



SAM
SECTOR SKILLS STRATEGY
IN ADDITIVE MANUFACTURING

Operativer Leitfaden zu Kontext und Schulungsinstrumenten

Projekt Nr. 601217-EPP-1-2018-1-BE-EPPKA2-SSA-B



Details zum Dokument

Lieferbare Nummer:	D3.3
Fälligkeitsdatum:	Juni 2023
Führende Organisation:	EC Nantes
Teilnehmende Organisationen:	LMS, Lortek, Ansys , EWF, LAK, Polimi
Rezensenten	Polimi, IMR
Datum der Überprüfung	Juni 2023
Sprache(n):	DE
Verbreitungsgrad:	Öffentlich

Inhalt

Inhalt.....	3
1 Zusammenfassung	5
2 Einführung	6
3 Derzeitiger Stand der Praxis und der Schulungsinstrumente in der Additiven Fertigung	7
3.1 Aktueller Stand der Lernkontexte in der Additiven Fertigung	7
3.1.1 Einführung	7
3.1.2 Chancen in Zeiten von COVID	10
3.1.3 Lernen im Klassenzimmer/ Präsenzlernen	11
3.1.4 Online-Lernen/Fernunterricht	15
3.1.5 Praktische Aktivitäten	18
3.1.6 AM-Qualifikation und Diplome	19
3.1.7 Betriebliche Ausbildung/ Training on the job und Praktikum im Unternehmen	20
3.1.8 Blended Learning	22
3.1.9 Überblick über die vorgestellten Lernkontexte	22
3.2 Aktueller Stand der Ausbildungstools in der Additiven Fertigung	23
3.2.1 Paradigma der Lehrfabrik	23
3.2.2 Lernspiele.....	25
3.2.3 Erweiterte Realität.....	26
3.2.4 Projektbasiertes Lernen.....	27
3.2.5 Fallstudien.....	29
3.2.6 Vorträge von AM-Experten.....	29
3.2.7 Simulationssoftware	30
3.2.8 Lehrvideos und Animationen.....	31
3.3 Überblick über die Lernwerkzeuge	31
3.4 Europäische AM-Projekte zur Unterstützung von AM-Lernen und -Ausbildung	34
4 SAM Operativer Leitfaden zu Kontext und Schulungsinstrumenten	35
4.1 Beispiele für Lernkontexte und Tools von SAM-Partnern.....	35
4.1.1 LORTEK.....	35
4.1.2 LZH Laser Akademie GmbH.....	39
4.1.3 Irisch Manufacturing Research (IMR)	40
4.1.4 IDONIAL.....	41
4.1.5 Lernsoftware - Granta EduPack	41
4.2 Meta-Analyse der im Rahmen des SAM-Projekts durchgeführten Pilotstudien und Erhebungen	43
4.2.1 Pilotstudien.....	43

4.2.2	Systematische Analyse.....	45
4.2.3	Erhebungen.....	55
4.2.4	Schlussfolgerungen der Meta-Analyse	56
5	Verabschiedete Empfehlungen für den Kontext und die Instrumente der AM-Ausbildung.	60
6	Schlussfolgerungen.....	62
7	Referenzen.....	64
8	Glossar	65
ANHANG 1: GLOSSAR DER BEGRIFFE ZUM LERNKONTEXT UND ZU DEN LERNMITTELN.....		65

1 Zusammenfassung

Das Projekt SAM (Sector Skills Strategy in Additive Manufacturing) zielt darauf ab, gemeinsam mit allen Partnern und Interessengruppen eine gemeinsame Vision und abgestimmte Qualifikationslösungen zu entwickeln, die das Wachstum, die Innovation und die Wettbewerbsfähigkeit im Sektor der additiven Fertigung (AM) fördern und unterstützen.

Das Arbeitspaket (AP) 3 besteht aus drei Teilergebnissen (Abbildung 1), die die Methodik für die Erstellung und Überarbeitung von Berufsprofilen, Qualifikationen und Einheiten von Lernergebnissen festlegen. Dieses Arbeitspaket berichtet über den dritten Teil der im Arbeitspaket 3 geleisteten Arbeit und folgt der vorgeschlagenen Methodik für die Erstellung und Überarbeitung von Berufsprofilen (D3.1) und den Kits und Vorlagen zur Anwendung dieser Methodik (D3.2).

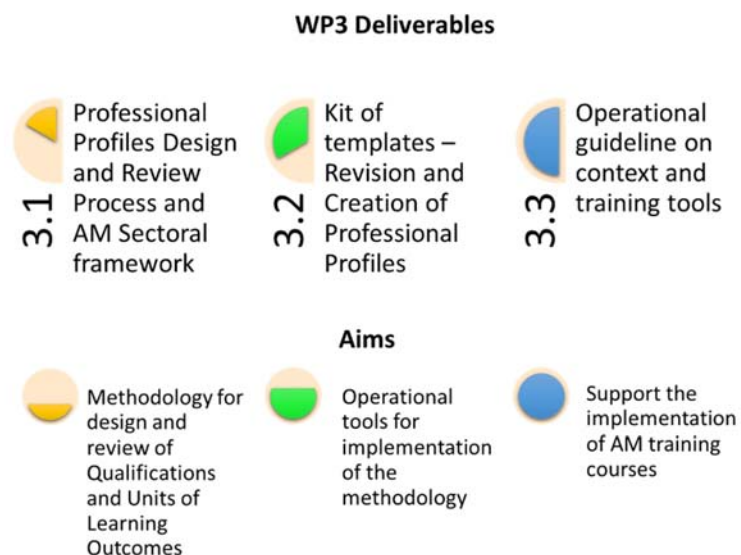


Abbildung 1: Übersicht über die WP3-Ergebnisse

Der Hauptbeitrag dieses Dokuments besteht darin, Ausbildungskontexte und Ausbildungsinstrumente zu erfassen und zu bewerten, die den Lernergebnissen von Qualifikationen entsprechen. Der Lernkontext ist definiert als die Situation, in der Lernen oder Verstehen stattfindet. Schulungsinstrumente sind alle Programme, Plattformen oder Vorlagen, die den Ausbildern dabei helfen, ihre Schulungen an die Lernenden weiterzugeben. Im Jahr 2008 definierte der EQR Lernergebnisse als Aussagen darüber, was ein Lernender weiß, versteht und in der Lage ist zu tun, wenn er einen Lernprozess abgeschlossen hat, der in Form von Wissen, Fertigkeiten und Kompetenz definiert werden kann. Dies kann für die Beurteilung und Bewertung des Wissens besonders wichtig sein. Im Falle des SAM-Projekts werden die Lernergebnisse als Fähigkeiten und Kenntnisse definiert. Zur Beschreibung der Kenntnisse und Fähigkeiten wird häufig die Blooms Taxonomie verwendet. Bei diesem Modell handelt es sich um ein hierarchisches Modell, das die Lernziele in verschiedene Komplexitätsstufen einteilt, von Grundkenntnissen und Verständnis bis hin zu fortgeschrittener Bewertung und Erstellung.

Dieses Dokument enthält eine Liste und eine Beschreibung der in der AM-Ausbildung verwendeten Lernkontexte und Trainingswerkzeuge. Für jeden Ausbildungskontext/jedes Werkzeug gibt es eine Beschreibung seiner "Vorteile", "Einschränkungen" und "Empfehlungen für den Einsatz in der AM-Ausbildung", die einen guten Einblick geben, wie gut jeder Kontext/jedes Werkzeug zur AM-Ausbildung/Lehre beitragen kann. Darüber hinaus profitiert der Leitfaden von den Daten, die im Rahmen der Umfrage bei den Ausbildungszentren gesammelt wurden, um den Status der verlangten Fähigkeiten, namentlich der digitalen und grünen Fähigkeiten, die in den bestehenden AM-Kursen gelehrt werden, aufzuzeigen. Schließlich werden im letzten Abschnitt einige Beispiele für Ausbildungs- und Lernwerkzeuge von SAM-Partnern vorgestellt, die die Ergebnisse der Dokumentenanalyse, die in den vorherigen Abschnitten erörtert wurde, unterstützen.

Die letzte Fassung dieses Projektergebnisses (Nummer 3) enthält zusätzliche Ergebnisse der Meta-Analyse, die mit den Daten aus Pilotstudien und Umfragen durchgeführt wurde, die von den Partnern während der ersten drei Jahre des SAM-Projekts durchgeführt wurden. Sie enthält auch die Schlussfolgerungen der Meta-Analyse und bietet ein ganzheitliches Bild der Schulungskontexte und -instrumente, die aus der Pilot- und Umfrageanalyse abgeleitet wurden, sowie eine Interpretation der am häufigsten verwendeten Schulungsinstrumente für bestimmte Qualifikationsanforderungen. Der letzte Abschnitt dieses aktualisierten Dokuments enthält eine Reihe von Empfehlungen für Ausbildungskontexte und -werkzeuge für die additive Fertigung, die mit Experten und industriellen Interessenvertretern in einem Workshop am 21. April 2022 diskutiert wurden. Die ermittelten Empfehlungen wurden in einer weiteren Sitzung während des 8. Arbeitstreffens des SAM-Projekts im Mai 2022 validiert.

2 Einführung

Laut SmarTech Publishing, einem führenden 3D-Druck-Analyseunternehmen, hatte der globale AM-Markt 2018 einen Wert von 9,3 Milliarden US-Dollar und wuchs damit im Vergleich zum Vorjahr um 18 %. (1) (Der Eigentümer von 3DPrint.com, 3DR Holdings, hat eine Beteiligung an SmarTech Markets Publishing erworben, dem führenden Unternehmen für Branchenanalysen im Bereich der additiven Fertigung. SmarTech Publishing ist das einzige Unternehmen, das detaillierte Marktanalysen für die 3D-Druck-/Additive Manufacturing-Branche anbietet). Darüber hinaus hat Deloitte in einer kürzlich veröffentlichten Studie festgestellt, dass die Branche noch schneller wächst und dass der weltweite AM-Markt bis zum Jahr 2020 voraussichtlich einen Umsatz von über 21 Milliarden Dollar erzielen wird. (2) Gleichzeitig stellte die Society of Manufacturing Engineers (SME) fest, dass neun von zehn Herstellern Schwierigkeiten haben bei der Rekrutierung der richtigen Mitarbeiter. (3) Daher sind die AM-Ausbildung und Berufsausbildung dringend erforderlich, um das Wachstum der AM-Industrie zu ermöglichen.

Im Anschluss an die Arbeiten, die in den vorangegangenen Aufgaben dieses Arbeitspakets durchgeführt wurden, zu denen die Definition einer Methodik zur Entwicklung und Überprüfung von Berufsprofilen in der Additiven Fertigung (AM) gehört, bietet dieser Leitfaden einen Überblick über Ausbildungskontexte und -werkzeuge, die es den Beteiligten ermöglichen, die Berufsprofile in einem realen Szenario umzusetzen. Der Schwerpunkt liegt auf den spezifischen Lern-/Lehrkontexten, die gut zu AM-Bildungs-/Ausbildungsprogrammen passen, sowie auf den Ausbildungsinstrumenten, die Auszubildende/Lernende dabei unterstützen, bestimmte Lernergebnisse zu erzielen.

Dieser Leitfaden liefert zusammen mit D3.1 und D3.2 einen Werkzeugkasten, der die Methodik für die Erstellung und Überarbeitung des Berufsprofils, ein Set von Vorlagen für die Anwendung dieser Methodik und eine Karte des Ausbildungskontextes/der Werkzeuge enthält, die es WP5 und WP6 ermöglichen, bei der Durchführung von Pilotkursen einen weiteren Schritt voranzukommen.

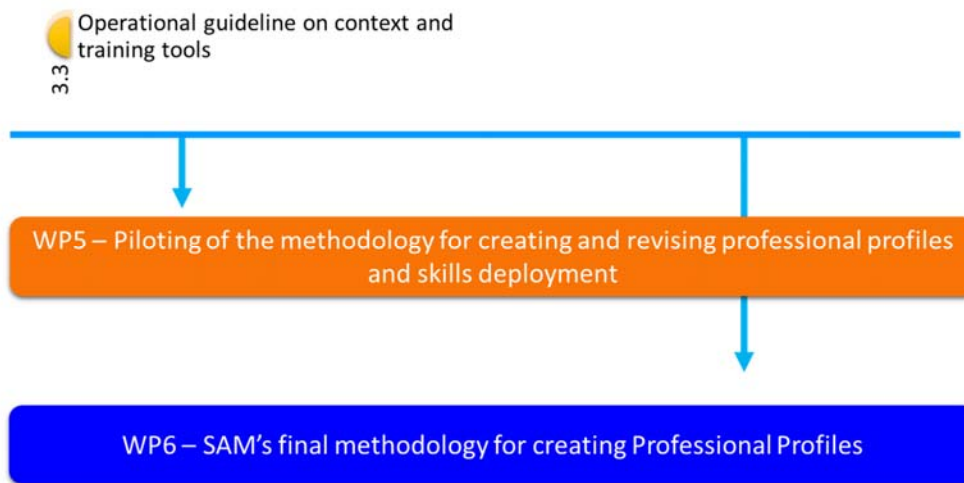


Abbildung 2: Interaktionsfluss zwischen D3.3 und den übrigen Projektergebnissen

Um die Verfügbarkeit spezifischer AM-Lern- und Lehrkontexte umfassend zu erforschen, zielt das Dokument darauf ab, den aktuellen Stand der verfügbaren Lernkontexte und Ausbildungsinstrumente im Bereich AM zu untersuchen. Dementsprechend ist die Übersicht in zwei Hauptabschnitte unterteilt, die sich auf Lernkontexte (Abschnitt 3) bzw. Lernwerkzeuge (Abschnitt 4) konzentrieren. Am Ende jedes Abschnitts wird ein Überblick über die positiven und negativen Aspekte des jeweiligen Kontexts bzw. Instruments gegeben. In Abschnitt 5 wird ein Überblick über die verschiedenen relevanten europäischen Initiativen zur Bildung in AM gegeben. Schließlich werden in Abschnitt 6 die direkten Erfahrungen der SAM-Partner beschrieben, die als führende Organisationen im europäischen AM-Bereich angesehen werden können.

3 Derzeitiger Stand der Praxis und der Schulungsinstrumente in der Additiven Fertigung

Um die Bedeutung des Inhalts der folgenden Abschnitte (3.1 und 3.2) zu verdeutlichen, wurde in Anhang 1 (Seite 65) ein Glossar mit Begriffen zum Lernkontext und zu den Lernmitteln aufgenommen.

3.1 Aktueller Stand der Lernkontexte in der Additiven Fertigung

3.1.1 Einführung

AM ist einer der vielversprechendsten und am schnellsten wachsenden Bereiche in Fertigung und Technik. Die Qualifikationen entwickeln sich über die technischen Kompetenzen hinaus und umfassen auch einige andere Arten von Fähigkeiten, die in WP2 genauer klassifiziert und diskutiert werden. Darüber hinaus zeigt die Analyse bestehender Bildungs-/Ausbildungsprogramme im Bereich AM, dass die meisten von ihnen nicht nur auf einen einzigen Lernkontext ausgerichtet sind, sondern vielmehr aus einer Kombination von Lernkontexten bestehen. Sie wird nun auf verschiedene Bereiche ausgeweitet. Daher wird AM als ein multidisziplinäres Gebiet betrachtet, das in den Aus- und Weiterbildungsprogrammen angemessen behandelt werden sollte, ohne dabei die zugrunde liegenden Wurzeln des Maschinenbaus und der Werkstofftechnik zu vergessen.

