

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.



Abstrakt

Industri 4.0 ställer nya krav på arbetstagare, ny teknik kräver innovativa lösningar och därmed innovativa arbetare som kan anpassa sig till de nödvändiga justeringarna och ge värde till industrisektorn. De nya kraven på arbetare skapar i sin tur nya krav på utbildning. Forskning kring metoder för utveckling av Industry 4.0-utbildning har utförts av Curt Nicolin Gymnasiet och EXAM 4.0-konsortiets partner inom arbetspaket 4 på grund av de nya kraven. Arbetspaket 4, i EXAM 4.0, innehåller definitioner av krav som ett VET / HVET-center måste uppfylla för att kunna förse studenter med nyckelfaktorer och kompetenser som är avgörande i Advanced Manufacturing Sector. Modeller för att beskriva institutioner och LAB ingår och testas av alla konsortiets partners. Modellerna och beskrivningarna kan vara fördelaktiga när man definierar nya labb, utformade för utmärkt avancerad tillverkning. Arbetspaket 4 innehåller också information om relevant avancerad tillverkningsteknik, viktiga aspekter av Industry 4.0 och inlärningsprocesser, såsom metoder och inlärningsinnehåll avseende Industry 4.0-utbildning. Denna rapport, arbetspaket 4.4, innehåller information om undervisning i industri 4.0 och ansvarsområden för personer som är involverade i processen. Allt arbete i Work Package 4 används också för att skapa ett ramverk som beskriver den perfekta processen att implementera när du skapar nya AM LAB 4.0.



Innehållsförteckning

Abstrakt	3
Innehållsförteckning	4
WP4.4 Uppgiftsmall	5
Förkortningar	6
Introduktion	7
4.1 Industri 4.0	8
4.2 Egenskaper för AM Workshop 4.0 Framework	8
4.3 Antal tekniker	13
4.4 Metoder för I4.0-lärande	15
4.5 Hur man undervisar industri 4.0	17
4.6 Roller och ansvar	20
4.7 Definition av nya EXAM 4.0 Labb	20
Referenser	28



WP4.4 Uppgiftsmall

Förväntat resultat	Nummer	D4.4
	Titel	The AM Workshop 4.0 Framework
	Typ	Rapport
	Beskrivning	Ett dokument som förklarar begrepp (grafik) och egenskaper hos de olika elementen som ingår i AM Workshop 4.0 Framework. Organisation av inlärningsprocessen för att dra nytta av den. Antal inblandade tekniker, typ av utrustning till förfogande, anslutningsmöjligheter, utmaningsbaserat lärande som den perfekta metoden för denna upplevelse. De involverade personernas roller och ansvar. Rekommendationer om planering av programmering, implementering och övervakning. Fördelar, grundläggande utbildningskrav och expertis etc.
	Förfallodatum	M07
	Språk	Engelska, tyska, svenska, nederländska och spanska
	Media	Electronic
Spridningsnivå	Publik	



Förkortningar

AI= Artificial Intelligence
AM = Advanced Manufacturing
AR = Augmented Reality
CAD = Computer Aided Design
CAM = Computer Aided Manufacturing
CoVE = Centres of Vocational Excellence
CPS = Cyber-Physical systems
D = Deliverable
EQF = European Qualifications Framework
EXAM 4.0 = Excellent Advanced Manufacturing 4.0
HVET = Higher Vocational Education and Training
I4.0 = Industry 4.0
ICT = Information and communications technologies
IoT = Internet of Things
IIoT = Industrial Internet of Things
IT = Information Technology
KETs = Key Enabling Technologies
M2M = Machine to machine communication
OT = Operational Technology
RFID = Radio Frequency Identification
VET = Vocational Education and Training
VR = Virtual Reality
WP = Work Package



Introduktion

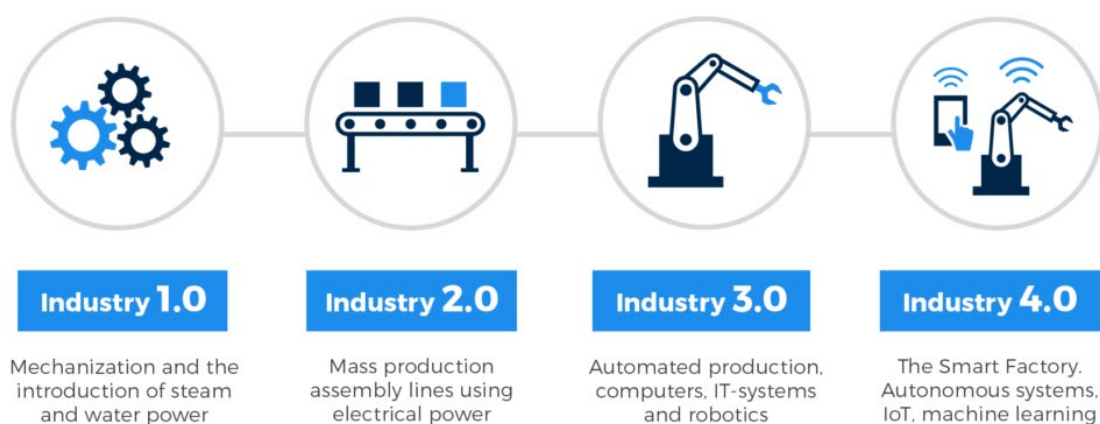
Den fjärde delen av rapporten innehåller grafik och egenskaper hos de olika elementen i AM Workshop 4.0 Framework. Olika grafik som ger visuella representationer av viktiga aspekter av Industry 4.0 och involverad teknik. Olika inlärningsmetoder som utmaningsbaserat lärande som en ideal metod. Information om undervisning i industri 4.0, roller och ansvar för berörda personer. Detta avsnitt innehåller också rekommendationer om planering, programmering, implementering och övervakning av nya AM-labb.



AM Workshop 4.0 Framework

4.1 Industri 4.0

The Four Industrial Revolutions



Vi befinner oss för närvarande i en förändring. Sättet att producera förändras på grund av digitalisering. Denna omvandling går under namnet Industri 4.0, eller dess akronym I4.0, och är den fjärde industriella revolutionen. Transformationen utvidgar det som startades i den tredje industriella revolutionen. Datorer, automatisering, robotik går samman med ny teknik som autonoma system som främjas av maskininlärning och data (Marr 2018). Samtrafik, automatisering, maskininlärning och realtidsdata är nyckelfokus för Industri 4.0. Idén med I4.0 är att slå samman fysisk produktion med smart digital teknik för att skapa välanslutna ekosystem när det gäller tillverkning och hantering av försörjningskedjan (Epicor nd).

4.2 Egenskaper för AM Workshop 4.0 Framework

För att definiera eller karakterisera avancerade tillverkningsverkstäder för yrkesutbildningscentra krävs ett tekniskt referensramverk som syntetiserar de viktigaste egenskaperna som den digitala omvandlingen genererar.

Referensramen bygger på de anpassningar som genomförts i företag, hur företag relaterade till avancerad tillverkning, integrerar och implementerar omvandlingen mot smarta fabriker.

Det är viktigt att komma ihåg att vi pratar om undervisnings- och inlärningsmiljöer, där implementering av teknik är direkt associerad med den kompetens som utbildas och de inlärningsresultat som ska uppnås.

Efter de allmänt använda nivåerna och elementen i automatiseringspyramiden som visas i figur 16 samt några andra element kan vi visualisera ett inlärningssystem som bygger på en liknande arkitektur.

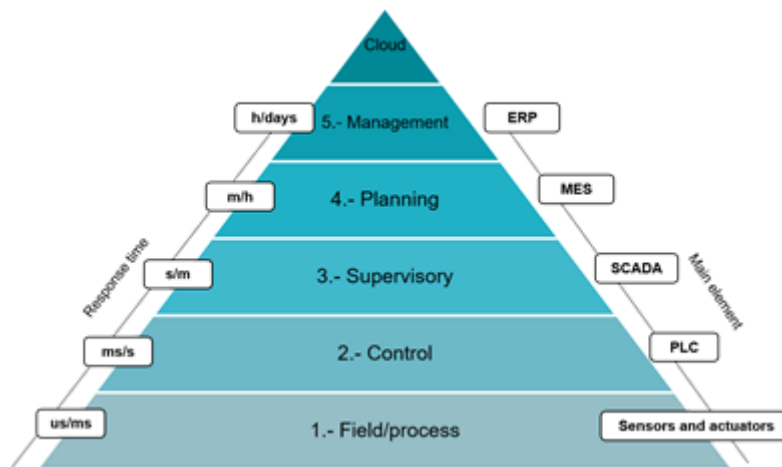


Figure 16 Automation pyramid (EXAM4.0)

En förenklad representation av den potentiella strukturen för labb för yrkesutbildning visas i figur 17. De föreslagna versionerna bör digitaliseras till en representativ nivå som gör det möjligt att tillämpa många av de digitala funktionerna som potentiellt skulle kunna fungera i smarta fabriker. Efter de typiska lagren i en automatiserad produktionslinje skulle de föreslagna AM labben för VET konfigureras kring en produktionsprocess. Eftersom denna arkitektur är utformad för inlärningssyfte skulle konfigurationen vara öppen, modulerbar och flexibel.

