstadås, A., en Filos, E. (2011). *Global education in manufacturing strategy*. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 22(5), 663–674. <https://doi.org/10.1007/s10845-009-0326-2>.
- OTTO Motors. (2019). *What Is the Smart Factory and Its Impact on Manufacturing?*. <https://ottomotors.com/blog/what-is-the-smart-factory-manufacturing>. (verzameld 2020-10-15).
- Pappas, Christopher. (2014). *Instructional Design Models and Theories: The Discovery Learning Model*. <https://elearningindustry.com/discovery-learning-model> (verzameld 2020-09-29)
- Prins J. Michael en Felder M Richard. (2006). *Inductive Teaching and Learning Methods: Definitions, Comparisons, and Research Bases*. *Journal of Engineering Education*. American Society for Engineering Education. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2006.tb00884.x> (verzameld 2020-10-17).
- PwC. (2016). *Skills for Key Enabling Technologies in Europe State-of-Play, Supply and Demand, Strategy, Recommendations and Sectoral Pilot*. Directoraat-Generaal Interne markt, industrie, ondernemerschap en MKB (Europese Commissie). https://ec.europa.eu/growth/content/final-report-skills-key-enabling-technologies-europe-0_en (vrezameld 2020-08-26).
- PwC. (2020). *Skills for Industry Curriculum Guidelines 4.0 Future-proof education and training for manufacturing in Europe*. Uitvoerend Agentschap voor het midden- en kleinbedrijf (Europese Commissie). <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/845051d4-4ed8-11ea-aece-01aa75ed71a1> (verzameld 2020-09-05).
- (n.d). *Duties and Responsibilities of a Teacher*. <https://ntu.edu.pk/qec/duties-and-responsibilities-of-a-teacher/> (verzameld 2020-10-15).
- Raji, R.S. (1994). *IEEE Spectr.* 31 (6) 49-55 (verzameld 2020-10-17).



Rotherham A.J. en Willingham D. (2009) "21st Century Skills: The Challenges Ahead".

Serhat, Kurt. (2020). Problem-Based Learning (PBL). Educational technology. <https://educationaltechnology.net/problem-based-learning-pbl/> (verzameld 2020-09-25).

Smith, A. (2001). *Return on investment in training: Research readings*. Leabrook, S. Aust.: NCVER

Spectral Engines. (2018). *Industry 4.0 and how smart sensors make the difference*. <https://www.spectralengines.com/articles/industry-4-0-and-how-smart-sensors-make-the-difference> (gathered 2020-10-01).

Tether, B., Mina, A., Consoli, D., en Gagliardi, D. (2005). *A literature review on skills and innovation: How does successful innovation impact on the demand for skills and how do skills drive innovation? A CRIC report for the department of trade and industry*. Manchester, Engeland: ESRC Centre for Research on Innovation and Competition.

Thames, L., en Schaefer, D. (2016). *Software-defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0*. *Procedia CIRP*, 52, 12-17. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.041>.

The Challenge Institute. (2018). *Challenge based learning*. <https://www.challengebasedlearning.org/> (verzameld 2020-09-28).

Throughput. (2019). *Smart Supply Chain Management: Why it is Important to Implement?* <https://throughput.world/blog/smart-supply-chain-management/> (verzameld 2020-10-17).

University of Illinois Board of Trustees, et al. (2020). *JUST-IN-TIME TEACHING*. <https://citl.illinois.edu/citl-101/teaching-learning/resources/teaching-strategies/just-in-time-teaching> (verzameld 2020-09-25).

University of Illinois Board of Trustees, et al. (2020). *PROBLEM-BASED LEARNING (PBL)*. <https://citl.illinois.edu/citl-101/teaching-learning/resources/teaching-strategies/problem-based-learning-pbl> (verzameld 2020-09-25).

Vieweg, H.-G. (2011). *Study on the competitiveness of the EU mechanical engineering industry*. München: Ifo Institute

Vulkov, Volen. (n.d). *3d Printing Skills: Example Usage on Resumes, Skill Ser & Top Keywords in 2020*. Enhacv. <https://enhacv.com/resume-skills/3d-printing/>. (verzameld 2020-09-02).

Whitton, Nicola. (2012). *Games-Based Learning*. https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4419-1428-6_437 (gathered 2020-09-29).

Wirtschaft digital Baden-Württemberg. (2020). *Lernfabriken*. <https://www.wirtschaft-digital-bw.de/zielgruppen/produzierendes-gewerbe/lernfabriken-industrie-40/> (verzameld 2020-09-10).

Zamboni, Jon. (2018). *What Are Examples of Technical Competencies?* Leaf Group Media. <https://careertrend.com/how-5867853-write-competency-based-resume.html> (verzameld 2020-10-17).

Zhong, R. Y; Xu, X; Klotz, E; en Newman, S. T. (2017). *Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review*. *Engineering*, 3(5), 616–630. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>