Trotz des starken industriellen Wachstums ist die AM-Ausbildung an den Hochschulen derzeit stark unterrepräsentiert und wird als Nebenfach in den Lehrplänen der Ingenieurwissenschaften angesehen. An den

meisten Universitäten wird das Thema AM mit Einführungskursen und angewandten Workshops angegangen, um die Möglichkeiten von AM in der Fertigung und in der Designfreiheit zu demonstrieren.

Ein Beispiel für einen gut entwickelten Kurs in AM ist der Lehrransatz am Massachusetts Institute of Technology (MIT) für Ingenieurstudenten, der sich von dem für Auszubildende in der Industrie unterscheidet: Für Ingenieurstudenten in den letzten Jahren des Undergraduate- und Uppergraduate-Studiums ist die AM-Ausbildung ein pädagogisches Dreieck (die drei grundlegenden Lernwerkzeuge), das aus Unterrichtssitzungen, einer Reihe von Laborübungen und realen Fallprojekten besteht. Der Kurs beginnt mit den Vorlesungen, um eine Grundlage für das Verständnis von AM und den damit verbundenen Prozessen zu schaffen. Nach der Einführung ermöglichen die Vorlesungen und Laborsitzungen den Studenten, sowohl das Lernen als auch die Anwendung zu erleben, so dass die Studenten gleichzeitig lernen und üben können. So wird beispielsweise das FDM-Verfahren (Fused Deposition Modelling) in der Klasse gelehrt, und die Studententeams werden mit Übungen zum Verfahren betraut, einschließlich der Vorbereitenden Arbeiten (Arbeit mit einer Software für das Teiledesign), des Druckens (Einsatz und Beobachtung der Druckmaschinenfunktionalität), der Nachbearbeitung und der Qualitäts-Prüfung. Der nächste Schritt ist eine individuelle Projektaufgabe. Jeder Studierende erhält den Auftrag, ein Teil zu entwerfen und/oder zusammensetzen, damit er/sie praktische Erfahrungen im Umgang mit den Einschränkungen und Eigenschaften des gewählten AM-Prozesses sammeln kann. Diese problemzentrierte Methode ermöglicht es den Studierenden, proaktiv zu werden und zu lernen, wie man Probleme untersucht und welche Kompetenzen zu deren Lösung erforderlich sind. Danach sind die Schüler in der Lage, auf der Grundlage ihres Verständnisses und der verfügbaren Ressourcen das am besten geeignete AM-Verfahren auszuwählen, um die Aufgabe zu lösen. Die Schüler werden mit realen Problemen konfrontiert, die ihr Wissen und ihre Fähigkeiten verbessern werden. Es beseitigt die Unzulänglichkeiten einiger konventioneller Methoden, die sich darauf konzentrieren, den Schülern spezifische Informationen zu geben und sie zu bitten, eine Aufgabe auf der Grundlage der gegebenen Informationen zu lösen.

Ein weiteres Beispiel ist die Fakultät für Maschinenbau des Politecnico di Milano, wo sowohl Studiengänge mit dem Abschluß Master of Science (MSc) als auch Berufsausbildungen angeboten werden. Zwei Beispiele für MSc-Kurse zum Thema AM sind ein Kurs zur additiven Fertigung, der für verschiedene Fachrichtungen angeboten wird (Maschinenbau, Automatisierungstechnik, Wirtschaftsingenieurwesen, Design) (4) und der Kurs Additive Manufacturing for Space and Aerospace für Studierende des Maschinenbaus und des Wirtschaftsingenieurwesens, der auch für Doktoranden offen ist (5). Diese Kurse basieren auf einer Mischung aus Vorlesungen, Diskussion von Fallstudien, Erfahrungsberichten aus der Industrie, Übungen im Unterricht, Laboraktivitäten sowie Schulungen am Computer, durch Design, spezielle Programme für AM usw. In den Labors können die Studenten praktische Kenntnisse über spezifische AM-Probleme und deren virtuelle Darstellung erwerben.

Forscher und Fakultäten des Politecnico di Milano sind auch an verschiedenen Ausbildungsprogrammen für AM beteiligt, die sich an Fachleute richten. Einige Beispiele sind: 1) Master Additive Manufacturing, Mailand, organisiert von der MIP Graduate School of Business - Management Academy, Politecnico di Milano, 2) Metal Additive Manufacturing - Scenario Research and Industrial Experience, organisiert vom International Centre for Mechanical Sciences, Università di Udine, 3) Master Bosch Industry 4.0, organisiert von Cefriel, Politecnico di Milano für Bosch Italia, 4) Master Progetto Formativo Additive Manufacturing Advanced, organisiert von Confindustria Firenze Formazione für Baker Hughes, a GE Company, 5) Master Additive Manufacturing, organisiert von Rina Consulting. Diese Kurse basieren auf einer Mischung aus Vorlesungen, Laborbesuchen und Laboraktivitäten, je nach Hintergrund und Wissensstand der Teilnehmer. In den folgenden Abschnitten werden Beispiele für Lernkontexte und Schulungsinstrumente im Zusammenhang mit diesen Kursen erörtert.

Im Rahmen des SAM-Projekts werden als "reale" Szenarien zertifizierte Pilot-Qualifizierungskurse, die von der EWF (einem Hauptpartner des SAM-Projekts) angeboten werden, neu entwickelt oder ausgebaut. Welche Qualifikationen

entwickelt werden, wird aus den verschiedenen Umfragen ausgewählt, die zweimal im Jahr an die Industrie, die Ausbildungszentren und die Arbeitskräfte verschickt werden. Daraus werden die Qualifikationen ausgewählt, die am meisten nachgefragt werden und von den verschiedenen Partnern unter realen Bedingungen erprobt werden sollen. Daher wird den Partnern empfohlen, sich so genau wie möglich an die Struktur, die Kompetenzeinheiten und die Detailkenntnisse zu halten.

Um die Anwendbarkeit und die Umsetzung dieser Pilotszenarien zu testen, wurde im Laufe des Projekts eine Reihe von Sitzungen durchgeführt, die sich jedes Mal auf andere CUs konzentrierten.

Die 1st Pilotphase fand Ende 2020/Anfang 2021 statt, wobei der Schwerpunkt auf den CUs lag:

Kompetenzzentrum	Stunden /Modus	Partner
00 AM Übersicht	5 / Präsenz	Lortek
01 DED-Bogenverfahren	42 / Präsenz	AITIIP
08 DED-LB-Prozess	15 / Online	FA
15 PBF-LB-Verfahren	27/ Online	IMR
25 Nachbearbeitungsmethoden für AM-Teile	Online	LMS
26 Einführung in die Materialien	Online	UBRUN Ansys
27 AM mit Stahlvormaterial	Online	EPMA
30 Additive Fertigung mit Nickel als Ausgangsmaterial	7/ Online	EPMA
31 AM für Titan	11/ Präsenz	Lortek
34 Prozessauswahl	20 / Online	EC Nantes
35 Integration des AM-Prozesses	21/ Präsenz	AITIIP
36 Koordinierung von AM	7/ Online	MTC
43 Herstellung von PBF-LB-Teilen	18/ Online	POLIMI
44 Konformität der PBF-LB-Teile	20/ Online	POLIMI
45 Konformität von Einrichtungen mit PBF-LB	14/ Online	ISQ
61 Simulationsanalyse	20 / Online	IDONIAL
62 AM Simulationsdurchführung	44/ Online	Ansys

Die 2nd Pilotphase fand im Sommer 2021 statt, wobei die CUs im Mittelpunkt standen:

Kompetenzzentrum	Stunden /Modus	Partner
63 Zertifizierung, Qualifizierung und Standardisierung in der additiven Fertigung (CQS)	7/ Online	IMR & MTC
63 Zertifizierung, Qualifizierung und Standardisierung in der additiven Fertigung (CQS)	7 / Online	LORTEK
64 Business für AM	17 / Online	EC Nantes
65 - Überblick über Polymer-Werkstoffe und Eigenschaften	Online	ISQ
65 - Überblick über Polymer-Werkstoffe und Eigenschaften	Online	UBRUN und Ansys
66 - Gestaltung von AM-Teilen aus Polymeren	Online	MTC &AITIIP
67 - Nachbearbeitung für Polymere	7 / Präsenz	LAK
68 - Design für die Materialextrusion	Online	FA
68 - Design für die Materialextrusion	Online	LMS
69 - Entwurf für PBF Polymer	Online	LMS & AITTIP

Die Pilotierung mündete in der Durchführung der Qualifizierung von Metall-AM-Koordinatoren (Okt. 2022-Mai 2023).

Kompetenzzentrum	Stunden /Modus	Partner
00 - Additiver Fertigungsprozess - Überblick	3.5 / Online	ISQ
01: DED-Bogenverfahren	35 / Online	MTC & LORTEK
08- DED-LB Prozess	28/ Online	MTC
15- PBF-LB-Verfahren	28/ Online	IMR
25- Nachbearbeitung	10.5/ Online	LMS
34- Prozessauswahl	24,5/ Online	EG NANTES
35- Metall-AM-Integration	17,5/ Online	IDONIAL
36- Koordinierungstätigkeiten	7/ Online	MTC
72- Metallbinder-Jetting-Verfahren	21/ Online	POLIMI & MTC

3.1.2 Chancen in Zeiten von COVID

Die Coronavirus-Pandemie (Covid-19) hat sich auf den Bildungsbereich ausgewirkt, vor allem durch die weitgehende Aussetzung des Präsenzbetriebs in Bildungseinrichtungen in über 190 Ländern, um die Ausbreitung des Virus zu begrenzen und seine Auswirkungen zu verringern. Die Industrie und die Bildungseinrichtungen konnten die Entwicklung ihrer Fähigkeiten nicht unterbrechen, so dass sehr schnell Lösungen gefunden werden mussten. Mit den durch die Pandemie verursachten Schwierigkeiten ergaben sich aber auch Chancen.

Vor Covid-19 waren digitale und virtuelle Lernprogramme auf dem Vormarsch, und wir beobachten jetzt eine deutliche Zunahme solcher Lernprogramme, die vielen jüngeren Auszubildende gefallen. Man könnte sagen, dass die verbesserten Lernfähigkeiten, die sich aus der Pandemie ergeben haben, sich langfristig als günstig erweisen könnten. Die Best-Practice-Aktivitäten, die von dringenden und taktischen bis hin zu strategischen Maßnahmen reichen, können dazu beitragen, dass Lernprogramme am Arbeitsplatz ihre Dynamik und ihren Nutzen aufrechterhalten und gleichzeitig eine neue Grundlage für effektives virtuelles und kombiniertes Lernen neben der herkömmlichen Präsenzschiung schaffen. Beispiele für diese Maßnahmen sind die Einrichtung eines Lernteams, die Betreuung der Teilnehmer in persönlichen Programmen, die Unterstützung des digitalen Lernens, die Erprobung alternativer digitaler Methoden und das Üben und Vorbereiten auf unterschiedliche Situationen.

Covid-19 hat sowohl für die Lernenden als auch für die Ausbilder, die ihre Ausbildungsmethoden anpassen mussten, um menschliche Nähe zu vermeiden, innovative Herausforderungen (und damit Chancen) geschaffen. Die Ausbilder experimentieren nun verstärkt mit virtuellem Lernen und setzen neue Technologien wie Augmented- und Virtual-Reality-Umgebungen ein, um diesem Problem zu begegnen. Als Beispiel könnte man anführen, dass die Ausbildung in der Fertigung am besten ist, wenn sie praxisnah ist, so dass es für die Ausbildungsanbieter von entscheidender Bedeutung sein wird, innovative Wege zu finden, um das gleiche Lehrniveau aufrechtzuerhalten, selbst angesichts der Krise. Da die Fertigung immer ausgeklügelter und digitaler wird, da die Unternehmen die Technologien übernehmen (siehe ‚Virtual Reality Market Share & Trends Report, 2021-2028‘ (grandviewresearch.com) und ‚The Impact and Potential of Virtual Reality Training in High-Consequence Industries‘ (trainingmag.com)), müssen sie auf dem neuesten Stand bleiben. Dies wird durch den Aufstieg von Industrie 4.0 und dem industriellen Internet der Dinge (IoT) deutlich.

Es wurden bestimmte Trends festgestellt. So hat sich, neben der akademischen Ausbildung, den Bildungsprogrammen und der Bewertung, die Aufrechterhaltung der Motivation der Auszubildenden als

entscheidende Notwendigkeit während der Pandemiezeit herausgestellt. Auch die Weiterbildung und Neuqualifizierung muss sofort beginnen, damit die Unternehmen für die Zukunft bestens gerüstet sind. Lernmanagementsysteme (LMS) erleichtern die Verbindung mit den Auszubildenden aus der Ferne und zu jeder Zeit, indem sie Lerninhalte online bereitstellen. Sie bieten jedoch nicht immer einen Bewertungsbereich. Moodle ist beispielsweise eine Online-Lernplattform, auf der MCQ-Prüfungen abgelegt und bewertet werden können. Sie bieten zwar Quiz und automatische Bewertung, aber sie sind nicht ausreichend, wenn es um Fähigkeiten und Kompetenzen geht. Wie bereits erwähnt, sind Online- und Blended-Learning-Tools zwar nicht neu, aber die Covid-19-Pandemie hat sie in den Vordergrund gerückt. Auch für Menschen, die gerade ihren Arbeitsplatz verloren haben, ist die Umschulung und Höherqualifizierung von entscheidender Bedeutung geworden. Flexible, leicht zu absolvierende und branchenrelevante Kurse sind sehr gefragt.

Und schließlich sind Mikrozertifikate eine beliebte Option geworden. Diese häppchenweisen zugeschnittenen Kurse, die als Mikro-Learning bekannt sind, können durch Aufschlüsselung einer Kompetenzeinheit aufgebaut werden und von einer Berufsorganisation vollständig anerkannt und bestätigt werden. Diese Art des Lernens kommt bei den Lernenden gut an, weil sie sich so auf die von ihnen gewünschten spezifischen Fähigkeiten konzentrieren und diese erwerben können. Dies hilft den Lernenden, ihre Fähigkeiten zu verbessern und in der sich schnell verändernden Industrie auf dem neuesten Stand zu bleiben. Aufgrund dieser Faktoren wird prognostiziert, dass das Mikro-Lernen weiterhin sehr gefragt sein wird.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass künftige Studenten mehr Flexibilität beim Zugang zur Ausbildung wünschen. Dies kann entweder von den Arbeitgebern in Form einer berufsbegleitenden, formalisierten Ausbildung mit anerkannter Zertifizierung unterstützt werden oder als unabhängige Ausbildungsoption, die weder zeitlich noch finanziell eine Herausforderung darstellt (beispielsweise machten Teilzeitstudenten im letzten Jahr 81 % der 4,2 Millionen Berufsbildungsstudenten in Australien aus). Die Erwartungen der Lernenden haben sich geändert, und die Präferenzen der Lernenden umfassen Online-Lernen, Präsenzunterricht oder Blended Learning (Blended Learning ist ein kombinierter Ansatz für die Bereitstellung von Bildungsangeboten, bei dem Fern- oder Fernzugangssitzungen mit herkömmlichen, persönlichen Kontaktstunden kombiniert werden). Die durch die Online-Bereitstellung gewährte Freiheit ermöglicht es, dass die Bewertung zugänglich, mobil, flexibel und leicht anpassbar ist. Im Allgemeinen können sich die Auszubildenden/Studenten überall dort aufhalten, wo die Technologie zur Verfügung steht, z. B. im Klassenzimmer, in der Bibliothek, am Arbeitsplatz oder sogar zu Hause. Schließlich ist es wichtig zu erwähnen, dass es auf nationaler und internationaler Ebene Finanzierungsmöglichkeiten gibt, um die Digitalisierung von Organisationen und Unternehmen durch die Verbesserung der vorhandenen technologischen Ausstattung zu fördern, und Anreize für die Hochschulbildung zu bieten.