Grafik och egenskaper hos de olika elementen i Industry 4.0 som är relevanta för AM Workshop 4.0.

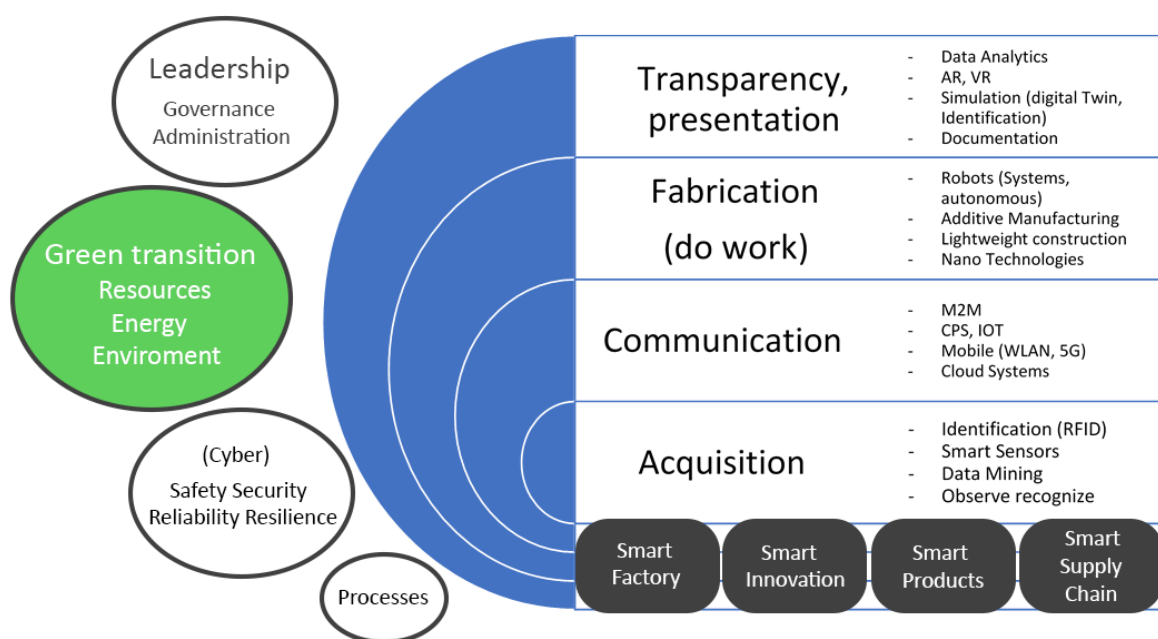




Figure 17 Configuration of an AM lab for VET (EXAM 4.0)

Den första fältnivån är förvärvsnivån. För det andra är kommunikationsskiktet, där olika kommunikationsprotokoll och system skulle implementeras, inte bara länka och styra alla fältelement utan också kommunicera med olika maskiner och utrustning. För det tredje är "fabrikationsskiktet" där produktionen äger rum. Konfigurationen och layouten för produktionsmaskinerna, med inlärningssyfte, skulle säkerställa lämpligt produktionsflöde. Kompletterande teknik skulle implementeras: robotar och coboter, additiv tillverkning, linjemetrologi, spårbarhet etc. Det fjärde skiktet är angående transparens.

Observera att denna representation kompletterar *automatiseringspyramiden* som visas i figur 16. AM LAB: erna för yrkesutbildning måste innehålla kontrollnivåer, scada-system, MES-system samt till och med ERP: er för att länka data från LAB: er med andra digitaliserade områden i yrkesutbildningscentralen.

Drivande affärsmodeller

En annan relevant aspekt att överväga är den affärsmodell som driver verksamheten i branschen. I WP2 beskrev vi de viktigaste drivkrafterna som kommer att fungera i olika branscher. Smarta lösningar, smart innovation, smarta leverantörskedjor och smarta fabriker är områden där tillverkare kommer att förverkliga enorma potentialer genom att digitalisera sin verksamhet. Medan smarta lösningar, och innovationer främst utnyttjar företagets tillväxt, driver Smart Supply Chains and Factories främst effektiviteten.

Beroende på vilken huvuddrivrutin som används kommer alla operativa modeller att variera, inklusive den viktigaste teknologin som möjliggör processen. Det är viktigt att överväga hur detta kommer att påverka affärsmodellerna på den operativa modellen i våra AM labb för VET. I figur 19 visas de viktigaste teknologin som gör det möjligt att agera beroende på den drivande affärsmodellen.

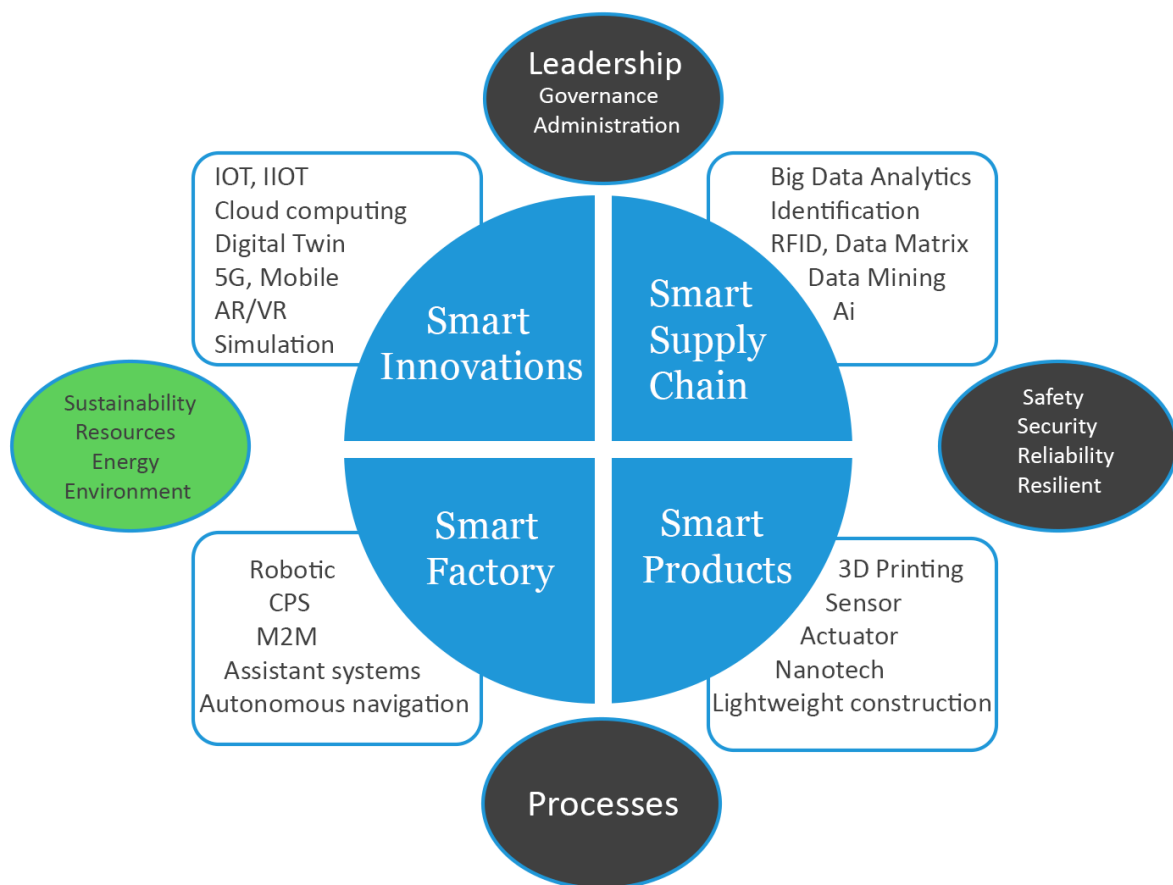


Figure 18 Main technology enablers and I4.0 elements acting depending the driving business model (EXAM 4.0)



Denna modell ger en allmän bild av teknologier, metoder och element som är viktiga för att lyckas inom I4.0.