3.1.3 Lernen im Klassenzimmer/ Präsenzlernen

Das Lernen im Klassenzimmer ist Präsenzlernen. Die Lernumgebung wird innerhalb der physischen Wände eines Klassenzimmers geschaffen, in dem sich Schüler und Lehrer aufhalten. Darüber hinaus werden diese Klassen klassifiziert als:

- **Vorlesung:** Eine Form des Präsenzunterrichts, bei der der Lehrer über einen längeren Zeitraum über ein Thema spricht. Wenig Interaktion zwischen Lehrer und Schülern. Einseitige Methode¹.
- **Seminare:** Eine Form des Präsenzunterrichts, bei der die Studierenden abwechselnd ihren Beitrag zu einem Thema in der Klasse leisten. Die Studierenden diskutieren, was sie in der Vorlesung gelernt haben².
- **Workshop:** eine Art von Präsenzunterricht, ähnlich wie bei Seminaren, bei denen die Schüler sprechen und der Lehrer die Diskussion über ein bestimmtes Thema moderiert. Workshops beinhalten mehr interaktive

¹ <https://wintersession.uconn.edu/2020/11/05/online-vs-distance-learning-whats-the-difference/#>

² <https://www.studentassembly.org/seminar-vs-lecture-course-vs-class-terms-youll-need-to-survive-college/>

Übungen, um die Kommunikation zwischen den Teilnehmern zu fördern und können einen ganzen Tag oder mehrere Tage dauern¹.

In einer Umfrage, die im Rahmen des SAM-Projekts WP 4.3 durchgeführt wurde, gaben 58 % der Umfrageteilnehmer an, dass die Ausbildung in AM in einem Bildungszentrum stattfindet. Heute bieten viele Universitäten Teilzeit- und Vollzeit-Masterstudiengänge in AM an, die zwei Semester dauern. Diese umfassen häufig Gruppenprojekte, Einzelprojekte und eine Abschlussarbeit. Das meist zweisemestrige Masterstudium in AM kann in Vollzeit oder Teilzeit absolviert werden. Das Studium gliedert sich meist in Lehrmodule, Gruppenprojekte, Einzelprojekte und/oder die Abschlussarbeit.

Die Themen der **Lehrmodule** werden in Form von Vorlesungen und Tutorien im Klassenverband vermittelt. Die Anzahl der Kontaktstunden hängt weitgehend vom Thema des Moduls ab und variiert je nach Hochschule. Leitlinien für die Stundenzahl finden Sie in den von der EWF oder CLLAIM bereitgestellten Dokumenten (siehe Abschnitt 4). Die Bewertung der Lernergebnisse erfolgt in Form von schriftlichen Prüfungen, Fallstudien, Aufsätzen, Präsentationen und Tests. Die meisten Universitäten, die Abschlüsse oder Masterstudiengänge anbieten, haben AM-Maschinen in ihren Lehlabor.

In **Gruppenprojekten** arbeiten die Studenten zusammen, um industrielle Probleme zu lösen, die von der Kursleitung vorgegeben werden. Das Projekt wendet technisches Wissen an und bietet ein Training in Teamarbeit und die Möglichkeit, nicht-technische Aspekte des Lehrprogramms zu entwickeln. Die Projekte werden oft von externen Organisationen unterstützt und stellen reale Szenarien dar.

Die **einzelnen Projekte** werden ebenfalls in Absprache mit dem Kursleiter ausgewählt. Der Student kann eigenständige Forschungsarbeit und Denkleistung demonstrieren.

Die multidisziplinären Aspekte, die mit AM verbunden sind, führen zu einer Mischung aus Schulungen zu theoretischen Aspekten und praktischen/handwerklichen Aktivitäten. Der Unterricht für MSc-Studenten zielt darauf ab, die AM-Prozesse und ihre Anwendungen vorzustellen und ihre technischen und geschäftsorientierten Auswirkungen für Designer, Ingenieure, "Macher" und andere mögliche Nutzer dieser fortschrittlichen Fertigungstechnologie zu diskutieren.

Die Themen, die im Rahmen des Kurses MSc Additive Manufacturing am Politecnico di Milano behandelt werden, sind zum Beispiel:

- **Einführung.** Schicht-für-Schicht-Prinzip. Vorteile und Grenzen von AM. Historische Entwicklung der AM-Technologie. Allgemeine AM-Prozesskette. Materialien und industrielle Anwendungen: Rapid Prototyping, Rapid Tooling, direkte digitale Fertigung. Prozessauswahl, Marktverfügbarkeit und Trends, Geschäftsmöglichkeiten.
- **AM-Technologie: Polymere.** Beschreibung und Modellierung der wichtigsten AM-Prozesse für Polymere. Maschinen, Softwarefragen, Nachbearbeitung, Design für Polymer-AM.
- **AM-Technologie: Metalle.** Beschreibung und Modellierung der wichtigsten AM-Prozesse für Metalle. Maschinen, Softwarefragen, Nachbearbeitung, Design für Metall-AM.
- **AM-Produktprüfung.** Der Bedarf an Präzisionsmetrologie. Dimensionale und geometrische Metrologie für AM: Grenzen taktiler und optischer Messsysteme; volumenbasierte Messsysteme: 3D-Röntgen-Computertomographie. Messung der Oberflächentopografie (taktile, optische oder andere Analysemethoden).

- **Überwachung des AM-Prozesses.** Die Notwendigkeit einer präzisen Verarbeitung. Inline-Überwachung für AM: Messung von Prozessvariablen, Überwachungsansätze, Sensoren und Datenzusammenfassung.

Ein weiteres Beispiel für Präsenzunterricht ist der Kurs "Additive Manufacturing for Space and Aerospace" am Politecnico di Milano. Der Unterricht zielt darauf ab, ein tiefes Verständnis aller aktuellen AM-Technologien zu vermitteln, die in der High-End-Industrie eingesetzt werden. Jedes Herstellungsverfahren für Metalle (konventionelle und nicht-konventionelle), Polymere, Verbundwerkstoffe, Keramik und Glas, lebende Zellen/menschliche Organe wird detailliert beschrieben. Jedes Verfahren wird im Hinblick auf seine Hauptanwendungen analysiert und es wird aufgezeigt, welches Verfahren die idealen Leistungsmerkmale aufweist und welche Vor- und Nachteile damit verbunden sind.

Der Kurs befasst sich anschließend mit allen derzeit offenen technischen Herausforderungen. Zum Beispiel Designaspekte und damit verbundene Designregeln für AM, Herausforderungen bei der Herstellung, die mit der Beschaffung und Kontrolle von Rohstoffen beginnen (Pulver-Screening-Methoden, Beschaffungsspezifikationen und Überprüfungsanforderungen). Für den Herstellungsprozess selbst, die Prozessstabilität und dessen Überwachung/Steuerung haben die meisten Universitäten, die eine Diplom- oder Masterausbildung anbieten, AM-Maschinen in ihren Lehlabors. Das Produkt spielt die Hauptrolle. Darüber hinaus werden die Wege zur Zulassung für die Luft- und Raumfahrt und zur Validierung behandelt. Schließlich wird die Standardisierung vorgestellt, um die Marktakzeptanz des 3D-Drucks zu erleichtern und sein Innovationspotenzial für die industrielle Wettbewerbsfähigkeit zu fördern. Schließlich gibt der Kurs einen Ausblick auf die zukünftigen Entwicklungen im Zusammenhang mit AM, einschließlich des 4D-Drucks und der Entwicklungen der Industrie 4.0.

Virtuelle Kurse sind in letzter Zeit aufgrund der Einschränkungen durch die Ausbreitung des Coronavirus zu einer Notwendigkeit geworden. Dies hat bereits dazu geführt, dass bestehende Kurse vorübergehend aus der Ferne angeboten werden müssen. Es wird erwartet, dass Covid-19 einen massiven Einfluss auf die zukünftige Ausbildung haben wird. Obwohl die Schulungsmethoden teilweise an die Fernunterrichtsplattformen angepasst wurden, wurden die Inhalte beibehalten. Es ist jedoch interessant, darauf hinzuweisen, dass diese kontextuelle Situation auch Diskussionen und das Verständnis für die Rolle der AM-Technologien bei der Bewältigung von Notsituationen und einer schnellen Nachfrage nach Produkten, die üblicherweise mit anderen Fertigungsmethoden hergestellt werden, eröffnete. Die Aufnahme dieser Diskussionen in die AM-Ausbildungskurse könnte das Potenzial haben, das Bewusstsein der Auszubildenden für die strategische Rolle der AM auf nationaler und internationaler Ebene zu stärken.

Die additive Fertigung wird sporadisch in den Klassenzimmern von Gymnasiasten und angehenden Ingenieuren gelehrt. Auf der Ebene des Ingenieurstudiums findet die AM-Ausbildung in Form von bestimmten Klassen als Teil eines breiteren Lehrplanprogramms statt. So hat beispielsweise Granta Design Ressourcen für die Lehre von Studenten und Doktoranden entwickelt, die sich auf traditionelle Kurse in Werkstofftechnik konzentrieren, aber AM als einen wachsenden Bereich für neue Ressourcen einschließen. Die vorgefertigten PowerPoint-Vortragseinheiten und die dazugehörigen Übungshefte werden im Lehrmittel HUB <https://grantadesign.com/education/teachingresources/> zur Verfügung gestellt.

Zur Veranschaulichung eines bestimmten Punktes können individuelle Diagramme zu den Materialeigenschaften erstellt und in PowerPoint kopiert oder als Projektdatei gespeichert und in der Software geöffnet werden, so dass das Diagramm während des Vortrags in Echtzeit mit Anmerkungen versehen werden kann. Die GRANTA EduPack Software wird auch als Grundlage für kurze, praktische Schülerübungen während der Unterrichtsstunden oder als "Hausaufgaben" verwendet. Die EduPack-Lehrmittel bieten solche Übungen. Die SchülerInnen können Materialien

untersuchen und Berichte oder Poster erstellen, um ihren Lernerfolg zu belegen. Die EduPack-Software ist an den meisten Universitäten in Europa, an denen Werkstofftechnik gelehrt wird, über campusweite Lizenzen erhältlich. Tabelle 2 gibt einen Überblick über den Inhalt der in das EduPack integrierten Lehreinheiten.

Tabelle 1. Zusammenfassung der Inhalte der Unterrichtseinheit, die das Erlernen der Grundsätze der AM-Technologien unterstützen.

AM-Prinzip	Inhalt Einheit
Allgemeine Grundsätze der AM-Technologien	Die schichtweise Natur
	Formgebende Verfahren (z. B. Schmelzen, Sintern)
	Nachbearbeitung
Entwurf für AM	Beschreibung der AM-Freiformbauweise im Vergleich zur konventionellen subtraktiven und anderen Umformtechniken
	AM Baubeschränkungen
	AM Herstellbarkeit und Designänderungen
	Topologie-Optimierung und generatives Design mit AM
AM in Serienproduktion	Skaleneffekte vs. Mass Customization
	AM - Mehrwert für die Produktion
	Additive Fertigung für die Phasen der Produktentwicklung und der Endproduktion

Eine Internetrecherche nach AM-Ausbildungskursen (Master und Bachelor) für verschiedene Organisationen in ganz Europa sowie nach industriellen Ausbildungskursen ergab, dass die folgenden Themen je nach Schwerpunktbereichen abgedeckt werden:

- AM-Verfahren für Metalle
- AM-Verfahren für Polymere
- Technische und wissenschaftliche Grundlagen von AM
- AM Materialien (Kunststoff/Metall)
- Druckstrategien
- Fertigungsqualität (Fehler, Normen, Verfahren, statistische Kontrolle)
- Prüfung der Qualitätsmerkmale
- AM Metallurgie (metallurgische Eigenschaften / endkonturnahe Fertigung)
- Nachbearbeitung bei AM - Grundsätze der Wärmebehandlung
- Entwurf für AM /CAD
- Finite-Elemente-Analyse

- Prozesssimulation / Modellierung in AM
- Software in AM
- Datensysteme in AM
- Wirkliche Umsetzung (Industrie 4.0)
- AM Systeme
- Automatisierung und Robotik
- kritisches Denken und Problemlösung
- Funktionsübergreifende Teamarbeit und Ideationstechniken zur Förderung der Kreativität

3.1.4 Online-Lernen/Fernunterricht

Eine im Rahmen des Arbeitspakets 4.3 des SAM-Projekts durchgeführte Erhebung ergab, dass der Anteil der Online-Ausbildung bei 27,4 % lag. Wie bereits in Abschnitt 2.2 erwähnt, wird jedoch aufgrund der Verbreitung von CoVid 19 und der Digitalisierung der allgemeinen und beruflichen Bildung ein stetiges Wachstum erwartet.

Das Online-Lernen wird gemeinhin als computerunterstütztes oder computergestütztes Lernen, interaktive Technologie und Fernunterricht bezeichnet. Der Bibliografie zufolge gibt es jedoch einen kleinen Unterschied zwischen Online-Lernen und Fernunterricht. Das Online-Lernen wird als Nicht-Live-Unterricht betrachtet. Von den Studierenden wird nicht erwartet, dass sie zu einer bestimmten Zeit oder an einem bestimmten Tag für den Unterricht der Lehrkraft³ zur Verfügung stehen. Die Studierenden haben Zugang zu einer virtuellen Lernumgebung (VLE) wie Moodle oder Dokeos. Die VLE dient als Kommunikationsmedium und interaktives Lernwerkzeug. Einige Einrichtungen bieten den Studierenden, die das Programm absolvieren, Unterstützung durch Tutoren an. Diese Tutoren können bei Bedarf per E-Mail oder Skype kontaktiert werden^{4,5,6}. Andererseits bedeutet Fernunterricht, dass die Studierenden Lehrmaterial (sowohl in gedruckter als auch in elektronischer Form) verwenden und von den Lehrkräften zu unterschiedlichen Zeiten Anweisungen erhalten. Dies kann in Echtzeit über Microsoft Teams, Blackboard Collaborate, Zoom und/oder ähnliche Alternativen oder zeitlich flexibel erfolgen. Von den Studierenden wird also erwartet, dass sie manchmal synchron für den Unterricht zur Verfügung stehen. Die Arbeiten der

³ <https://wintersession.uconn.edu/2020/11/05/online-vs-distance-learning-whats-the-difference/#>

⁴ <https://www.igi-global.com/dictionary/enhancing-student-agency-as-a-driver-of-inclusion-in-online-curriculum-pedagogy-and-learning-content/67168>

⁵ <https://www.thecriticalthinkingchild.com/the-difference-between-remote-learning-e-learning-distance-learning-and-at-home-schooling/>

⁶ Moore, J.L., et al., e-Learning, online learning, and distance learning environments: Sind sie dasselbe?, Internet und Hochschulbildung (2010), doi:10.1016/j.iheduc.2010.10.001

Studierenden werden von der Lehrkraft digital überprüft^{7,8,9}. Häufig sind auch Präsenzworkshops, Sommerschulen oder "Residentials" Teil des Studiengangs¹⁰.

Eine Form des Online-Lernens ist der virtuelle Workshop. Nach der Definition von Engineering Education Australia¹¹ handelt es sich bei einem virtuellen Workshop um eine strukturierte Live-Online-Klassenzimmer-Methode für die Ausbildung und berufliche Entwicklung. Virtuelle Workshops sind interaktiv und nutzen Hilfsmittel wie Gruppenräume für Diskussionen, Aktivitäten auf der Grundlage praktischer Fallstudien und wechselseitige Kommunikation. Virtuelle Workshops umfassen auch eine Reihe von Referenzmaterialien, die den Teilnehmern helfen, das Gelernte nach der Schulung in der Praxis anzuwenden, und können auch mit Vorlesen oder Selbststudiumselementen kombiniert werden, um den im Kurs behandelten Inhalt zu optimieren.

Online-Lernen und Fernunterricht lassen sich in verschiedene Bereiche unterteilen: universitäre Online-Kurse für Master-Studenten, frei zugängliche Online-Kurse, Online-Plattformen wie MOOC und Kurzurse für die Industrie. Kostenfreie Kurse bieten ein geringeres Informationsniveau und sind eher auf die breite Öffentlichkeit zugeschnitten. Masterstudiengänge, für die Studiengebühren erhoben werden, bieten vertieftes Wissen. Die meisten Universitäten, die Masterstudiengänge in AM anbieten, haben auch Programme im Angebot, die online absolviert werden können. Für Kurse, die online absolviert werden, ist jedoch unter Umständen noch eine Schulung vor Ort in Labors erforderlich. Die Kurse sind in verschiedene Module unterteilt, und es werden die gleichen Themen behandelt wie im Präsenzunterricht. Je nach Art des Online-Lernens werden unterschiedliche Lernansätze angewandt. Faktenbasiertes Lernen wird meist in Einführungskursen und kostenlosen Kursen eingesetzt, während projekt-, forschungs- oder problembasiertes Lernen eher für den Unterricht von Masterstudenten geeignet ist.

Wie bereits erwähnt, sticht das MIT unter den Einrichtungen, die Online-Lernen anbieten, hervor: Es werden Videovorlesungen gehalten, und die Studierenden lernen durch Interviews mit Experten aus Bildung und Industrie. Die hergestellten Teile werden online bewertet, und für die Zukunft ist der Einsatz modernster Software vorgesehen. Für die Kommunikation wird eine browserbasierte edX-Plattform verwendet, die Multimedia, Präsentationen, dreidimensionale Teiledaten sowie interaktive und quantitative Tools umfasst. CAD-Konstruktionen können in einer Cloud gespeichert werden, und auf Kostenmodelle kann leicht zugegriffen werden. Darüber hinaus ermöglicht die Online-Zugänglichkeit eine Online-Wissensbasis mit ergänzenden Inhalten zu AM-Themen, die das Spektrum der unterrichteten Themen erweitern. Die Kommunikation zwischen Studenten kann über ein Online-Diskussionsforum erfolgen. Neben der Online-Schulungsplattform der MIT-Universität bieten mehrere andere Online-Schulungsplattformen, die mit bekannten Universitäten verbunden sind, wie UDEMY, Alison, Coursera und EDX, eine Reihe von nicht-fachlichen/fachlichen Schulungskursen an. Darüber hinaus bietet die Europäische Union kostenlose Online-Kurse zu grundlegenden Themen an, um ein breiteres Verständnis von AM zu vermitteln (siehe Kapitel 5 - Europäische Aktivitäten). AM-Interessierte können auch über Online-Handbücher, Webinare (oft von AM-Anbietern) und Blogbeiträge auf Wissen zugreifen.

⁷ <https://www.thecriticalthinkingchild.com/the-difference-between-remote-learning-e-learning-distance-learning-and-at-home-schooling/>

⁸ Moore, J.L., et al., e-Learning, online learning, and distance learning environments: Sind sie dasselbe?, Internet und Hochschulbildung (2010), doi:10.1016/j.iheduc.2010.10.001

⁹ <https://www.aeseducation.com/blog/online-learning-vs-distance-learning>

¹⁰ <https://www.staffordglobal.org/articles-and-blogs/whats-the-difference-between-online-and-distance-learning/>

¹¹ <https://eea.org.au/insights-articles/what-virtual-workshop>

3.1.4.1 Online-Lernplattformen für den Einsatz

3.1.4.1.1 3DExperience von Dassault Systems

Die 3DExperience ist eine allgemeine Geschäftsplattform, die datenbankorientiert ist und eine Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Gesellschaftern ermöglicht, denen Zugang gewährt wurde. Die Plattform ist auf verschiedene Berufsrollen für unterschiedliche Technologiebereiche ausgerichtet. Je nach gewählter und/oder erworbener Rolle können In-Apps genutzt werden, um den Nutzer durch einen Prozess zu führen.

Im Fall von AM deckt sie die gesamte Prozesskette ab und kann während des gesamten Lernprozesses angewendet werden. Die Plattform richtet sich in erster Linie an Ingenieure und Designer, aber auch an Studenten, um eine praxisnahe Lernplattform zu bieten, die Schritt für Schritt durch die AM-Prozesskette führt. Die Plattform ist für private Zwecke, Unternehmen oder die öffentliche Cloud zugänglich. So kann ein Anbieter, z. B. eine Universität, verschiedenen Teilhabern (Studenten) Zugang gewähren, damit sie einzeln oder in Teams an AM-Projekten arbeiten können. Theoretisch kann eine Studentengruppe eine Fallstudie aus dem wirklichen Leben anwenden, indem sie verschiedene Rollen in einem Unternehmen berücksichtigt. Die Plattform basiert auf einem PLM (Enovia), so dass die Verwaltung von Benutzern, Berechtigungen und Versionskontrolle recht einfach ist. Die anfängliche Konfiguration ist vergleichbar mit der Erstellung eines Teams in Teams.

Es können vier verschiedene Anwendungen gewählt werden: CATIA zur Erstellung eines funktionalen generativen Designs, Delmia zur Simulation des Bauplanungsprozesses während der Pulverbettfusion, Simulia zur Durchführung von AM-Fertigungssimulationen und CATIA2 zur Erstellung virtueller und realer Formmorphologien. Je nachdem, was die Studierenden benötigen, wählen sie eine Anwendung oder gehen Schritt für Schritt durch die Prozesskette. Das Durchlaufen der gesamten Prozesskette hilft den Studenten, sich mit AM in einem Gesamtkonzept auseinanderzusetzen. In CATIA kann das Design und die Optimierung von AM-Bauteilen studiert werden, während Delmia ein eher prozessorientiertes Werkzeug ist, das sich auf das Wissen über den Bauprozess konzentriert. Simulia und CATIA 2 konzentrieren sich auf die Prozessvariablen und deren Einfluss auf das Bauteil innerhalb des Prozesses, aber auch auf den Einfluss von Nachbearbeitungsstrategien. Die einzelnen Anwendungen simulieren eine reale Prozesskette, und die 3D-Erfahrungssoftware ermöglicht es den Studierenden, in einer realen Umgebung zu arbeiten, die auch in der Industrie verwendet wird. Die Plattform wird für die Einführung der Methodik des projektbasierten Lernens (PBL) genutzt. Die Teilnehmer können verschiedene Tools und Methoden innerhalb der Plattform nutzen, um neue AM-Produkte zu entwickeln und sich mit verschiedenen Softwareprogrammen vertraut zu machen.

3.1.4.1.2 Ansys Learning Hub

Ansys bietet ein webbasiertes Online-Lernzentrum mit Schulungsressourcen, um aktuelle Projekte anzugehen und Möglichkeiten zur Verbesserung der AM-Fähigkeiten zu entwickeln, insbesondere für AM-Design- und Simulationsingenieure. Es handelt sich um einen abonnementbasierten Dienst mit Zugang zu einer Fülle von Ressourcen, darunter weltweit geplante Präsenzkurse, virtuelle Kurse in allen Zeitzonen, Videokurse zum Selbststudium, Lernpfade zur Orientierung bei der Kursauswahl, spezielle Lernräume für Fragen und Diskussionen sowie detaillierte Schulungsunterlagen. Die aktuellen Kurse für die Entwicklung von AM-Fähigkeiten mit Hilfe der Ansys-Software sind insbesondere:

- **Einführung in Ansys Additive Prep.** Das Zielpublikum sind Ingenieure, Konstrukteure und Maschinenbediener, die mit Metalldruckmaschinen arbeiten. Die Lehrmethoden bestehen aus Vorlesungen und praktischen Übungen am Computer, um das erworbene Wissen zu validieren. "Ansys Additive Prep"

lehrt den Arbeitsablauf innerhalb der Additive Prep Software, vom Teileimport bis zum Export von Build-Dateien, die alle notwendigen Informationen für die Druckmaschine und/oder für die Drucksimulation enthalten. In diesem Kurs lernt der Kursteilnehmer, wie er die optimale Ausrichtung für den Druck eines Teils findet, wie er automatisch die Regionen erkennt, die Unterstützung benötigen; die Art und Weise, wie man die Unterstützungsparameter erstellt und definiert, wird in der Vorlesungsdatei vorgestellt. Die Kursteilnehmer lernen, wo sie die Parameter der Druckmaschine für die Erstellung der Build-Datei eingeben müssen. Schließlich wird der nächste Schritt der additiven Fertigungssimulation vorgestellt: der Export der Build-Datei und ihre Verwendung in Workbench Additive oder in Additive Print Produkten. In diesem Kurs wird gelehrt, wo die Supportstruktur- und wie die Maschinenparameter zu definieren sind. Alle Teilnehmer, die den Kurs abschließen, erhalten ein Schulungszertifikat.

- **Einführung in Ansys Additive Print:** In diesem Kurs lernen die Teilnehmer: den DMLS-Prozess, den Kalibrierungsprozess, die Lösung fortgeschrittener thermischer Analyseprobleme, die Vorhersage von Verzug, die Unterscheidung der verschiedenen Belastungsarten, die Erstellung der geometriebasierten Unterstützung, die Auswahl der Bauposition der Teile, die Auswahl des Scanmusters, die Visualisierung und Auswertung der Druckergebnisse. Das Zielpublikum sind Ingenieure, Konstrukteure und Maschinenbediener, die mit Metalldruckmaschinen arbeiten. Die Lehrmethode umfasst Vorträge und praktische Übungen am Computer, um die erworbenen Kenntnisse zu überprüfen. Alle Teilnehmer, die den Kurs abschließen, erhalten ein Schulungszertifikat.

3.1.4.1.3 Granta Education Hub

Granta Design entwickelt Lehr- und Lernressourcen sowie Materialdatenbanken und Lernsoftware mit ausgefeilten Tools zur Unterstützung des Unterrichts in den Bereichen Materialauswahl, Design und Nachhaltigkeit. Die ca. 350 Lehrer- und Schülerressourcen werden kostenlos über die Website des Granta Education Hub auf <https://grantadesign.com/education/teachingresources> zur Verfügung gestellt.

Zu den Ressourcen gehören Präsentationen, Übungen, Fallstudien, Papiere und Videotutorials. Die Vorlesungseinheit "Fertigung" deckt die Grundlagen der Materialwissenschaft und der damit verbundenen Prozesse ab, die die Basis für jede AM-Ausbildung bilden sollten. Die Unterrichtseinheiten bestehen aus: Materialien und Form, Materialauswahl, Herstellungsprozess und Kosten, etc. Die Lehrmittel sind in 8 Sprachen übersetzt.

3.1.5 Praktische Aktivitäten

Ein wichtiger Aspekt der Ausbildung auf dem Gebiet der AM sind praktische Aktivitäten und Laborbesuche. Erstere können auf unterschiedliche Weise organisiert und durchgeführt werden. Im Rahmen des Master Bosch Industry 4.0, der von Cefriel und dem Politecnico di Milano für Bosch Italia organisiert wird, haben die Auszubildenden beispielsweise die Möglichkeit, alle Schritte vom Entwurf des Teils über das Slicing und die Erstellung des G-Codes bis hin zum endgültigen Druck zu erleben. Dadurch werden die Auszubildenden für die praktischen Fragen im Zusammenhang mit dem 3D-Druck und seinem industriellen Potenzial sensibilisiert. Außerdem können sie die während des Kurses erlernten Prinzipien und Konzepte in die Praxis umsetzen. Am Politecnico di Milano verfügt die Fakultät für Maschinenbau über einen Unterrichtsraum, der mit mehreren 3D-Druckern für Polymere ausgestattet ist, die von den Studenten direkt genutzt werden können.

Laborbesuche sind ebenfalls wichtig, da sie den Auszubildenden die Möglichkeit geben, echte Teile, industrielle Systeme und Forschungsprototypen zu sehen und anzufassen. Die Auszubildenden können sich über laufende Forschungs- und Entwicklungsprojekte informieren, um ein besseres Gefühl für den aktuellen Stand der Technik zu

bekommen, sich aber auch mit offenen Fragen und innovativen Lösungen beschäftigen, die noch nicht auf dem Markt sind.

Im Bildungswesen und in der akademischen Welt ist AM in den Labors und Werkstätten stark vertreten. Mit der Einführung des Desktop-3D-Druckers wurde die AM-Ausrüstung auch für kleine Einheiten erschwinglich, die damit arbeiten können. Dies bringt zwei große Vorteile für die AM-Ausbildung mit sich.

Erstens können Labors, die nicht in der AM-Forschung tätig sind, die Fertigungskapazität ihrer Desktop-Drucker nutzen und Teile für ihre Forschungsaktivitäten drucken. Zweitens werden Echtzeit-Demonstrationen von 3D-gedruckten Teilen als der wertvollste und effektivste Weg angesehen, AM als neue Technologie einzuführen. Mit dieser alternativen Einführung außerhalb des Klassenzimmers und in Echtzeit sollen die Studierenden dazu angeregt werden, sich aktiv zu engagieren und sich mit den AM-Technologien vertraut zu machen. AM-Laboraktivitäten zielen in der Regel darauf ab, durch Demonstration zu lehren:

- AM-Teilformung
- Betrieb von AM-Maschinen (Be- und Entladen von Rohstoffen, z. B. Pulver)
- AM-Nachbearbeitungsprozesse

3.1.6 AM-Qualifikation und Diplome

Eine AM-Qualifikation ist derzeit die beliebteste offizielle Kompetenzvalidierung in der europäischen Industrie. Bei den Einrichtungen, die AM-Qualifikationen anbieten, handelt es sich entweder um AM-Schulungszentren (autorisiert oder nicht autorisiert - z. B. durch den EWF), die auch entsprechende Schulungen für die Teilnehmer anbieten, um das erforderliche AM-Verständnis zu erlangen, oder um Assessment-Center, die die AM-Kenntnisse und -Fähigkeiten des Prüflings validieren.

In der akademischen Welt gibt es für die AM-Ausbildung keine eigene Zertifizierung unter den großen Ingenieurabschlüssen. Es gibt sie als Nebenfach oder Spezialisierung innerhalb der Hauptdisziplinen und Ingenieurdiplome. Der Ingenieurstudent kann entweder eine Reihe von AM-Kursen an seiner Fakultät wählen, um sein Verständnis der AM-Prozesse zu vertiefen, oder sein Postgraduiertenstudium mit einem Master of Science oder einer Promotion in AM fortsetzen. Weitere AM-Zertifizierungen, die an Universitäten angeboten werden, sind professionelle Master of Engineering oder Graduiertenzertifikate. Diese Art der AM-Ausbildung und -Zertifizierung ist kurz (ein Jahr) und hat in der Regel einen digitalisierten Charakter, z. B. in Form von Online-Kursen.