I följande stycken ges detaljer om de fyra huvudsakliga affärsmodellerna:

Smart fabrik:

"Smart Factory är ett koncept för att uttrycka slutmålet för digitalisering i tillverkningen" (Koo 2020).

Termen Smart Factory används oftast i samband med högt digitaliserade fabriker. Dessa fabriker samlar oavbrutet produktionsdata och delar data mellan anslutna maskiner och enheter. Enheter använder data för självoptimering och organisationen kan använda den för att lösa problem inom fabriken för att förbättra produktionen. Många tekniker används inom smarta fabriker för att göra det funktionellt, till exempel AI, Big Data Analytics, Cloud Computing och IIoT. (Koo 2020).

Smarta leveranskedjor:

Industry 4.0 innehåller mer än bara smarta fabriker och implementering av teknik, logistik 4.0 och smart supply chain management Logistics 4.0 och Smart supply chain management handlar om en mängd olika funktioner när det gäller end-to-end logistik och supply chain management i Industry 4.0, såsom IoT, CPS och avancerad dataanalys. (i-SCOOP nd).

Smarta fabriker använder tekniker som sensorer implementerade i utrustning vilken i sin tur är ansluten till IoT, tillsammans med många andra avancerade tekniker som cyber-fysiska system, dataanalys, robotik och AI. Dessa tekniker spelar en nyckelroll i hanteringen av smarta leverantörskedjor.

Smart hantering av försörjningskedjan har många fördelar, som att förutse flaskhalsar. Försörjningskedjan kan vara självorganiserande och självoptimerande på grund av realtidsdata från sensorer i fabriken. Smarta system som används i Smart supply chain management kan förutsäga framtida flaskhalsar och stödja implementeringen av mager produktion (Genomströmning 2019).

Smarta produkter:

Concepts of Industry 4.0 som smarta fabriker och avancerad tillverkningsteknik driver innovation och utveckling som påverkar både processer och produkter, detta möjliggör skapandet av smarta produkter. (Schmidt et al. 2015, refererad i Nunes et al. 2017)

Begreppet "Smart" har ingen verklig definition, termen avser vanligtvis enheter som oberoende samarbetar med andra enheter i ett nätverk och med inbäddade system utför åtgärder baserade på realtidsuppdateringar (Raji 1994, refererad i Nunes et al. 2017). Utvecklingen av smarta produkter och processer är i fokus i den fjärde industriella revolutionen, utvecklingen drivs av omvandlingen från konventionella fabriker till smarta fabriker (Radziwon 2014, refererad i Nunes et al. 2017). Smarta fabriker har möjlighet att kontrollera komplexitet och förbättra produktionseffektiviteten. En smart fabrik definieras av sin interkommunikation i nätverk med mänskliga resurser, maskiner och utrustning som smarta produkter (Kagermann 2013, refererad i Nunes et al. 2017).

Smarta produkter är viktiga för I4.0-tillverkning. Dessa produkter implementeras i hela tillverkningsprocessen samt stöder det ständigt och själv kontrollerar vissa delar av produktionen autonomt. Smarta produkter informeras också om parametrar och framtida användning av sig själva och kommer därför att ge statusinformation om sig själva under hela deras livscykel (Kagermann 2013, refererad i Nunes et al. 2017). Huvudsyftet med smarta produkter är deras interaktion med miljön genom beräkning, datalagring och kommunikation. Smarta produkter kan genom hela sin värdekedja ge



information om deras framsteg, lagra information om tidigare processsteg och ge information om framtida produktions- och underhållsprocesser. Smarta produkter kan också interagera med fysiska miljöer utan mänsklig inblandning (Schmidt et al. 2015, refererad till Nunes et al. 2017).

Smarta innovationer:

Digitaliseringen av industrin kommer inte bara att förändra värdeskapande processer utan också ge upphov till nya affärsmodeller och nya innovationer. Smarta, digitala produktionsprocesser ger stora möjligheter för företag - särskilt för små och medelstora företag. Nya impulser kommer från en mängd källor utanför den egna organisationen och de måste proaktivt integreras i en öppen innovationsprocess. I en sammankopplad Industry 4.0 är idéer dock mycket mer värdefulla om de är inbäddade i en lika innovativ periferi av enheter eller relaterade lösningar. Utökad innovation omfattar skapande och distribution av idéer över organisatoriska gränser, medan Connected Lifecycle Innovation utnyttjar produktens livscykeldata som en källa för innovation. Utökad innovation kräver öppnande av innovationsprocesser i tillverkningsföretag för externa partners och kunder. Kommunikation och anslutning möjliggör innovationsaktiviteter över flera företag. Extended Innovation är ett tvåvägsutbyte, med information som flyter in i och ut ur företaget. Medan externa stimuli införs aktivt i företaget, fungerar det som ett nav för att sedan mata dem in i partnernätverket för att bredvid stödja innovation och idégenerering. Samarbete i innovationsprocessen med både kunder och partners minskar time-to-market och driver innovationshastigheten mot ett konstant flöde. Slutligen kommer innovationer att bli mer hållbara genom att dela information i tillverkarens ekosystem. Connected Lifecycle Innovation skiljer sig från "vanlig" produktlivscykelhantering i sin helhetssyn: produktrelaterad information är kopplad till andra relevanta data, såsom maskinparametrar eller kundorderdata. Den analyseras, bearbetas och används för att generera innovation, vilket möjliggör datadriven FoU-beslutsfattande och affärsprocessinnovation i hela organisationen, till exempel i försäljningsprocesser. Liksom Extended Innovation kommer Connected Lifecycle Innovation att leda till en ökad innovationsfrekvens. Det kommer att minska time-to-market, vilket innebär tillväxtpotential samt förbättrad effektivitet i verksamheten, med minskade FoU-kostnader.

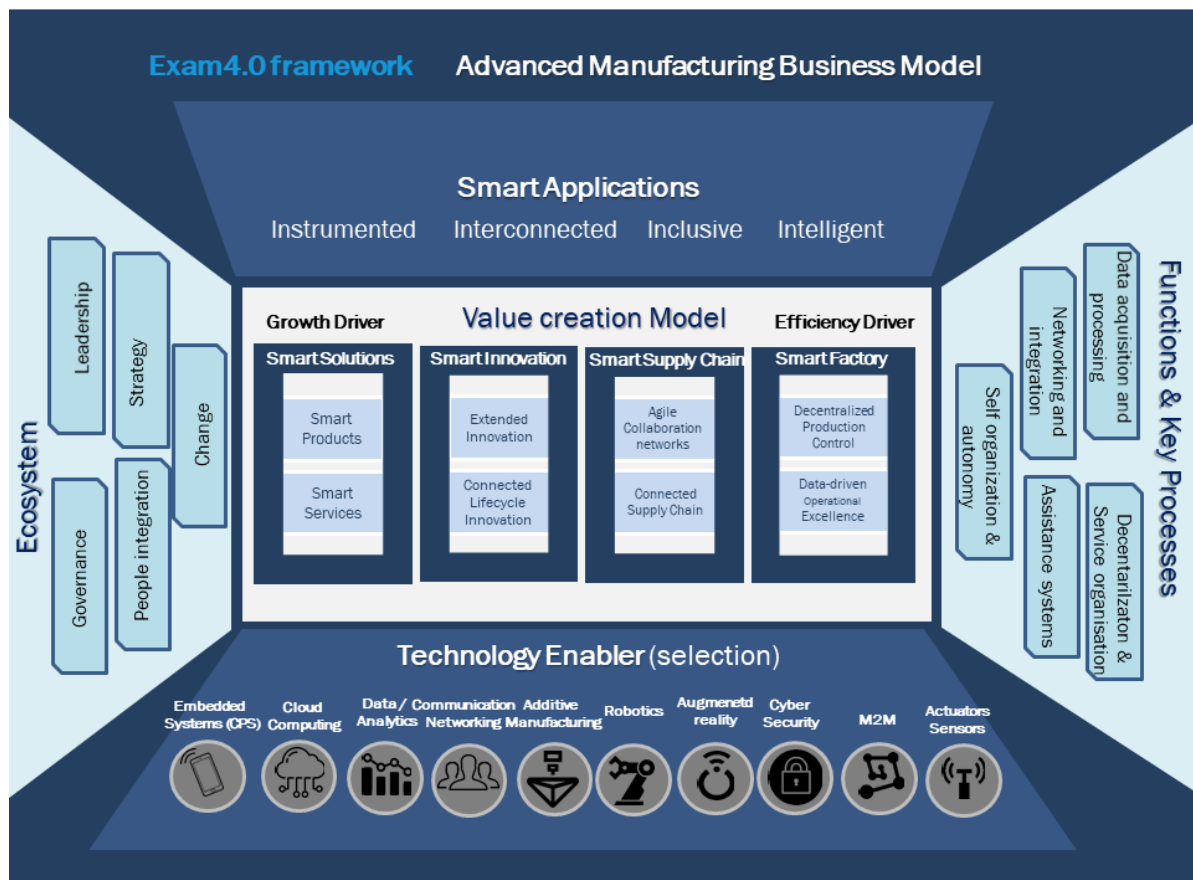


Figure 19 EXAM 4.0 Manufacturing Business Model (EXAM 4.0)

EXAM 4.0 LAB: er bör överensstämma med / eller baseras på Exam 4.0 Framework och Exam 4.0 Kompetensram som skrivs i WP 2-forskningsrapporten.