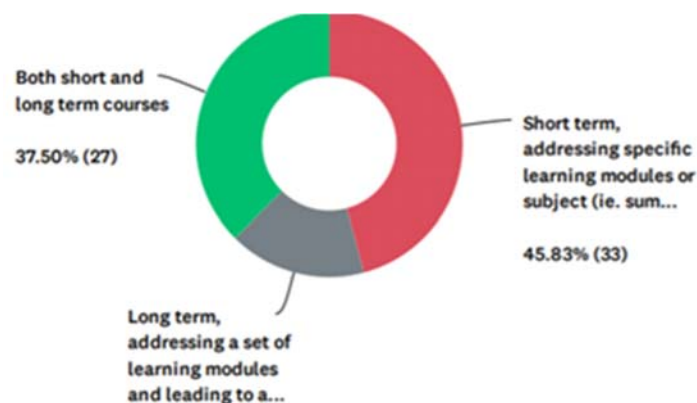


Abbildung 3: Länge der AM-Kurse

Der Inhalt aller AM-Qualifikationen ist tendenziell hochspezialisiert und auf thematische Achsen ausgerichtet, die von Design für Metall-AM bis zu AM-Maschinenoperationen und AM-Pulverhandling reichen.

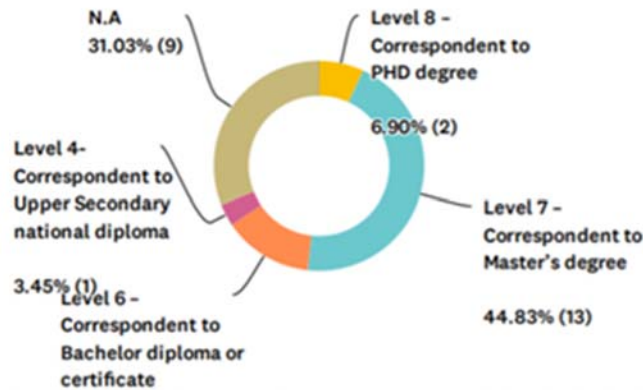


Abbildung 4: Angestrebtes EQF-Niveau

3.1.7 Betriebliche Ausbildung/ Training on the job und Praktikum im Unternehmen

Betriebliche Ausbildung oder Ausbildung am Arbeitsplatz bezieht sich auf einen praktischen Ansatz oder einen Ausbildungskurs zum Erwerb neuer Kompetenzen und Fähigkeiten, die für einen Arbeitsplatz benötigt werden, den das Unternehmen einem bestimmten Arbeitnehmer anbietet.¹² Andererseits wird ein Praktikum in einem Unternehmen als eine kurzfristige Arbeitserfahrung definiert, die von Unternehmen für Studenten angeboten wird, um einen Einstieg in eine bestimmte Branche oder einen bestimmten Bereich zu bekommen, in dem der Student seine Hard- und Soft Skills entwickelt¹³.

Viele Unternehmen im AM-Bereich bieten Kurzurse zu AM-Themen an. Da Kurzurse in der Regel auf ein breiteres Publikum abzielen, umfassen die Themen häufig:

- Machbarkeit von Teilekonstruktionen
- Implementierung von AM
- AM-Prozesse
- Werkstoffe in AM
- Kostenberechnung von AM-Teilen
- Qualität der Teile (Eigenschaften und Toleranzen).

Kurze Kurse werden oft von Dienstleistern oder Technologieanbietern angeboten. Darüber hinaus erhalten Ingenieure spezielle Schulungen für Prozessvalidierung, Wartung, Fehlerbehebung, Software, Kostenabschätzung, Gesundheit und Sicherheit sowie für die Planung und Durchführung von 3D-Scans und -Drucken. Ein Kursbeispiel

¹² <https://www.valamis.com/hub/on-the-job-training>

¹³ <https://www.themuse.com/advice/what-is-an-internship-definition-advice>

von TUV Sud finden Sie hier: <https://www.tuvsud.com/de-de/store/academy/technical-trainings/additive-manufacturing>

Die European Welding Federation <https://www.ewf.be/additive-manufacturing> hat ein Schulungsprogramm entwickelt, in dem verschiedene Zusammenhänge in Abhängigkeit von den verschiedenen Berufsprofilen vermittelt werden. Diese Profile sind wie folgt klassifiziert:

- DED (Draht plus Lichtbogen) Bediener
- DED (Laser) Bediener
- LPBF Operator
- DED (Draht plus Lichtbogen) Ingenieur
- DED (Laser) Ingenieur
- LPBF-Ingenieur
- Designer
- Inspektor

Ein weiterer Anbieter eines AM-Schulungsprogramms ist PM Life <https://www.pmlifetraining.com/about/about-pm-life>, das von der European Powder Metallurgy Association entwickelt wurde. Das Programm zielt darauf ab, die Zukunft der Pulvermetallurgie zu entwickeln. Die Teilnehmer können zwischen verschiedenen Modulen wählen oder ein komplettes Programm absolvieren. Die Kurse dauern eine Woche und finden an verschiedenen Orten in Europa statt. Am Ende wird ein Praktikum in einer Fabrik oder Universität vorgeschlagen (drei Wochen). Abschließend wird ein Zertifikat verliehen. Die folgenden Themen werden behandelt.

- -Pressen und Sintern
- -AM
- -Pulver und Hartstoffe

Was die Kurse für Fachleute anbelangt, so werden sowohl interne als auch externe Schulungen durchgeführt. Die meisten der oben genannten Beispiele (wie Master in AM (Mailand); Università di Udine; Master in AM (Rina Consulting) und AM Engineer training (MTC)) sind an der externen Ausbildung von Fachleuten in Universitäten oder Ausbildungsorganisationen (wie dem EWF) beteiligt. Andererseits bieten einige externe Organisationen interne Kurse für die Industrie an (z. B. Progetto Formativo AM Advanced (Confindustria Firenze Formazione für Baker Hughes, ein GE-Unternehmen). Im Rahmen des Master Bosch Industry 4.0, der von Cefriel, Politecnico di Milano für Bosch Italia organisiert wurde, wurden einige Ausbildungsmodule zu AM im Unternehmen abgehalten, während andere Module an der Universität stattfanden. Die externe Durchführung eines Teils des Kurses erleichtert insbesondere die Einbeziehung von Laborbesuchen, praktischen Übungen im Unternehmen und die direkte Erfahrung mit den neuesten Forschungsergebnissen des Instituts auf diesem Gebiet. Interne Schulungen hingegen bieten die Möglichkeit, die Schulungsinhalte auf die Bedürfnisse des Unternehmens selbst abzustimmen. Interne Schulungen können von Maschinenherstellern durchgeführt werden, die vor Ort spezifische Maschinen- oder Technologieschulungen anbieten.

3.1.8 Blended Learning

Die Definition von Blended Learning, d. h. der Mischung von Lerntechniken, wurde im Laufe der Jahre untersucht, und es wurde festgestellt, dass im weiteren Sinne alle oben genannten Lernkontexte (auf die eine oder andere Weise) als Blended Learning-Techniken betrachtet werden können. Blended Learning ist die Interaktion zwischen Face-to-Face- und Online-Unterricht. So kann der Online-Unterricht (3.1.4) mit praktischen Aktivitäten (3.1.5.) kombiniert werden. Die Lehrkraft kann frei entscheiden, welche Methode, welche Kombination und welches Verhältnis zwischen beiden geeignet ist, um die Bedürfnisse der Lernenden zu erfüllen. Darüber hinaus ermöglicht Blended Learning eine rasche Anpassung an Trends in Bezug auf die Lernstile, aber auch eine schnelle Integration neuer Online-Lernwerkzeuge. Dies wird als echter Vorteil angesehen, insbesondere in einer Zeit, in der die Digitalisierung schnell voranschreitet und der Dozent mit den Entwicklungen Schritt halten muss.

Es gibt verschiedene Lehrmethoden, die beim Blended Learning eingesetzt werden können:

- Face-to-Face (traditionell Schüler-Lehrer)
- Rotation (die Schüler gehen von einer Station/Aktivität zur nächsten)
- Flexibel (Studierende steuern ihren Lernweg - Professor fungiert als Mentor)
- Gamification (einschließlich Gameplay-Elementen: z. B.: SchülerInnen treten gegeneinander an und springen von Level zu Level)
- Online-Labor (vollständiges Online-Lernen zur Vertiefung der Kenntnisse)
- Self blend (Einbeziehung der interessierten Schüler in White Papers, Blogs, Video-Tutorials usw.)
- Online-Lernende (selbstgesteuertes Lernen, während der Professor, Ausbilder oder Lehrer z. B. per Videochat agiert).

3.1.9 Überblick über die vorgestellten Lernkontexte

Wie in den Unterabschnitten 3.1.1 bis 3.1.9 gezeigt wurde, werden derzeit verschiedene Lernkontexte für die AM-Ausbildung angeboten. Die Art des Lernkontextes hängt von den spezifischen Kursdetails ab. Tabelle 2 enthält eine Zusammenfassung der Empfehlungen mit Einschränkungen und deren potenziellen Bewertungen.

Tabelle 2: Zusammenfassung der Empfehlungen zur Anwendung von Lernkontexten in der AM-Ausbildung.

Art der Lernkontexte	Vorteile	Einschränkungen	Empfehlungen für die Anwendung in der AM-Ausbildung	Bewertung
Online-Lernen/Fernunterricht	Leicht zugänglich	Alles virtuell - keine praktische Erfahrung Zusätzliche Ausrüstung könnte erforderlich sein (z. B. VR-Brille)	Für die Zukunft in Verbindung mit dem Konzept der innerbetrieblichen Ausbildung oder der Ausbildung in Lehranstalten.	Online-Tests; Multiple Choice; Aufsatz. Feedback-Übungen
Lernen im Klassenzimmer/ Präsenzlernen (Vorlesungen/Seminare/Workshop)	Bewährte Methode	Faktenbasiertes Lernen, die Effektivität des Vortrags geht	Es muss mit praktischer Unterrichtserfahrung kombiniert werden.	Multiple Choice; Aufsatz; problemorientiert.

		nach 15-30 Minuten verloren.	Aktivierende Elemente müssen enthalten sein (Umfragen, Brainstorming, zusammenfassende Handlung).	
Labor (praktische Tätigkeiten)	Praktisches Lernen; muss mit dem Klassenzimmer kombiniert werden	Ausrüstung im Labor	Muss mit einer Vorlesung etc. kombiniert werden. Aktivität.	Durchführung von Laborstudien; problemorientiert; Gruppenarbeit; praktisch.
Unternehmenspraktika für Studenten oder betriebliche Ausbildung/praktische Ausbildung für Arbeitnehmer	Praxisnahes Lernen, Ausbildung in einem Forschungs- oder Industrieumfeld	Konzentrieren sich oft auf eine einzelne Branche oder einen einzelnen Prozess, was einen umfassenden Ansatz in der AM einschränkt.	Sollte mit einer Online- oder Klassenraumaktivität durchgeführt werden, um einen vollständigen Überblick über die Themen zu geben.	Praktisch;
Blended Learning (Kombination von Präsenz- und Online-/Fernunterricht)	Kann jeden erreichen; ermöglicht schnelle Anpassung an neue Tools und Lernrends; geringe Kosten; Anpassung an die Bedürfnisse der Lernenden.	Die Merkmale der Lernenden müssen im Vorfeld untersucht werden, um den Bedürfnissen gerecht zu werden. Die Lernergebnisse sollten im Voraus definiert werden.	Gute Gelegenheit, sich mit theoretischen Inhalten und praktischen Ansätzen (Tutorien/Maschinen) zu beschäftigen.	Online-Tests; Laborstudien; Gruppenarbeit; Multiple Choice; je nachdem, wie Blended Learning integriert ist. (Flipped Classroom)

3.2 Aktueller Stand der Ausbildungstools in der Additiven Fertigung

3.2.1 Paradigma der Lehrfabrik

Das Paradigma der Teaching Factory (TF) nutzt die individuellen Bedürfnisse der akademischen und der industriellen Seite in der Aus- und Weiterbildung. Die direkte Kommunikation zwischen Universitätsingenieuren und industriellen Akteuren wird etabliert, um eine gemeinschaftliche Aufgabe zu erfüllen. (6) Diese beiden Seiten gehen ein gemeinsames technisches Problem an, haben aber unterschiedliche Endziele, wie in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Ziele der Lehrfabrik

Zielsetzungen der Wissenschaft	Zielsetzungen der Industriepartner
Technisches Fachwissen	Neue Lösungen
Wissen praktizieren	Unterstützung der Entscheidung
Realitätsnahe Probleme	Unkonventionelle Ansätze
Proof-of-Concepts	Aufgaben-Outsourcing

Die verschiedenen Ziele können durch eine symbiotische Beziehung zwischen Hochschulen und Industrie erreicht werden, bei der die Lehrfabrik als Kommunikationskanal und Katalysator fungiert. Wie von G. Chrissolouris et al.¹³ erläutert, folgt die Lehrfabrik einem zweiseitigen Wissenstransferkanal, bei dem Fertigungsthemen die Grundlage für neue Synergiemodelle zwischen Hochschulen und Industrie bilden. Neuartige Ideen und Lösungen werden zwischen Hochschulen und Industrie ausgetauscht, um den Zeit- und Kostenaufwand für das Erlernen und Testen von Lösungen für Fertigungsprobleme auszugleichen und das Wissen von Industrie und Hochschulen durch Produktionsinnovationen oder reale Probleme zu vertiefen (Abbildung 5, links). Es gibt zwei operative Schemata: "Von der Fabrik ins Klassenzimmer" und "Von der Hochschule in die Industrie". Das Konzept "Fabrik zum Klassenzimmer" zielt darauf ab, die reale Produktionsumgebung in das Klassenzimmer zu übertragen, während das Konzept "Hochschule zur Industrie" darauf abzielt, das Wissen von der Hochschule zur Industrie zu übertragen (Abbildung 5, rechts).

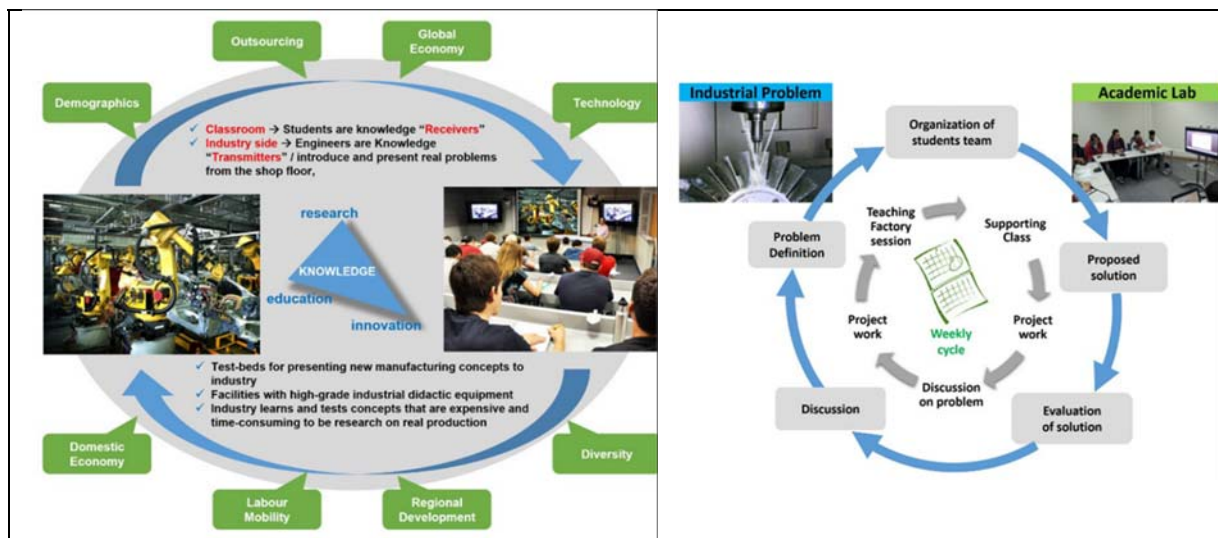


Abbildung 5(Links) Das Konzept der Lehrfabrik; (Rechts) Der Zyklus der Lehrfabrik für den Wissenstransfer¹⁴

Da die TF-Werkzeuge größtenteils digital sind, entfallen die Hindernisse der Entfernung. Dieses Modell kann auf globaler Ebene innerhalb der Universität und in der industriellen Fertigung angewendet werden.

¹⁴ G. Chrissolouris, D. Mavrikios, L. Rentzos, "The Teaching Factory: A Manufacturing Education Paradigm", Procedia CIRP, Band 57, 2016, Seiten 44-48, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.009>.

Zu diesem Zweck fungiert der TF-Ansatz als Zwei-Wege-Kanal: Er kann von der Fabrik zum Klassenzimmer und vom Labor zur Produktionshalle umgesetzt werden. Die drei Hauptanwendungen für die Teaching Factory sind:

1. Akademisches Lernen
2. Professionelles Lernen
3. Gesellschaftliches Lernen

Die AM TF soll als Ausbildungsinstrument genutzt werden, um Fachwissen aus der Industrie an die Hochschulen und umgekehrt zu vermitteln. (7). Die Ziele der AM TF sind:

- a. Vermittlung von technischem Wissen und spezialisierter Ausbildung an Ingenieurstudenten, um die zukünftigen AM-Arbeitskräfte besser auszubilden und zu qualifizieren.
- b. Verbesserung der technologischen Bereitschaft für neue AM-Technologien und Beschleunigung der Einführung der AM-Produktion in der Industrie.

Der Umsetzungsprozess der AM-TF erfordert zwei Parteien. Die erste Partei kommt aus der industriellen Welt. Diese Partei des AM-TF-Modells bringt ein reales Produktionsproblem mit, das gelöst werden muss, oder eine neue Entwicklung, die durchgeführt werden soll. Die industrielle Partei verfügt auch über die AM-Ausrüstung und die tatsächliche Produktion des AM-Bauteils.

Die zweite Gruppe besteht aus Mitgliedern aus der akademischen Gemeinschaft. Dieser Teil der Gruppe liefert die analytische Lösung für das zu behandelnde Problem oder die Forschung für die erforderlichen Entwicklungen.

Mit der Fertigstellung der AM TF profitieren beide Seiten, da die Industrie ihre Produktion vorantreibt und die akademische Seite wertvolle Erkenntnisse und Erfahrungen gewinnt.

3.2.2 Lernspiele

Lernspiele, d. h. (digitale) Spiele, die für andere Zwecke als reine Unterhaltung genutzt werden. Ausgangspunkt ist das Konzept der Lernspiele selbst und was es eigentlich bedeutet. Darüber hinaus ermöglichen Lernspiele den Lernenden, Situationen zu erleben, die in der realen Welt aus Gründen der Sicherheit, der Kosten, der Zeit usw. nicht möglich sind, aber es wird auch behauptet, dass sie positive Auswirkungen auf die Entwicklung einer Reihe verschiedener Fähigkeiten der SpielerInnen haben. Nachfolgend werden einige mögliche positive (und negative) Auswirkungen von Lernspielen diskutiert. Außerdem werden einige der Märkte betrachtet, in denen solche Spiele eingesetzt werden, darunter Militärspiele, Spiele für die Regierung, Bildungsspiele, Spiele für Unternehmen und Spiele für das Gesundheitswesen (siehe Lernspiele: Ein Überblick (diva-portal.org)). Sie beschreiben die Verwendung von Spiel-Engines für nicht spielbezogene Anwendungen. Das bedeutet, dass Spiele für die Ausbildung, Werbung, Simulation und Bildung verwendet werden. Die Fähigkeit von Spielen, den Benutzer zu fesseln, wird genutzt, um neues Wissen und neue Fähigkeiten zu erwerben. Eine wachsende Zahl von Schulen bietet Abschlüsse in Spielkunst an, wie z. B. Bachelor und Master of Fine Arts und/oder Bachelor und Master of Science, je nach den gewählten Themen. Susi et al. (8) beschreiben Lernspiele als einen unterhaltsamen Weg, um über ernste Themen in der Produktion zu lernen. Audio- und visuelle Anleitungen können beispielsweise leicht eingesetzt werden, um einen Benutzer durch den Zusammenbau eines neuen Produkts für den Gebrauch oder die routinemäßige Wartung oder sogar Notfallreparaturen zu führen. Viele Anwendungen umfassen derzeit Routinen vor medizinischen Eingriffen, Simulationen zur Bewältigung von Phobien und das Lehren von mathematischen Problemen. Es hat sich gezeigt, dass Unterhaltung ein effektiver Weg ist, um Wissen zu teilen und zu vermitteln.

Im Hinblick auf den AM-Unterricht könnte ein Mehrspielermodus entwickelt werden, der es verschiedenen Lerngruppen ermöglicht, unterschiedliche Rollen im AM-Prozess einzunehmen, z. B. mit interaktiven Plattformen. Ein weiteres Beispiel für die erfolgreiche Anwendung von Lernspielen ist die unmittelbare Nutzung von Echtzeit-Engine-Anwendungen, die durch die Übernahme von CAD-Daten, deren Neuformatierung und Verkleinerung entstanden sind (9). Die Echtzeit-Visualisierung kann z. B. einem Prozessingenieur helfen, die AM-Maschinen und die Umgebung besser zu verstehen.

Ein aktuelles Beispiel für ein "ernsthaftes" AM-Spiel ist ein Videospiel, das der Entdeckung der Additiven Fertigung von Metallen gewidmet ist. Es heißt "AddUp Adventure" und wurde 2019 von AddUp auf den Markt gebracht. Das Spiel funktioniert wie "SIMS" und ist in einer 3D-Umgebung angesiedelt und nutzt Dialoge mit Nicht-Spielern, Umgebungserzählungen, nicht-lineare Erkundungsphasen, das Sammeln von Objekten, Minispiele und faktenbasiertes Lernen. Es wird davon ausgegangen, dass das AddUp Adventure das Engagement der Lernenden fördert und dazu beiträgt, Menschen mit einem nicht-technischen Profil zu schulen. Darüber hinaus gibt es auf der Website (<https://mcqpoint.com/mcq/additive-manufacturing/>, <https://aaq.auburn.edu/node/1549>, zum Beispiel) einige Quizfragen zum Thema AM.

3.2.3 Erweiterte Realität

Augmented Reality (AR) ist eine Technologie, die es ermöglicht, virtuelle Elemente in unsere Sicht der Realität einzublenden. Dies wird durch den Einsatz von digitalen visuellen Elementen, Ton oder anderen sensorischen Reizen erreicht, die über die Technologie¹⁵ bereitgestellt werden. Diese Technologie ermöglicht es Lehrern, virtuelle Beispiele für Konzepte zu zeigen und Spielelemente zur Unterstützung des Lehrbuchmaterials hinzuzufügen. Dadurch können die Schüler schneller lernen und sich Informationen einprägen.

AM-Programme, die Augmented Reality/Virtual Reality (AR/VR) und AM kombinieren, sind derzeit nur in den Vereinigten Staaten von Amerika zu finden. Die University of Arizona bietet ein Zertifikatsprogramm mit 8 Kursen an, das online oder in der Klasse absolviert werden kann und zu einem Nebenfach in AM führt (<https://ami.arizona.edu/courses>). Die Themen umfassen:

- AM-Prozess-Simulation
- Physikalische Modellierung mit der Unity3D-game engine
- Bewertung der Auszubildenden anhand von Zeit, Genauigkeit und menschlichen Faktoren
- Kognitive Wahrnehmung unterstützt durch immersive Erfahrungen mit VR/AR-Geräten
- Visualisierung und haptisches Feedback
- Digitale Zwillinge und maschinelles Lernen für die Prozessmodellierung und -steuerung
- Cyber-physikalische Sicherheit und Infrastruktur

Eine Lernressource für Augmented Reality und 3D-Druck wurde von 3D Bear entwickelt. Dieses Unternehmen arbeitet an Fernlernressourcen, die immersive Technologien und inspirierende pädagogische Inhalte für die besten Lernergebnisse kombinieren. Erweiterte Realität ("AR"), virtuelle Realität ("VR"), 360°-Fotos, Scannen und 3D-Druck. Professionelle Entwicklung, Umsetzung und Workshops.

<https://www.3dbear.io/>

¹⁵ <https://www.investopedia.com/terms/a/augmented-reality.asp>

Die Veröffentlichung "Augmented Reality Interfaces for Additive Manufacturing" (10) untersucht mögliche Anwendungsfälle für den Einsatz von Augmented Reality (AR) als Werkzeug zur Bedienung von Industriemaschinen. Als Ausgangsbasis dient ein additives Fertigungssystem, besser bekannt als 3D-Drucker. Sie implementieren neuartige erweiterte Schnittstellen und Steuerungen unter Verwendung leicht verfügbarer Open-Source-Frameworks und preiswerter Hardware. Ihre Ergebnisse zeigen, dass die Technologie eine umfassendere und intuitivere Druckersteuerung und Leistungsüberwachung ermöglicht, als derzeit auf dem Markt erhältlich ist. Daher gibt es ein großes Potenzial für diese Art von Technologien in zukünftigen digitalen Fabriken.

Weitere Erfahrungen im Zusammenhang mit der virtuellen Realität werden in "A Virtual Reality Application for Additive Manufacturing Process Training" (2015) erwähnt. In diesem Beitrag wird eine erweiterbare Softwareanwendung vorgestellt, die einen AM-Prozess in einer Virtual Reality (VR)-Umgebung simuliert. Die Anwendung analysiert die Bewegungen der Maschinenkomponenten und die Attribute der gedruckten Segmente aus G-Code-Dateien, die von der MakerBot® Computer Aided Manufacturing (CAM) Software exportiert wurden. Position, Geschwindigkeit und Art der Bewegung werden verwendet, um die physischen Maschinenbewegungen zu simulieren. Ein Druck-"Segment" wird an den Start- und Endpositionen einer Druckbewegung erstellt. Durch die Farbcodierung von Segmentattributen und die Änderung ihrer Größe und Form wird eine visuelle Beziehung zwischen der Terminologie für eine Druckeinstellung und ihrer Darstellung in der virtuellen Umgebung hergestellt. Diese visuelle Beziehung zwischen gedruckten Segmenten und Druckeinstellungen erleichtert das Erlernen des 3D-Druckprozesses und der damit verbundenen Terminologie. Anfänger und erfahrene Benutzer können die Druckeinstellungen in der virtuellen Umgebung vor und nach dem Druck eines Prototyps ändern. Das Erkennen und Beheben eines Fehlers in der virtuellen Umgebung reduziert die Zeit und die Kosten für den Druck eines Teils in der gewünschten Qualität.

3.2.4 Projektbasiertes Lernen

Zu den induktiven Lehrmethoden gehören das forschende Lernen, das problemorientierte Lernen (PBL), das projektorientierte Lernen (PjBL), der fallorientierte Unterricht und der Just-in-Time-Unterricht.

Die Probleme/Projekte sind so konzipiert, dass sie authentische Probleme darstellen, die die Schüler nachweislich motivieren, ihr Interesse aufrechterhalten und sie aktiv am Lernen beteiligen. Es hat sich gezeigt, dass PBL-Lernansätze die Entwicklung des kritischen Denkens und der Problemlösung fördern und das Verständnis für wichtige technische Konzepte verbessern.

Das zentrale Prinzip des PBL-Ansatzes besteht darin, dass die Lernenden ihre Lernziele durch die Lösung eines offenen Problems und nicht durch eine deduktive Präsentation von Informationen erreichen. Das Problem, das sorgfältig so gestaltet ist, dass es authentisch ist und die berufliche Praxis widerspiegelt, dient als Motivation für das Erlernen des Inhalts. Die Schüler arbeiten in kleinen Gruppen an der Lösung des Problems, indem sie zunächst herausfinden, was sie bereits wissen, was sie wissen müssen und wie und wo sie die Informationen finden, die ihnen bei der Lösung des Problems helfen. Die Probleme dienen den Schülern als Gelegenheit, sich das gewünschte Wissen anzueignen und gleichzeitig ihre Problemlösungsfähigkeiten und ihre Kompetenz zum selbstgesteuerten Lernen zu verbessern. Den Schülerinnen und Schülern einfach nur ein Problem mit offenem Ausgang zu stellen, gilt nicht als echtes PBL. Der Dozent muss den Lernprozess anleiten und die Studierenden bei der Reflexion und Nachbesprechung am Ende der Erfahrung unterstützen. Ein Beispiel für einen AM-Kurs könnte sein:

- Erläutern Sie die Möglichkeiten, Grenzen und Grundprinzipien alternativer AM-Technologien.
- Bewertung und Auswahl geeigneter AM-Technologien für spezifische Design- und Fertigungsanwendungen.
- Erklären Sie die grundlegenden Ursachen für Fehler und Unregelmäßigkeiten bei AM-Teilen.

- Anwendung von AM-Techniken auf eine anspruchsvolle Design- und Fertigungsanwendung.
- Identifizieren, erklären und priorisieren Sie einige der wichtigsten Forschungs Herausforderungen im Bereich AM.

Ein wichtiger Aspekt der Ausbildung im Bereich AM sind praktische Aktivitäten. In diesem Bereich haben Projekte in Teamarbeit verschiedene mögliche Vorteile. Einerseits ermöglichen sie es den Auszubildenden, die verschiedenen Potenziale der AM-Technologien direkt zu erleben. Darüber hinaus festigen sie das Erreichen der erwarteten Lernergebnisse durch praktische Übungen und die Arbeit mit realen Daten und Produkten. Außerdem fördern sie die Fähigkeit zur Teamarbeit in einem multikulturellen und multidisziplinären Umfeld, da an AM-Kursen in der Regel Auszubildende mit unterschiedlichem Hintergrund teilnehmen.

Das folgende Beispiel bezieht sich auf eine Labor- und Teamarbeit im Rahmen des Kurses "Additive Manufacturing for Space and Aerospace" am Politecnico di Milano. Die Studenten des Kurses wurden gebeten, die Halterung, die die Reaktionsräder für die Lageregelung des ION Cubesat Carriers verbindet, für eine echte Raumfahrtkomponente mit AM neu zu entwerfen. Dabei handelt es sich um eine neue Version eines kleinen Raumfahrzeugs, das ursprünglich von D-Orbit, einem italienischen Start-up-Unternehmen (<https://www.dorbit.space/>) für die Zustellung und Positionierung von CubeSat-Satelliten auf der letzten Meile entwickelt wurde. Bei dieser Version des Raumfahrzeugs arbeitet D-Orbit direkt mit der ESA zusammen. Ihre Technologie wird auch im Rahmen der ESA-Initiative Clean Space für die Wartung in der Umlaufbahn und die aktive Trümmerbeseitigung eingesetzt.

Alle Teams hatten die Aufgabe, das Gewicht ihres neu entworfenen Trägers zu minimieren, die mechanischen Anforderungen an die Struktur zu erfüllen (statische Bewertung und Modalanalyse) und die Herstellbarkeit zu optimieren. Das Siegerteam, bestehend aus vier Studenten, gewann den Wettbewerb, indem es einen Entwurf vorlegte, der die höchste Gewichtsreduzierung (-65 % gegenüber dem ursprünglichen Gewicht des Bauteils) unter Einhaltung aller mechanischen und "Druckbarkeits"-Anforderungen ermöglichte. Am Ende des Projekts fand ein abschließender Präsentationstag für die Teilnehmer statt.