Det halvstrukturerade frågeformuläret som genomförs av konsortiets partners kan användas inte bara när man beskriver befintliga LAB utan också när man beskriver nya EXAM 4.0 LAB.

4.3 Antal tekniker

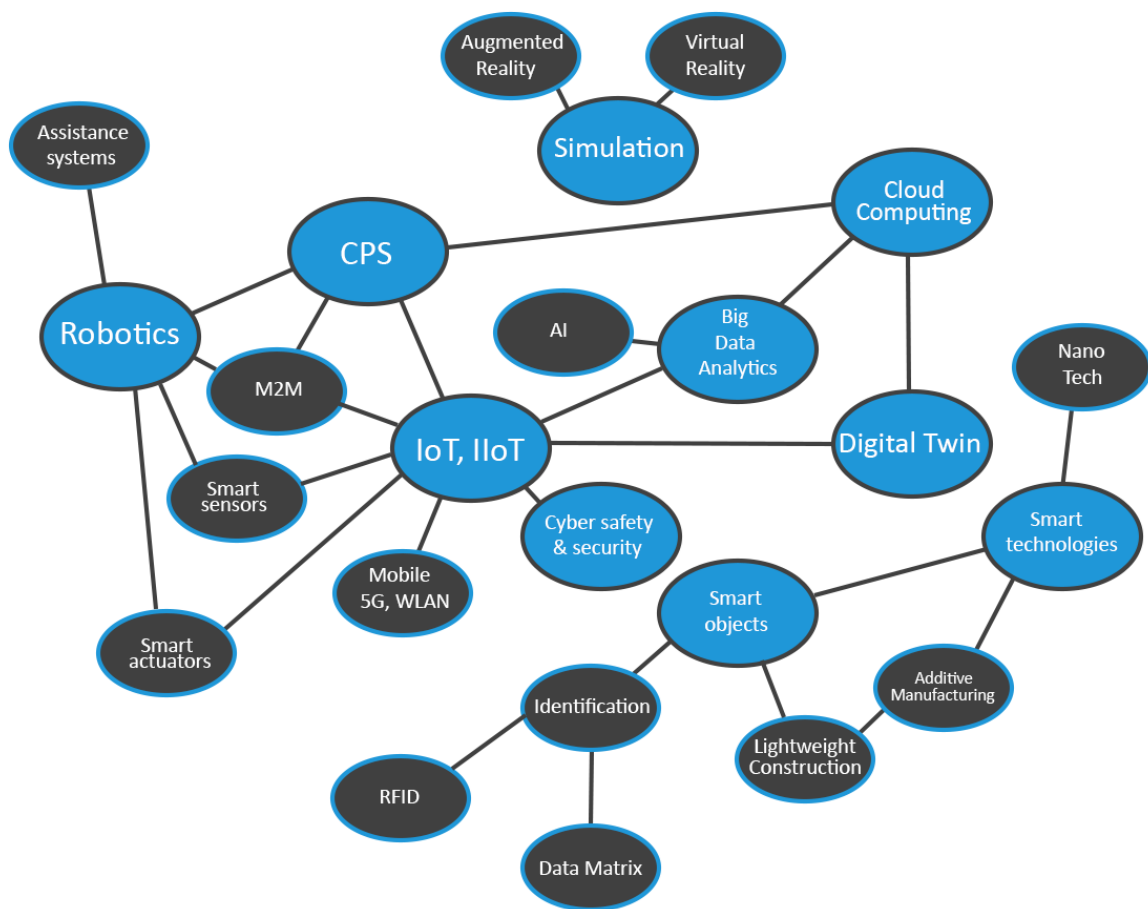


Figure 20 Graphics of Advanced Manufacturing technologies (EXAM 4.0)

KETs och Industry 4.0, avancerad tillverkning, relaterad teknik har beskrivits i avsnitt 2 i detta dokument. Figur 20 är en grafisk screening av teknologierna och dess relationer till varandra. Grafiken är baserad på PowerPoint "Framework EXAM 4.0, teknikaktivatorer" från WP2. De grå och blå ellipserna representerar lager av olika tekniker och linjen mellan dem visar förhållandet mellan dessa tekniker på ett grundläggande sätt.

4.4 Metoder för I4.0-lärande

Ett av kännetecknen för Centres of Vocational Excellence (CoVE) från EU-kommissionen är att de använder sig av studentcentrerade inlärningsmetoder och aktiva inlärningsmetoder.

I EXAM 4.0-sammanhanget används aktiva inlärningsmetoder i I4.0-undervisnings- och inlärningsmiljöer. Relevanta inlärningsmetoder och ytterligare information om dessa beskrivs i enlighet med detta:

- **Problembaserat lärande**

PBL är en pedagogisk metod som används för att lära sig begrepp och principer. Denna utbildningsmetod är motsatt direkt presentation av fakta och begrepp. Komplexa verkliga problem tillämpas i PBL för att uppmuntra elevernas lärande. Förutom bestämda färdigheter och kompetenser i utbildningsprogrammet kan PBL stödja utbildning av problemlösning, kommunikationsförmåga och kritiskt tänkande. Inlärningsmetoden stöder bland annat livslångt lärande och lagarbete (Duch, Groh, Allen 2001, refererad till University of Illinois Board of Trustees, et al 2020).

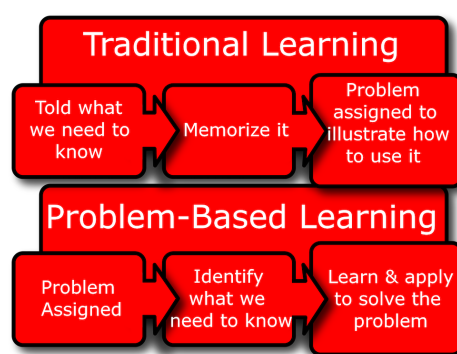


Figure 21 *Problem-Based Learning (PBL)* (Serhat 2020)

- **Projektbaserat lärande**

Projektbaserat lärande är en pedagogisk metod där eleverna arbetar med projekt. Metoden involverar verkliga och meningsfulla uppgifter.

Projektet utförs under en viss tidsperiod, den kan vara väldigt varierad. Projektbaserat lärande engagerar eleverna i att lösa verkliga problem och komplexa frågor. Medan eleverna arbetar med meningsfulla projekt visar de sina färdighets- och kunskapsnivåer.

Studenterna förbättrar innehållskunskapen, dessutom kritiskt tänkande, samarbete, kreativitet och kommunikationsförmåga genom att använda projektbaserat lärande som pedagogisk metod (Buck Institute for Education nd).

Alla dessa är viktiga kompetenser för att arbeta i I4.0.

- **Utmaningsbaserat lärande**

"Utmaningsbaserat lärande (CBL) ger en effektiv ram för inläring samtidigt som man löser verkliga utmaningar" (The Challenge Institute 2018). CBL är en pedagogisk metod med syftet att lära eleverna medan de löser verkliga utmaningar. Metoden uppmuntrar till samarbete inom många områden, till exempel för att identifiera, undersöka och lösa utmaningar (The Challenge Institute 2018).