Ein weiteres Beispiel: Im Rahmen des Studiengangs MSc Additive Manufacturing am Politecnico di Milano führen die Studierenden ein Teamarbeitsprojekt durch, bei dem sie aufgefordert werden, Teile für AM zu entwerfen und mit Fused Deposition Modelling zu drucken, die vorgegebenen funktionalen Anforderungen entsprechen und eine bestimmte Zielfunktion maximieren müssen. Zwei Beispiele für Projekte in Teiljahren sind die Herstellung von Spielzeugautos, die dann in einem Wettbewerb zwischen allen Teams getestet wurden (die Autos mussten die längste Strecke von einer Rampe herunterfahren) oder Brücken, die ebenfalls in einem Wettbewerb getestet wurden (die Brücken mussten das höchste Gewicht tragen, ohne einzustürzen).

All diese Projektaktivitäten ermöglichen es den Studierenden, neue SW-Tools zu erlernen: für die topologische Optimierung, die Bauvorbereitung, die Prozesse, die Simulation sowie die Nutzung von 3D-Druckern, um die meisten der erlernten Konzepte in der Praxis anzuwenden und die tatsächlichen Möglichkeiten und Grenzen von AM-Methoden zu erfahren. Der Wettbewerb hat den Vorteil, dass er das Engagement der Studierenden stärkt und ihr Interesse an den Ausbildungsthemen fördert.

Die GRANTA EduPack Software ist eine geeignete Ressource für Studenten, die projekt- und problembasiertes Lernen durchführen, da sie sowohl eine umfassende Informationsquelle als auch Softwarewerkzeuge wie Materialauswahl, Öko-Audit und andere Modellierungswerkzeuge zur Lösung von materialbezogenen Problemen bietet. Diese Projekte können von kurzen Übungen im Rahmen eines Einführungskurses (Beispiele sind in den GRANTA EduPack Lehrressourcen enthalten) bis hin zu umfangreichen Designprojekten für das Abschlussjahr oder sogar Forschungsprojekten auf Masterniveau (unter Verwendung der detaillierten Daten in der EduPack Level 3 Datenbank) reichen.

3.2.5 Fallstudien

Eine Fallstudie ist eine Schilderung einer Aktivität, eines Ereignisses oder eines Problems, die eine reale oder hypothetische Situation enthält und die Komplexität beinhaltet, der Sie am Arbeitsplatz begegnen würden. Fallstudien werden verwendet, um den Studierenden zu zeigen, wie die Komplexität des wirklichen Lebens Entscheidungen beeinflusst. Die Analyse einer Fallstudie verlangt von den Studierenden, dass sie ihr Wissen und ihre Denkfähigkeiten auf eine reale Situation anwenden¹⁶. Um aus einer Fallstudienanalyse zu lernen, müssen die Schüler "analysieren, Wissen anwenden, argumentieren und Schlussfolgerungen ziehen" (Kardos & Smith 1979).

Die Einbeziehung von Fallstudien in die Ausbildung ist sowohl für Universitätskurse als auch für Kurse für Fachleute von großer Bedeutung. So werden beispielsweise im Rahmen des Kurses "Additive Manufacturing for Space and Aerospace" am Politecnico di Milano reale Fallstudien (hauptsächlich aus der Luft- und Raumfahrt) vorgestellt, sobald der Student alle derzeit verfügbaren Technologien, ihre Vor- und Nachteile sowie die wichtigsten offenen Herausforderungen kennt. Das Ziel des Kurses ist es, den Studenten einen aktuellen industriellen Implementierungsansatz von AM für hochwertige Produkte zu vermitteln. Es werden End-to-End-Design-/Fertigungsprozesse von realen Raumfahrzeugen, Satelliten, Raketen oder Flugzeugteilen gezeigt. Angefangen bei der Design-/Topologie-Optimierung (bionisches Design), über die Auswahl der idealen AM-Technologie bis hin zur Optimierung der Prozessparameter, der mechanischen Charakterisierung (Statik, Ermüdung, Mikrostruktur, NDI, Computertomographie, Wirbelstrom usw.) und der Herstellung eines Aufbaus, das in Originalgröße getestet und dann in den Orbit geflogen wird. Darüber hinaus bietet der Kurs Fallstudien und Beispiele für Fehleruntersuchungen an realen Bauteilen.

3.2.6 Vorträge von AM-Experten

Aufgrund der multidisziplinären Aspekte, die mit AM verbunden sind, ist es typisch, dass Experten aus verschiedenen Bereichen Vorträge zu bestimmten Themen halten. Dieser Ansatz wurde sowohl in MSc-Kursen als auch in Kursen für Fachleute verfolgt. Der Kurs MSc Additive Manufacturing am Politecnico di Milano beispielsweise sieht Vorlesungen von Fakultätsmitgliedern vor, die Experten in verschiedenen Bereichen sind (Fertigungsprozesse, Qualitätstechnik und Datenanalyse, Metrologie und Messungen usw.), sowie Seminare, die von eingeladenen Experten aus der Industrie oder anderen Forschungsgruppen gehalten werden. Die Seminare werden von den Studierenden sehr geschätzt, da sie den Auszubildenden die Möglichkeit geben, mit den Standpunkten der Industrie, realen Umsetzungserfahrungen, Herausforderungen und Möglichkeiten in Kontakt zu kommen. Seminare von Experten sind auch wirksam, um den aktuellen Stand der Technik bei der Anwendung von AM-Technologien in der heutigen Industrie und ihre Auswirkungen auf gesellschaftliche und wirtschaftliche Wachstumsaspekte aufzuzeigen.

Der Kurs "Additive Manufacturing for Space and Aerospace" am Politecnico di Milano stellt ein anderes Beispiel dar, da der Kurs vollständig von Tommaso Ghidini, dem Leiter der Abteilung Strukturen, Mechanismen und Materialien der Europäischen Weltraumorganisation (ESA), gehalten wird. In diesem Fall haben die MSc-Studenten die Möglichkeit, mit einem der wichtigsten EU-Experten auf diesem Gebiet in Kontakt zu treten, der seine sehr angewandte und praktische Herangehensweise an AM-bezogene Themen und Fragen an die Teilnehmer weitergibt. Nach erfolgreichem Abschluss dieses Kurses sollten die Studenten beispielsweise in der Lage sein:

- Trends, Technologien und Schlüsselmethoden im Zusammenhang mit der digitalen und additiven Fertigung für Produkte mit hohem Mehrwert (Anwendung von Wissen) zu identifizieren.

¹⁶ <https://www.student.unsw.edu.au/writing-case-study-report-engineering>

- neue Ideen und Lösungen in aufstrebenden Industrieunternehmen zu entwickeln. In der Tat ist die additive Fertigung eine der aktivsten Spielwiesen für neue Lösungen, innovative Ideen und Neugründungen. (Wissen anwenden und Entscheidungen fällen)
- Professionell, verantwortungsbewusst, effektiv und konstruktiv in einem Arbeitsumfeld zu Handeln. Die Projektarbeit wird es allen Studenten ermöglichen, in einem multidisziplinären Umfeld zu interagieren. Das Projektteam setzt sich aus Studenten der Fachrichtungen Management, Maschinenbau, Konstruktion, Automatisierungstechnik und Physik zusammen (Teamarbeit und Kommunikationsfähigkeit).

Darüber hinaus werden im Rahmen von Kursen über AM für Fachleute (zumindest für Ingenieure und Manager) üblicherweise Vorträge von verschiedenen Experten in ihren spezifischen Bereichen gehalten, die von der Materialwissenschaft bis zu laser- und elektronenstrahlbasierten Verfahren, Design für AM, Qualitätskontrolle und Materialprüfung, Messtechnik, Simulation, Datenanalyse, Lebenszykluskostenrechnung usw. reichen. Ein Beispiel dafür ist das Projekt LILIAM - Lifelong Learning in Additive Manufacturing – (<https://www.liliam-project.polimi.it/>), bei dem ein Team von acht internationalen Partnern aus verschiedenen EU-Ländern ein lebenslanges Ausbildungsprogramm für Fachleute (Produkt- und Prozessingenieure und Manager) entwickelt hat, das verschiedene Fachkenntnisse kombiniert, um einen umfassenden und multidisziplinären Lernweg zu bieten. LILIAM zielt darauf ab, Vorlesungen zu den folgenden Themen anzubieten: 1) Werkstoffe für die additive Fertigung, 2) Additive Fertigungsverfahren, 3) Produktdesign und -optimierung, 4) Modellierung und Simulation, 5) Prozessüberwachung und -steuerung, 6) Nachbearbeitung / hybride Verfahren, 7) Kontrolle, Qualifizierung und Zertifizierung, Normen und IPRs, 8) Lebenszyklusbewertung, Lebenszykluskostenrechnung, 9) Ende der Lebensdauer und Recycling von Materialien.

3.2.7 Simulationssoftware

Die Simulationssoftware ermöglicht es, die additive Fertigung vorhersehbarer zu gestalten, um den Versuch-und-Irrtum-Ansatz zu reduzieren, Kosten und Zeit zu sparen und innovativere Produkte zu ermöglichen. Es gibt mehrere Softwareprodukte zur Verbesserung des Designs und der Verarbeitung in der AM. Abbildung 6 zeigt die beliebtesten Softwareprodukte, die für AM verwendet werden. Diese Softwareprodukte können zur Simulation des Druckprozesses, zur Vorhersage von Verzerrungen und deren Kompensation oder zur Verbesserung der Unterstützungsstrategie und zur Vorhersage der Teilegenauigkeit eingesetzt werden, wie die Beispiele zeigen¹⁷.

Additive Works	Amphyon	Simulation-based process preparation software for metal powder bed fusion
Adobe	Photoshop CC	3D design tools and color management
Altair Engineering	Inspire	Topology optimization
Altair Engineering	SIMSOLID	Meshless topology optimization
Altair Engineering	Inspire Print3D	Simulation-based process preparation software for metal powder bed fusion
Autodesk	Project Shapeshifter	Browser-based tool for generating geometric shapes and exporting them for 3D printing
Autodesk	Within Medical	Lattice structures for orthopedic industry, porous coatings for implants
Dassault Systèmes	Tosca Structure	Topology optimization for FEA packages including Abaqus, ANSYS, and MSC Nastran
Desktop Metal	Live Parts	Generative design and topology optimization software
DTU	TopOpt	Topology optimization
e-Xstream	Digimat	Material simulation tool
GeonX	Virfac	Material and process simulation
GravitySketch	GravitySketch	VR-based modeling
MSC	Simufact	Metal AM build simulation
ParaMatters Inc.	CogniCAD 2.0	Topology optimization
PTC	GENERATE	Topology optimization
Siemens	NX	High-end CAD that integrates topology optimization, lattice structures, and support generation

Abbildung 6 (links) Unternehmen, (Mitte) Name und (rechts) Beschreibung der am häufigsten verwendeten Softwareprodukte (Wohlers Report 2021).

¹⁷ <https://fluidcodes.com/software/additive-manufacturing-simulation/>

3.2.8 Lehrvideos und Animationen

Lehrvideos und Animationen sind visuelle Hilfsmittel, die das Lernen erleichtern. Sie werden von Pädagogen eingesetzt, um den Inhalt ansprechend, leicht verständlich und emotional zugänglich für alle Arten von Schülern zu machen. Mit diesen Mitteln lassen sich komplexe Ideen auf einfache Weise erklären. Sie sorgen dafür, dass sich die Lernenden auf den Inhalt konzentrieren und schaffen ein besonderes Erlebnis, an das sich die Lernenden eher erinnern werden.^{18,19}

Es gibt mehrere Beispiele für Lehrvideos und Animationen im Internet, die additive Fertigungsverfahren in verschiedenen Komplexitätsstufen erklären, wie z. B. Einführungsvideos (<https://www.youtube.com/watch?v=EHvO-MlzAIM> von GE Additive, <https://www.youtube.com/watch?v=qoBU0r7pT84> von Bracken Media, <https://www.youtube.com/watch?v=t4S0mKjXtT4> von Additive Manufacturing Media) oder spezifischere Videos und Animationen, die sich auf ein bestimmtes Verfahren beziehen, wie z. B. Laser Powder Bed Fusion (<https://www.youtube.com/watch?v=VqjtuFxGio4> von SLM Solutions NA, Inc) oder Multi Jet Fusion-Verfahren (<https://www.youtube.com/watch?v=sUjyKOilhwg> von Protolabs).

3.3 Überblick über die Lernwerkzeuge

Wie in den Unterabschnitten 3.2.1. bis 3.2.6. gezeigt wurde, können für die AM-Ausbildung verschiedene Lernwerkzeuge eingesetzt werden. Die Art des Lernwerkzeugs hängt von den spezifischen Kursmerkmalen ab. Tabelle 4 zeigt eine Zusammenfassung der Empfehlungen sowie der Einschränkungen und deren mögliche Bewertung.

¹⁸ <https://elearningindustry.com/video-learning-animation-styles-and-best-practices-to-follow>

¹⁹ <https://elearningindustry.com/how-animation-based-learning-can-benefit-online-courses>

Tabelle 4: Empfehlungen zur Anwendung von Lernwerkzeugen in der AM-Ausbildung

Art des Schulungsinstruments	Vorteile	Einschränkungen	Empfehlungen für die Anwendung in der AM-Ausbildung	Bewertung
Lehrfabrik	Praxisnahe Lernerfahrungen. Bringt die Industrie näher an die Hochschulen heran. Praxisnaher Unterricht	Das hängt stark von der Infrastruktur ab.	Sollte in Verbindung mit anderen "traditionellen" Lernaktivitäten eingesetzt werden.	Problemorientiert; Gruppenarbeit;
Lernspiele	Problemlösung, Spaß, Im Einklang mit der Digitalisierung	Keine praktische Erfahrung.	Ergänzend zu anderen Unterrichtsaktivitäten wie Unterricht und Labor.	Praktisch, Interview
Erweiterte Realität	Inline-Prozesslernen;	Derzeit nur für einige wenige Prozesse und Variablen verfügbar. Keine praktische Erfahrung. Virtuell.	Sollte in Verbindung mit anderen "traditionellen" Lernaktivitäten oder Lehrwerken eingesetzt werden.	Praktisch, Interview
Projekt (Projektbasiertes Lernen (PBL))	Kann zusammen mit der Ausbildung durchgeführt werden. Die Schüler lernen die gesamte Prozesskette kennen. Gleichermaßen wertvoll für alle Menschen. Leicht anpassbare Projektgrößen.	Sie müssen für den gesamten Kurs entwickelt werden.	Sehr zu empfehlen, da man durch Learning by Doing und die Anwendung der 3D-Druckprozesskette viel lernen kann.	Einzelperson; Interview
Fallstudie	Ermöglicht die Umsetzung der erworbenen Kenntnisse.	Je nach Fallstudie kann die praktische Erfahrung fehlen.		Aufsatz: problemorientiert.