- **Experimentellt lärande (även "Hands on learning")**

Betydelsen av experimentell inläring är att lära genom erfarenhet, som namnet betyder (Cherry 2020). Definitionen av denna inlärningsmetod kan enligt psykologen David Kolb förklaras som "den process där kunskap skapas genom transformation av erfarenhet. Kunskap är resultatet av kombinationerna av att förstå och omvandla upplevelsen" (Kolb 1984, refererad i Cherry 2020).

I experimentellt lärande måste studenten reflektera över erfarenhet för att få ny kunskap.



Figure 22 The Experiential Learning Cycle (Growth Engineering 2017)

- **Discovery learning**

Discovery Learning är en pedagogisk metod för förfrågningsbaserad instruktion.

Discovery Learning har fem huvudprinciper. Dessa är 1. problemlösning 2. elevhantering 3. integrering och anslutning 4. informationsanalys och tolkning 5. misslyckande och feedback (Pappas 2014).

- **"Just-in-time"-undervisning**

Just-in-time-undervisning består av en tvåstegs inlärningsprocess som används för att leverera utbildning när och var det är avgörande. Det första steget i JITT är att eleverna ska slutföra specifika aktiviteter eller uppgifter utanför utbildning. Läraren validerar sedan dessa aktiviteter för att identifiera inom vilka områden eleverna behöver förbättra. Den efterföljande lektionen kommer sedan att anpassas för dessa områden för att garantera att eleverna får grundläggande kunskaper. (University of Illinois Board of Trustees, et al 2020).

- **Spelbaserat lärande**

Spelbaserat lärande är en pedagogisk metod som använder spel. Metoden kan användas på olika utbildningsnivåer, från förskola till livslångt lärande. Spelbaserat lärande är tillämpligt i olika utbildningsändamål, såsom enkel memorering eller mer komplicerade lärandemål. Antingen icke-digitala eller digitala spel kan användas vid träning med spelbaserat lärande (Whitton 2012).

Oavsett vilken metod som används, medan styrkan i bevisen varierar för olika metoder, visar sig induktiva metoder alltid vara lika med och i allmänhet mer effektiva än traditionella deduktiva metoder för att uppnå ett brett spektrum av lärandemål (Prince och Felder 2006).



För att ta itu med metoderna som ska användas i LAM: er är det viktigt att överväga ett bredare systemiskt synsätt, med tanke på den fullständiga inlärningsmiljön. Det är värt att ta med förslaget i rapporten Curriculum guidelines for AM (PwC 2020).

Inlärningsmiljön inkluderar typer av miljöer som skapas under utbildningsprogrammet.

Inlärningsmiljön hänvisar till både rymdets kvaliteter (både fysiska och virtuella) där inlärningsaktiviteter ligger och andra immateriella aspekter som stöder och förstärker de sociala och emotionella dimensionerna av inläringen.

Inlärningsmiljön kan organiseras på en mängd olika sätt och den måste härröra från strategin och de specifika målen / önskat lärandemål.

Exempel på mål är att stimulera tvärvetenskaplig orientering, designtänkande, kreativitet, laganda, kollektiv problemlösning, risktagande beteende, experimentella tillvägagångssätt etc. Det kan kräva olika former av verklighet (dvs. fysiska, virtuella eller blandade (utökade)). Flera typer av metoder kan användas och kombineras för att uppnå uppsatta mål, såsom problemdrivet (eller problembaserat) lärande, projektbaserat lärande, erfarenhetsbaserat (eller erfarenhetsmässigt) lärande, samarbetsinläring, teknologibaserat lärande etc. Målen och metoderna definierar också de mest lämpliga sätten att organisera en fysisk inlärningsmiljö, till exempel i form av en inlärnings- / undervisningsfabrik, designfabrik, Learning Lab, Living Lab, Innovation Hub, Makerspace etc.

4.5 Hur man undervisar industri 4.0

Varje skola och program måste undersöka hur Industry 4.0 ska användas på framtida arbetsplatser för sina akademiker och intyga att utbildningsnivån är relevant för studenterna att uppfylla branschkraven.

Enligt Matthew D. Kirchner behöver studenterna skaffa sig kunskap och erfarenhet inom följande sex byggstenar (Kirchner 2017).

Block 1:

Industry 4.0 är ett verktyg som kan användas av företag för att öka sin konkurrenskraft.

För att studenter ska kunna använda det här verktyget och uppnå kraven i Industry 4.0 måste de ha en grundläggande kunskapsbas om de discipliner som ligger till grund för industriell framgång.

Dessa discipliner inkluderar:

- En uppskattning för arbetsplatsens säkerhet och säkra arbetsmetoder.
- En förståelse av den grundläggande genomströmningsekvationen och det grundläggande industriella behovet av att maximera effektivitet och produktivitet.
- En förståelse av de sju döds Avfall och hur de manifesterar sig i industry och bransch relaterade processer.
- Bekanta dig med industriella standardiserade kvalitetssystem.
- Möjligheten att felsöka industriella processer och utrustning.
- Mjuka industriella färdigheter inklusive samarbete, problemlösning, disciplin och tidshantering.

Block 2:

Byggsten 2 handlar om kunskapen om produktions- och tillverkningsutrustning som är nödvändig för Industri 4.0. Denna utrustning är till exempel industriell robotik, manuell och robotsvetsning, extrudering och formning.

Block 3:

Smarta sensorer och smarta enheter är grundstenen i Industry 4.0. Denna teknik samlar enorma mängder information om sin miljö, inbäddad intelligens används för att utföra programmerade funktioner. Detta görs innan informationen delas med andra system och enheter, delas via datanätverk och internet.



Paul Perkins, ordförande för State of Indiana Workforce Innovation Council och National Governors Association of State Workforce Board Chairs sade att "kunskapen som studenterna får behöver utvidgas utöver en enkel förståelse för smarta sensorer och apparattyper" (Kirchner 2017).

Block 4:

Det verkliga tillverkningsarbetet för bearbetning, formning och gjutning av material till produkter drivs av industriell utrustning och teknik. Processen övervakas av smarta sensorer och enheter för att ge feedback. Dessa system tjänar till att styra hela tillverkningsprocessen i realtid.

För att studenter ska vara redo för Industry 4.0 måste de ha förståelse för följande system:

- Programmerbar Logic Controller (PLC) drift och programmering
- Säkerhet PLC drift och programmering
- Operatörs- och mänskliga maskingränssnitt
- Distribuerad I / O
- Elektroniska och variabla frekvensomriktare
- Motor- och rörelsestyrning
- Power & Control Electronics

Block 5:

Industri 4.0 resulterar i att den industriella utrustningen blir mer internetansluten. Personer som kan hantera både Operational Technology (OT) och Information Technology (IT) har stora framtidsmöjligheter. Eleverna måste få en bättre förståelse för nätverk som bär data från smarta enheter. För att eleverna ska få en bättre förståelse för dessa nätverk måste de lära sig flera tekniker som nätverksservrar, distribuerade servrar, routrar, switchar, gatewayenheter. Ethernet, Foundation Fieldbus, Profibus, trådlös kommunikation, länkteknik och fleranvändarapplikationer.

Block 6:

Mer data skapades under de senaste två åren än som skapades under de senaste 5000 åren av mänsklig existens. (Harris, 2016). En utmaning för många företag inom Industry 3.0 var frånvaron av data. I Industry 4.0 är utmaningen snarare att hantera mängden tillgängliga data. Människor som har kunskapen att analysera data och föreslå åtgärder baserade på data kommer att vara nödvändiga för den fjärde industriella revolutionen (Kirchner 2017).

Dessa sex block kommer att implementeras i utbildningens sju dimensioner för att skapa den perfekta processen för lärande. De sju dimensionerna av lärande kommer att presenteras i enlighet med detta:



Figure 23 based on *Live Lecture* (Kirchner 2017)

Live Lecture, LL, är den första av de sju dimensionerna för utbildning. LL är förmodligen den vanligaste metoden för utbildning och hänvisar till en lärare som undervisar en grupp människor live, personligen eller online. En klassrumsföreläsning till exempel.



Figure 24 based on *eLearning* (Kirchner 2017)



Den andra dimensionen är eLearning, även kallad online-lärande eller elektroniskt lärande. Den hänvisar till system för formativt lärande genom elektroniska resurser. eLearning är i de flesta fall tillgängligt via internet, på detta sätt erbjuds inlärningsmaterialet nästan överallt var när som helst.

3
ID

Instructor Demonstration, 1:many

Figure 25 based on *Instructor Demonstration* (Kirchner 2017)

Den tredje dimensionen är instruktörsdemonstration. Termen avser den pedagogiska metoden där en instruktör visar ett visst ämne eller uppgift för en grupp elever, antingen personligen eller online. Antalet elever i denna metod är "många", alltså från två till ett oändligt antal elever.

4
VS

Virtual Skill Development

Figure 26 based on *Virtual Skill Development* (Kirchner 2017)

Den fjärde dimensionen är Virtual Skill Development med hänvisning till de fysiska träningsmoment som kommer att utföras virtuellt, via programvara. Det används ofta via datorspel eller visualisering som Virtual Reality. Ett exempel på ett område för virtuell kompetensutveckling kan vid montage. De kan lära sig att montera en produkt via VR innan de utför arbetsuppgiften på en riktig arbetsplats. Eleverna kan utveckla en grund med erfarenhet att använda på en riktig arbetsplats och sänka kostnaderna då eleven inte behöver träna med eller förbruka riktiga produkter.

5
IIS

Instructor Interactive skills, 1:1

Figure 27 based on *Instructor Interactive skills* (Kirchner 2017)

Den femte dimensionen är Instructor Interactive skills, IIS. IIS utförs när en instruktör utbildar eleverna individuellt. Detta är ofta ett effektivt sätt för studenter att lära sig då den specifika eleven är i fokus och ges möjlighet att avancera utan att distraheras från andra studenter. Instruktören kan också anpassa utbildningsinnehållet till den specifika elevens behov, vilket ofta resulterar i mer effektivt lärande.

6
HO

Hands-on skill development

Figure 28 based on *Hands-on skill development* (Kirchner 2017)

Praktisk kompetensutveckling, HO, är den sjätte dimensionen och en av de viktigaste för att lära sig avancerade tillverkningsmetoder. HO är en praktisk utbildningsmetod. Genom denna metod kan studenten lära sig genom att fysiskt arbeta med olika maskiner eller utrustning.

7
PR

Portable Rotational at-Home Skills

Figure 29 based on *Portable Rotational at-Home Skills* (Kirchner 2017)

Den sista dimensionen är Portable Rotational at-Home Skills, den är utmärkt för distansutbildning. Träningsutrustning skickas till eleverna där de kan utföra specifika uppgifter. Efter studierna skickas utrustningen tillbaka till den lärande organisationen. Ny utrustning och uppgifter skickas därefter till eleven.

Hur man undervisar industrin 4.0 2020 (LAB Midwest 2020)



4.6 Roller och ansvar

En roll när det gäller utbildning i industri 4.0 är lämpliga lärare. Dessa lärare har vissa ansvarsområden som är nödvändiga för att de ska skapa framtida arbetare som driver innovation.

Det första och viktigaste ansvaret är att ha expertkunskaper inom ämnesområdet, i detta avseende Industry 4.0. Lärare måste också gå igenom livslångt lärande för att de ska hålla sig uppdaterad om tekniska och pedagogiska aspekter.

Läraren behöver planera lämpliga kurser och föreläsningar. Det är relevant att använda sex block och sju dimensioner samt olika undervisningsmetoder, såsom PBL, avseende I4.0-utbildning.

Samarbete är en av de viktigaste kompetenserna för I4.0, det är därför viktigt att läraren kan samarbeta med andra lärare, personal och elever. Läraren är också skyldig att ha ett bra beteende mot medarbetare och elever. Beteenden som ärlighet, rättvisa, etiskt uppförande, en omtänksam attityd och en korrekt språkanvändning, till exempel (QEC nd).

Det finns inte bara ansvar för läraren utan också för eleven. De första ansvarsområdena för eleverna kan verka uppenbara, men de är avgörande. Eleverna måste alltid sträva efter att göra sitt bästa, detta bör göras i enlighet med detta:

Att regelbundet delta i lektionen i tid är viktigt och att vara förberedd inför föreläsningen med både leveranser och utförda uppgifter. Eleven visar på detta sätt både respekt för läraren och ämnet. Eleverna måste slutföra alla uppgifter och även vara uppmärksamma i klassen. De måste respektera alla lärare, personal och klasskamrater samt ta hand om skolan och dess utrustning (Burnaby-skolor 2020).

Det finns också ansvar för beslutsfattare som rektorer och styrelseledamöter.

Rektorer, styrelseledamöter och de personer som ansvarar över utbildning och läroplaner behöver utvärdera kraven på företag och framtida arbetsplatser och på detta sätt anpassa utbildningen till dess krav.

4.7 Definition av nya EXAM 4.0 Labb

EXAM 4.0-ramverket för AM 4.0-laboratorier måste vara I4.0-kompetensorienterat och vara lämpligt att implementeras vid VET / HVET-centra.

De specifika egenskaperna hos den ultimata framtida AM LAB 4.0 är svåra att definiera. Det finns många aspekter som måste tas i beaktning när man skapar både en ram för framtida LAB och faktiskt skapar en ny LAB. Dessa aspekter kan till exempel vara tillgänglig golvyta, genomförandebudget, EQF-nivå, utbildningsprogram och eleverna som är avsedda att arbeta i LAB. På grund av dessa faktorer är det svårt att definiera exakt hur en ultimata LAB ska utformas, ramverket för framtida AM LAB 4.0 som skapas inom EXAM kommer därför att ligga till grund för framtida LAB. Ramverket bygger på den forskning som utförts under WP4 samt beskrivningarna av befintliga LAB: er. Denna rapport och ramverk kan användas som bas för att skapa nya LAB: er.



Föråldrad programvara och utrustning används ofta i utbildning, detta är ofta ett resultat av en låg budget. Eleverna får inte den expertis som krävs för att arbeta med avancerade tillverkningsrelaterade uppdrag, hos företag om de har varit begränsande eller ingen kontakt med Industry 4.0-relaterad teknik. FESTO hävdar att skolor inte kan hålla jämna steg med företagets utvecklingshastighet, därför kommer akademiker inte besitta rätt expertis när de söker jobb. Det är därför nödvändigt för skolor att samarbeta med företag eller I4.0-organisationer. (FESTO nd). Det första avsnittet i ramverket för framtida AM LAB 4.0 handlar om finansiering. I tabellerna för att beskriva befintliga LAB ser man att alla EXAM 4.0-partners har olika finansieringsmetoder för sina institutioner, därmed deras LAB, såsom interna medel, offentliga medel och företagsfonder. Det är bra att ha olika finansieringar, till exempel enstaka evenemang eller projekt med olika tidsintervaller.

Som nämnts tidigare resulterar Industry 4.0 i att den industriella utrustningen blir mer internetansluten. Personer som kan hantera både Operational Technology (OT) och Information Technology (IT) är stora tillgångar för framtiden. Eleverna måste få en bättre förståelse för nätverk som bär data från smarta enheter. Det är därför viktigt att en LAB inkluderar IT-integration i hög grad, såsom CAD, CAM och PLM. Det är också viktigt att LAB innehåller smarta enheter som sensorer, ställdon, M2M och CPS. För att elever ska vara redo att arbeta inom den avancerade tillverkningssektorn måste de känna till all relevant teknik och ha kompetens inom flera. LAB bör därför, baserat på krav för utbildningsprogrammen i LAB, inkludera tekniker som robotik, 3D-skrivare, VR / AR och CNC-maskiner.

Inlärningsstrategin, utbildningsmetoden och utbildningsinnehållet som utbildas i LAB är alla viktiga aspekter när det gäller studenternas lärandemål. Information om inlärningsmetoder och kompetenser som är avgörande för en Industry 4.0 LAB ingår i D4.3-rapporten / delen av WP4.

Det finns också många aspekter av en ny LAB som måste beaktas och valideras innan LAB skapas. Dessa aspekter kan vara:

- Antal elever som är avsedda att arbeta i LAB
- LAB: s livscykel
- Riktade industrier
- LAB: s huvudsakliga och sekundära syfte
- Teknikens livscykel
- Tillverkningsmetoder

Ingen tydlig definition av vad de ultimata svaren på dessa aspekter är har definierats. Det är dock viktigt för varje organisation att validera dessa aspekter och vidta åtgärder baserade på forskning för att få bästa möjliga resultat för LAB i fråga.

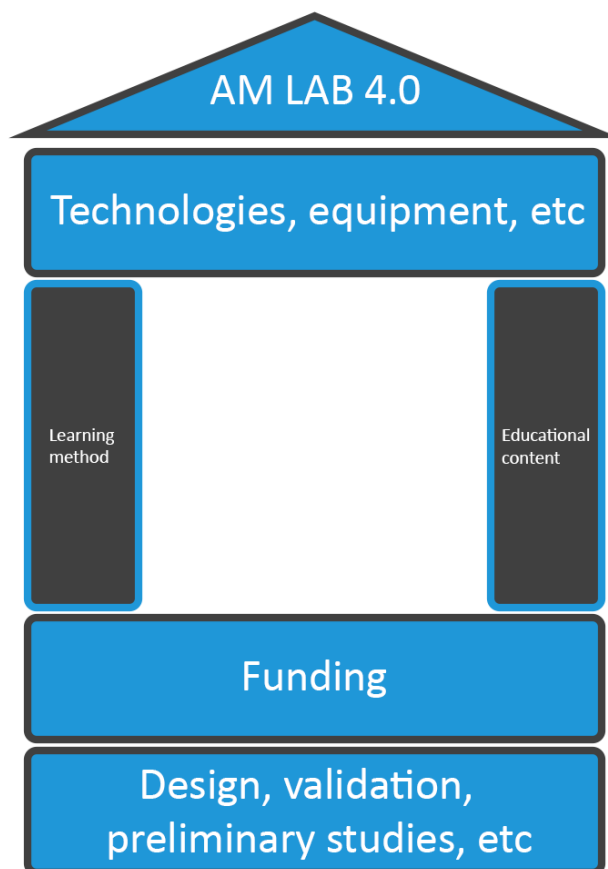


Figure 30 AM LAB 4.0 model prototype (EXAM 4.0)

Att ta hänsyn till de ovannämnda aspekterna, t.ex. livscykeln för LAB, riktade industrier osv., i preliminära studier är viktigt för att gå vidare till nästa steg. Det är ett oundvikligt krav att känna till grunden för LAB för att kunna undersöka finansieringsmetoder.

I nästa steg, finansiering, är det viktigt att validera alla aspekter av finansieringen. Till exempel medel för att skapa LAB, medel för underhåll av LAB och hur LAB kan användas för att generera mer inkomst även om LAB: s primära användning är för utbildning. EXAM 4.0 VET / HVET-centermodellen för AM LAB kan användas vid utformning av den nya LAB och validering av finansiering. Istället för att använda modellen som en beskrivning av en befintlig LAB kan den användas och besvaras som referens för den ultimata LAB.

Det tredje steget är det viktigaste när du skapar en ny AM LAB. Vilka utbildningsprogram kommer att fungera i LAB och vilka är EQF-nivåerna. Det är viktigt att vara medveten om vilket pedagogiskt innehåll som kommer att ingå i programmen och de inlärningsmetoder som kommer att användas.

Utbildningsprogrammen i LAB påverkar den teknik och utrustning som är relevant för LAB i fråga. Information om Industry 4.0-teknologier som är relevanta för AM LAB ingår tidigare i WP4.

EXAM 4.0 framtida Labb



Beskrivningarna av befintliga LAB, sålunda konsortiets partner LAB har utvärderats och EXAM 4.0 VET / HVET-centermodellen för AM LAB används för att beskriva den ultimata LAB i enlighet med detta:

1.1	operator	academic institution			non-academic institution					profit-oriented operator	
		university	college	BA	vocational school / high school	chamber	union	employers' association	industrial network	consulting	producing company
1.2	trainer	professor	researcher	student assistant		technical expert /int. Specialist			consultant	educationalist	
1.3	development	own development			external assisted development				external development		
1.4	initial funding	internal funds			public funds				company funds		
1.5	ongoing funding	internal funds			public funds				company funds		
1.6	funding continuity	short term funding (e.g. single events)			midterm funding (projects and programmes < 3 years)				long term funding (projects and programmes > 3 years)		
1.7	business model for trainings	open models			closed models (training programme only for single company)						
		club model	course fees								

2.1	main purpose	education			vocational training					research										
2.2	secondary purpose	test environment / pilot environment			industrial production			innovation transfer			advertisement for production									
2.3	target groups for education & training	pupils	students			employees						entrepreneurs	freelancer	unemployed	open public					
			bachelor	master	phd students	apprentices	skilled workers	semi-skilled workers	unskilled	managers										
										lower mgmt	middle mgmt					top mgmt				
2.4	group constellation	homogeneous			heterogeneous (knowledge level, hierarchy, students + employees, etc.)															
2.5	targeted industries	mechanical & plant eng.			automotive		logistics		transportation		FMCG		aerospace							
		chemical industry			electronics		construction		insurance / banking		textile industry		...							
2.6	subject-rel. learning contents	prod. Mgmt & org.	resource efficiency		lean mgmt		automation		CPPS		work system design		HMI		design		Intralogistics design & mgmt		...	
2.7	role of LAB for research	research object								research enabler										



2.8	research topics	production management & organization	resource efficiency	lean mgmt	automation	CPPS	changeability	HMI	didactics	...
-----	-----------------	--------------------------------------	---------------------	-----------	------------	------	---------------	-----	-----------	-----

3.1	product life cycle	product planning	product development	product design	rapid prototypin g	manuf acturin g	assembly	logistic s	service	recycling	
3.2	LAB life cycle	investment planning	factory concept	process planning	ramp-up				maintenance	recycling	
3.3	order life cycle	configuration & order	order sequencing	production planning and scheduling					picking, packaging	shipping	
3.4	technology life cycle	planning	development	virtual testing					maintenance	modernization	
3.5	indirect functions	SCM	sales	purchasing		HR	finance / controlling		QM		
3.6	material flow	continuous production				discrete production					
3.7	process type	mass production		serial production		small series production			one-off production		
3.8	manufact. organization	fixed-site manufacturing		work bench manufacturing		workshop manufacturing			flow production		
3.9	degree of automation	manual		partly automated / hybrid automation				fully automated			
3.10	manufact. Methods	cutting	trad. primary shaping		additive manufact.	forming	joining	coating	change material properties		
3.11	manufact. Technology	physical			chemical			biological			

4.1	learning environment	purely physical (planning + execution)	physical supported by digital factory (seeline "IT-Integration")		Physical, extended virtually		purely virtual (planning + execution)
4.2	environment scale	scaled down				life-size	
4.3	work system levels	work place	work system		factory		network
4.4	enablers for changeability	mobility	modularity	compatibility	scalability	universality	
4.5	changeability dimensions	layout & logistics	product features	product design	technology	product quantities	
4.6	IT-integration	IT before SOP (CAD, CAM, simulation)			IT after SOP (PPS, ERP, MES)		IT after production (CRM, PLM...)



5.1	materiality	material (physical product)					immaterial (service)	
5.2	form of product	general cargo				bulk goods		flow products
5.3	product origin	own development		development by participants			external development	
5.4	marketability of product	available on the market		available on the market but didactically simplified			not available on the market	
5.5	functionality of product	functional product		didactically adapted product with limited functionality			without function / application, for demonstration only	
5.6	no. of different products	1 product	2 products	3-4 products	> 4 products	flexible, developed by participants		acceptance of real orders
5.7	no. of variants	1 variant	2-4 variants	4-20 variants	...	flexible, depending on participants		determined by real orders
5.8	no. of components	1 comp.	2-5 comp.	6-20 comp.		21-50 comp.	51-100 comp.	> 100 comp.
5.9	further product use	re-use / re-cycling		exhibition / display		give-away	sale	disposal

6.1	competence classes	technical and methodological competencies		social & communication competencies		personal competencies		activity and implementation oriented competencies	
6.2	dimensions learn. targets	cognitive		affective			psycho-motorical		
6.3	learn. scenario strategy	instruction	demonstration			closed scenario		open scenario	
6.4	type of learn. environment	greenfield (development of factory environment)				brownfield (improvement of existing factory environment)			
6.5	communication channel	onsite learning (in the factory environment)				remote connection (to the factory environment)			
6.6	degree of autonomy	instructed		self-guided / self-regulated			self-determined/ Selforganized		
6.7	role of the trainer	presenter	moderator		coach			instructor	
6.8	type of training	tutorial	practical lab course		seminar		workshop		project work
6.9	standardization of trainings	standardized trainings				customized trainings			



6.1 0	theoretical foundation	prerequisite	in advance (en bloc)	alternating with practical parts	based on demand	afterwards
6.1 1	evaluation levels	feedback of participants	learning of participants	transfer to the real factory	economic impact of trainings	return on trainings / ROI
6.1 2	learning success evaluation	knowledge test (written)	knowledge test (oral)	written report	oral presentation	practical exam none

Standarder, kriterier, för EXAM 4.0 labb-modeller

Standardbeskrivning för industri 4.0 labb

En standard, ett certifikat som antyder att vissa kriterier är uppfyllda skulle vara till nytta för labb. Kriterierna för utbildningslabb kan säkerställa att rätt färdigheter och kompetenser utbildas. På detta sätt kan vi ha utbildningar, industri 4.0 utbildningar, över hela Europa innehållande samma färdigheter och kompetenser även om utbildningarna inte tar plats på samma skola. Om ett EXAM 4.0 labb-certifikat skulle användas, kan en student i Sverige lära sig liknande färdigheter och kompetenser och ha samma standardutbildningsinnehåll som en student i exempelvis Tyskland. Ett standardcertifikat för utbildning skulle hjälpa företag att förstå vilka färdigheter och kompetenser en student har förvärvat, var som helst i Europa. Att definiera nya kriterier som är relevanta för industri 4.0 skulle höja utbildningsnivån över hela Europa och successivt öka den europeiska konkurrenskraften i den nationella industrisektorn.

Ett exempel som visar hur dessa kriterier kan ske:



EXAM 4.0 Education enviroment

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

Figure 31 *Criteria for LABs* (EXAM 4.0)



Referenser

- Abele, Eberhard; Chrysosouris, George; ElMaraghy, Hoda; Hummel, Vera; Metternich, Joachim; Ranz, Fabian; Sihn, Wilfried and Tisch, Michael. (2015a). Learning Factories for Research, Education, and Training. *5th Conference on Learning Factories*. Elsevier B.V, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.187> (gathered 2020-09-10).
- Abele, Eberhard; Hummel, Vera; Metternich, Joachim; Ranz, Fabian and Tisch, Michael. (2015b). *Learning Factory Morphology – Study Of Form And Structure Of An Innovative Learning Approach In The Manufacturing Domain*. The Turkish Online Journal of Educational Technology.
https://www.researchgate.net/publication/281344323_Learning_Factory_Morphology_-_Study_Of_Form_And_Structure_Of_An_Innovative_Learning_Approach_In_The_Manufacturing_Domain (gathered 2020-09-07).
- Abele, Eberhard; Metternich, Joachim; and 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> (gathered 2020-08-28).
- Alves, A.C; Pereira, A.C and 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*. (gathered 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 working paper series: Vol. 5698*. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research.
- Bilberg, A; Bogers, M; Madsen, E.S and Radziwon, A. (2014). *Procedia Eng.*, 69 1184–1190 (gathered 2020-10-17).
- Buchner, Tilman; Knizek, Claudio; Kuhlmann, Kristian; Küpper, Daniel; Lorenz, Markus; Lässig, Ralph and Maue, Andreas. (2019). *Advanced Robotics in the Factory of the Future*. BCG Innovation Center, Germany.
<https://www.bcg.com/publications/2019/advanced-robotics-factory-future> (gathered 2020-10-17).
- Buck Institute for Education. (n.d). *What is PBL?*. <https://www.pblworks.org/what-is-pbl> (gathered 2020-09-28).
- Burnaby schools. (2020). *RESPONSIBILITIES OF STUDENT*. <https://burnabyschools.ca/responsibilities-of-students/>. (gathered 2020-10-15).
- CECIMO. (2013) The European machine tool industry's Manifesto on skills.
- CEDEFOP. (2010). *Skills supply and demand in Europe: Medium-term forecast up to 2020*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Cherry, Kendra. (2020). *The Experiential Learning Theory of David Kolb*. <https://www.verywellmind.com/experiential-learning-2795154> (gathered 2020-09-29).
- Duch, B. J., Groh, S. E and Allen, D. E. (Eds.). (2001). *The power of problem-based learning*. Sterling
- Epicor. 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/>. (gathered 2020-10-15).
- Eurostat. (2016). Manufacturing statistics - NACE Rev. 2: Relative importance of manufacturing (NACE Section C), 2013 (% share of value added and employment in the non-financial business economy total). Retrieved from http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Manufacturing_statistics_-_NACE_Rev._2.
- FESTO (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 and 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> (gathered 2020-08-26).

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

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

Grzybowska, Katarzyna, and 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 (gathered 2020-08-27).

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

Hanushek, E. A., and 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 and Wahlster, W. (2013). *Securing the Future of German Manufacturing Industry: Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0*, München, 2013 (gathered 2020-10-17).

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

Härtig, R.-C; Jozinović, P; Möhring, M; Neumaier, P; Reichstein, C and Schmidt, R. (2015). International Conference on Business Information Systems. 16–27. (gathered 2020-10-17).

Impuls Foundation (2019) “Impuls compact: Engineers for Industrie 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/> (gathered 2020-10-15).

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

Kienegger, Harald; Knigge, Marlene; Krcmar, Helmut and Prifti, Loina. (2017). *A Competency Model for "Industrie 4.0" Employees: 13th International Conference on Wirtschaftsinformatik*. St. Gallen, Switzerland February 12-15, 2017. https://www.researchgate.net/publication/314391765_A_Competency_Model_for_Industrie_40_Employees (gathered 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/> (gathered 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/> (gathered 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> (gathered 2020-10-15).

Kreimeier, Dieter. (2016). *Die LPS Lernfabrik Qualifizierung in einem realitätsnahen Fabrikumfeld*. Ruhr-Universität Bochum. [PowerPoint slides]. https://www.uni-siegen.de/smi/aktuelles/20161115_lps_lernfabrik_praesentation_kreimeier.pdf (gathered 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/>. (gathered 2020-10-1).
- LAB Midwest. (2020). *How to Teach Industry 4.0 in 2020*. <https://www.youtube.com/watch?v=OhbDfAZ6JUc> (gathered 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> (gathered 2020-09-14).
- Lee, Hee Jang and 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. (gathered 2020-09-02).
- Leinweber S. Etappe 3: Kompetenzmanagement. In: Meifert MT, editor. *Strategische Personalentwicklung - Ein Programm in acht Etappen*. 3rd ed. Wiesbaden: Springer Fachmedien; 2013
- Linke, Rebecca. (2017). *Additive manufacturing, explained*. MIT management. <https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/additive-manufacturing-explained>. (gathered 2020-10-1).
- Loughborough University. (n.d). *About Additive Manufacturing*. <https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/vatphotopolymerisation/> (gathered 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>. (gathered 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/> (gathered 2020-10-09).
- Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg. (2019). *Lernfabriken 4.0 in Baden-Württemberg*. <https://wm.baden-wuerttemberg.de/de/innovation/schluesstechnologien/industrie-40/lernfabrik-40/> (gathered 2020-09-10).
- O'Sullivan, D., Rolstadås, A., and 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>. (gathered 2020-10-15).
- Pappas, Christopher. (2014). *Instructional Design Models and Theories: The Discovery Learning Model*. <https://elearningindustry.com/discovery-learning-model> (gathered 2020-09-29)
- Prince J. Michael and 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> (gathered 2020-10-17).
- PwC. (2016). *Skills for Key Enabling Technologies in Europe State-of-Play, Supply and Demand, Strategy, Recommendations and Sectoral Pilot*. Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs (European Commission). https://ec.europa.eu/growth/content/final-report-skills-key-enabling-technologies-europe-0_en (gathered 2020-08-26).
- PwC. (2020). *Skills for Industry Curriculum Guidelines 4.0 Future-proof education and training for manufacturing in Europe*. Executive Agency for Small and Medium-sized Enterprises (European Commission). <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/845051d4-4ed8-11ea-aece-01aa75ed71a1> (gathered 2020-09-05).
- QEC. (n.d). *Duties and Responsibilities of a Teacher*. <https://ntu.edu.pk/qec/duties-and-responsibilities-of-a-teacher/> (gathered 2020-10-15).
- Raji, R.S. (1994). *IEEE Spectr.* 31 (6) 49–55 (gathered 2020-10-17).



Rotherham A.J. and 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/> (gathered 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., and 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, England: ESRC Centre for Research on Innovation and Competition.

Thames, L., and 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/> (gathered 2020-09-28).

Throughput. (2019). *Smart Supply Chain Management: Why it is Important to Implement?* <https://throughput.world/blog/smart-supply-chain-management/> (gathered 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> (gathered 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> (gathered 2020-09-25).

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

Vulkov, Volen. N.d. *3d Printing Skills: Example Usage on Resumes, Skill Set & Top Keywords in 2020*. Enhancv. <https://enhancv.com/resume-skills/3d-printing/>. (gathered 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/> (gathered 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> (gathered 2020-10-17).

Zhong, R. Y; Xu, X; Klotz, E; and 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>