Lehrtätigkeit	Einfacher Überblick über das Wissen aller Studenten. Von Angesicht zu Angesicht. Leichter ansprechbar.	Keine praktische Erfahrung. Zielt hauptsächlich auf Studenten oder Schüler ab.	Die Dokumentation der Arbeitsmaterialien ist vorhanden.	Multiple Choice, Aufsatz, Interview.
Simulationssoftware	In AM-Simulationen eingesetzt, erhalten die Schüler praktische Erfahrungen bei der Durchführung von Simulationsübungen und können sich von Ausbildern beraten lassen.	Die Schüler müssen alle das gleiche Niveau erreichen, um Simulationen durchführen zu können und Zugang zu den Werkzeugen zu haben		Q&A, Praktische Übungen
Praktische Aktivitäten	Praktische Lernerfahrungen. Muss mit dem Klassenzimmer kombiniert werden	Bedarf an Ausrüstung, Software oder Materialien	Muss mit einer Vorlesung etc. kombiniert werden. Aktivität.	Problemorientiert; Gruppenarbeit; praktisch.
Gruppenarbeit	Durch kooperatives Lernen entwickeln die Schüler Fähigkeiten wie Problemlösung, Verhandlung, Konfliktlösung, Führung, kritisches Denken und Zeitmanagement.	Zeitaufwendig	Geeignet, um Schüler mit verschiedenen Ideen und Ansätzen vertraut zu machen	Problemorientiert, praktisch oder theoretisch
Lehrvideos und Animationen	Hervorragend geeignet, um komplexe Inhalte zu erklären. Emotionales Lernen fördert das Behalten und die Aufmerksamkeit der Schüler	Maßgeschneiderte Animationen sind kostenintensiv	Ergänzend zu anderen Unterrichtsaktivitäten wie Unterricht und Labor.	Praktisch, Interview

3.4 Europäische AM-Projekte zur Unterstützung von AM-Lernen und -Ausbildung

Eine Reihe von europäischen Projekten wurde herangezogen, um die Entwicklung sektoraler Kompetenzen für die additive Fertigung zu erleichtern, und zwar sowohl im Hinblick auf die Grundlagen als auch als Orientierungshilfe. Dieser Abschnitt enthält eine Liste von Projekten, die die wichtigsten Vorarbeiten darstellen, ist jedoch nicht erschöpfend. Eine vollständige Liste ist bei der AM-Koordinierungsstelle verfügbar (https://skills4am.eu/amobservatory_projects.html).

Admire (Alliance for aDditive Manufacturing between Industry and univeRsitiEs): Admire war eine Allianz zwischen AM-Unternehmen, Universitäten und Studenten, die auf einen Bedarf der Industrie reagierte: die *Qualifizierung der AM-Arbeitskräfte*. Es wurde ein europäischer Metall-AM-Master-Abschluss entwickelt, der der Stufe 7 des Europäischen Qualifikationsrahmens entspricht.

<https://admireproject.eu/summary.html>

3D Prism: 3D Prism hat einen "Massive Open Online Course (MOOC)" entwickelt, der für die Öffentlichkeit zugänglich ist. Der Kurs behandelt grundlegende Aspekte und verschiedene AM-Technologien, Materialien, Prozessparameter, CAD/CAM-Werkzeuge und Wartungsthemen. Der Kurs ist für jedermann online verfügbar und das Wissen wird durch Quizfragen getestet.

<https://versal.com/c/jppgwv/3dprism-mooc>

MeTAIS - MachinE Tool Alliance for Skills. Das MeTAISprojekt befasste sich mit der Vorbereitung von Fähigkeiten, die für einen AM-Operator auf EQF-Niveau 5 erforderlich sind. Es wurde ein Online-Kurs entwickelt, der einen Lehrplan für drei verschiedene Bereiche enthält. Erstens: AM-Einheiten, die alle Aspekte der AM-Bearbeitung vom Entwurf bis zur Nachbearbeitung abdecken. Zweitens, arbeitsprozessorientierte Einheiten, in denen Fähigkeiten zur Auftragsvergabe bis hin zu Wartungsfähigkeiten vermittelt werden. Drittens, unternehmerische Einheiten, in denen Marketing, Führung und andere Aspekte behandelt werden. Die Prüfung der Fertigkeiten erfolgt durch einen Online-Test, bei dem 80 % der Antworten richtig sein müssen.

3DP - Training in 3D Printing to Foster EU Innovation & Creativity

Diese europäische Initiative hat schriftliche Leitlinien für Kurzurse, Leitlinien für Ausbilder, Kursunterlagen und Fallstudien zur Verfügung gestellt, um die Fähigkeiten der Studenten erfolgreich zu verbessern. Außerdem wurde eine E-Learning-Plattform für den 3D-Druck entwickelt, die in sechs Sprachen verfügbar ist.

<https://3d-p.eu/>

CLLAIM - Creating Knowledge and Skills in AM

CLLAIM befasste sich mit der Entwicklung eines AM-Qualifikationssystems durch die Einrichtung eines Qualifikationsgremiums, verschiedener Qualifikationen für verschiedene Rollen, innovativer Ausbildungspakete, Modelle zur Anerkennung früherer Lernerfahrungen (RPL) und eines pädagogischen Kits für Ausbilder, das sich auf Methoden des arbeitsbezogenen Lernens konzentriert.

<http://cllaimprojectam.eu/>

PAM2 - Precision Additive Metal Manufacturing

PAM 2 zielte darauf ab, die Präzision von Metall-AM-Prozessen drastisch zu verbessern, indem die drei Prinzipien Robustheit, Vorhersagbarkeit und Metrologie angegangen und CAE-Methoden entwickelt wurden, die das AM-

Design unterstützen, anstatt es zu begrenzen. Das Projekt hat eine große Anzahl von Forschungsunterlagen zur Verfügung gestellt, da es sich mit 15 miteinander verbundenen Forschungsprojekten für Nachwuchsforscher befasste. Darüber hinaus wurde eine YouTube-Serie entwickelt, um Interessierte durch den Modellierungsprozess der Topologieoptimierung in der AM zu führen.

<https://pam2.eu/>

EIT-Herstellungsprojekte:

EIT-AddManu: EIT-AddManu wird eine Online-"AM Teaching Factory" entwickeln, in der Lernnuggets aus der AM-Lehre in der akademischen und industriellen Hochschulausbildung bereitgestellt werden sollen. Die Plattform soll Design-Tools, das Screening von geeigneten AM-Systemen und die Auswahl des richtigen Materials für ein Produkt enthalten. <https://eitmanufacturing.eu/additive-manufacturing-teaching-factory/>

LILIAM: Lebenslanges Lernen in der Additiven Fertigung - läuft derzeit. LILIAM zielt darauf ab, eine europäische Ausbildungsqualifikation für verschiedene Berufsprofile, einschließlich Spezialisten, Ingenieure und Manager, im Bereich der additiven Fertigung zu entwickeln. Die Ausbildungsmodule, die traditionelle und innovative Lehransätze kombinieren werden, werden von einem internationalen Netzwerk von Partnern aus 8 europäischen Ländern entwickelt, das von der Abteilung für Maschinenbau des Politecnico di Milano koordiniert wird. <https://www.liliam-project.polimi.it/>

4 SAM Operativer Leitfaden zu Kontext und Schulungsinstrumenten

4.1 Beispiele für Lernkontexte und Tools von SAM-Partnern

Um einen Einblick in die Integration von Lernkontexten und -instrumenten in die Ausbildung zu geben, werden hier zwei Beispiele angeführt.

4.1.1 LORTEK

4.1.1.1 Einführung

Seit 2018 bieten Lortek und Goierri Eskola einen Master in AM an. Lortek ist ein privates Technologiezentrum und Mitglied der Baskischen Forschungs- und Technologieallianz (BRTA). Das Zentrum ist auf Verbindungstechnologien für Materialien spezialisiert. Goierri Eskola ist ein pluralistisches und partizipatives Lehrzentrum, das sich an Studenten richtet, die die Pflichtschule in Spanien abgeschlossen haben. Der Masterstudiengang richtet sich an Absolventen des Maschinenbaus und technische Ingenieure. Er richtet sich auch an Absolventen der Physik und des Chemieingenieurwesens mit einer Lizenz. Außerdem werden Techniker mit einer Berufserfahrung von mindestens drei Jahren nach einer sorgfältigen Prüfung der Vorkenntnisse (Recognition of Prior Learning (RPL)) zugelassen. Der Kurs umfasst 1165 Stunden, ist in zwölf Module unterteilt und dauert ein ganzes Semester. Zusätzlich wird ein Kurzstudiengang angeboten, bei dem keine Abschlussarbeit geschrieben werden muss. Website: <https://www.mondragon.edu/cursos/es/tematicas/ingenieria-mecanica-procesos-fabricacion/master-en-fabricacion-aditiva-industrial>.

4.1.1.2 Lehrtätigkeit

Der Unterricht findet in Form von Präsenzmaßnahmen statt. Jedes Modul ist in Praktika und Lehrveranstaltungen unterteilt, um auch die praktischen Kenntnisse zu fördern. In den verschiedenen Modulen werden unterschiedliche Aspekte von AM gelehrt, wobei der Schwerpunkt auf der praktischen Anwendung von Metall-AM liegt. Die

verschiedenen Module können als Kompetenzeinheiten betrachtet werden, die auch einzeln unterrichtet werden können. Die Präsenzphase umfasst 265 Stunden.

- M1 - Einführung in AM und wirtschaftliche Aspekte (PDF)
- M2 - Verschiedene Technologien im AM (PDF und Demonstration)
- M3 - Designüberlegungen, Elemente und Werkzeuge (Software)
- M4 - Produktentwicklung Metall-AM: Materialarten, Verarbeitung und Optimierung (PDF)
- M5 - Produktentwicklung Polymer AM: Materialtypen, Verarbeitungstechniken und Optimierung (PDF)
- M6 - Herstellung von Metall-AM-Produkten - Fehler und Nachbearbeitung (PDF und praktisch)
- M7 - Herstellung von Polymer-AM-Produkten - Fehler und Nachbearbeitung (PDF und praktisch)
- M8 - Andere Materialien (PDF)
- M9 - Industrialisierung der AM-Prozesskette (PDF)
- M10 - Praktische Tätigkeiten (Praktische Goierri und Lortek)
- M11 - Masterarbeit

Es sind auch Kurzlehrgänge oder Kompetenzeinheiten verfügbar, die darauf abzielen, die Kenntnisse in einem bestimmten Bereich der AM zu erweitern. Die folgenden Kurzlehrgänge sind verfügbar:

- AM für Gießverfahren - 12 Stunden
- AM von Kunststoffen und Verbundwerkstoffen für Berufstätige - 12 Stunden
- AM von Metallen für Berufstätige - 18 Stunden
- AM-Design für Berufstätige - 30 Stunden

4.1.1.3 Fallstudien

Während des Semesters haben die Studierenden sechs Monate Zeit, ein Produkt zu entwickeln, für das grundlegende Anforderungen wie das Produkt und die Beschreibung der Merkmale vorgegeben werden (projektbasiertes Lernen). Das Ergebnis dieses Projekts ist die Neugestaltung eines Produkts, das entlang der gesamten Prozesskette bis zur Industrialisierung betrachtet wird. Die Schüler werden sowohl wirtschaftliche Aspekte als auch Produktions- und Designaspekte bewerten und darüber hinaus Technologie und Material auswählen. Das Ergebnis ist ein Bericht von 70/80 Seiten, in dem die Gründe und Schritte der Produktentwicklung erläutert werden. Jedes Jahr wird ein neues Teil ausgewählt. Die Fallstudie ist auf 400 Stunden angesetzt.



Abbildung 7: Neu zu gestaltende Original-Drohnenarme



Abbildung 8: Von Studenten im AM-Master-Kurs neu gestaltete Drohne

Der gesamte Kurs umfasst die Erstellung einer Masterarbeit, für die 500 Stunden veranschlagt sind und die drei Monate dauern wird. Das Masterprojekt sollte idealerweise vom Masterstudenten in Zusammenarbeit mit dem aktuellen Unternehmen, in dem er arbeitet, entwickelt werden (der Schwerpunkt liegt auf einer Forschungs- und Technologieorganisationen oder einem Industrieunternehmen). Damit ist die Nähe zu einem realen Arbeitsumfeld gegeben. Um die Teile zu entwickeln, werden die Studierenden ermutigt, modernste, aber auch leicht verfügbare Software zu verwenden, um sich mit der Software vertraut zu machen. Zu den Software-Ressourcen gehören die folgenden (2020):

- GRANTA EduPack Materialauswahl SW von GRANTA
- 3DExperience-Plattform
- Spezielle Software für die Konstruktion (SOLIDWORKS, CATIA)

- Topologieoptimierung (Altair INSPIRE)
- FEM-Simulation (Dassault Systemes ABAQUS)
- Edition (Markforged EIGER, Materialise Magics)

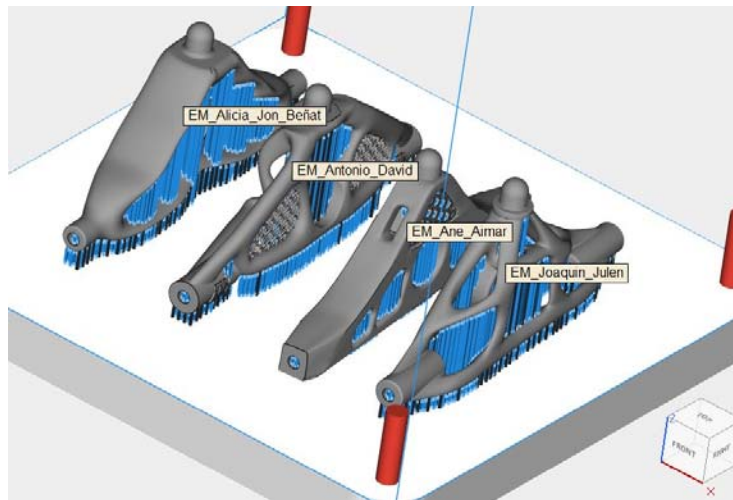


Abbildung 9: Verschiedene Skateboard-Achsenkonstruktionen

4.1.1.4 Lernspiele

Da sich der Kurs an Hochschulstudenten richtet, sind Lernspiele nicht Teil der Lehrumgebung. Die Studierenden werden jedoch ermutigt, die AM-Motion-App herunterzuladen, um ihre Kenntnisse in AM zu testen.

4.1.1.5 Lehrfabrik

Lortek oder Goierri Eskola werden nicht als Lehrfabriken betrachtet. Das Netzwerk zwischen Industriepartnern, Forschung (Lortek) und Goierri (Universität) und die Konzentration auf Industrieprojekte kann jedoch als Lehrfabrik betrachtet werden.

4.1.1.6 Erweiterte Realität

Augmented Reality wird derzeit im Rahmen des AM-Masterstudiengangs nicht eingesetzt. Es wird erwogen, Schweißsimulatoren einzusetzen, allerdings werden derzeit alle Schweißpraktiken in Echtzeit durchgeführt.

4.1.2 LZH Laser Akademie GmbH

4.1.2.1 Lehrgang: Fachkraft für Additive Fertigungsverfahren - Metall

Die LZH Laser Akademie GmbH ist eines der führenden Ausbildungszentren für angewandte Lasertechnik in Deutschland.

Gemeinsam mit der SLV Hannover bietet die LZH Laser Akademie seit 2016 als erste Institution in Deutschland einen neuen zertifizierten Weiterbildungslehrgang zur "Fachkraft für additive Fertigung - Metall" an. Der Kurs dauert eine Woche und schließt mit einer Prüfung ab.

Die Weiterbildung zur *Fachkraft für Additive Fertigungsverfahren - Metall* richtet sich an alle Kompetenzstufen von Ingenieur bis Bediener. Sie richtet sich an qualifizierte Facharbeiter, Meister und Techniker, die für den Betrieb von Anlagen zum selektiven Laserstrahlschmelzen verantwortlich sind oder sein werden und empfiehlt sich auch für Ingenieure, Konstrukteure und Produktionsleiter, die grundlegende und umfassende Kenntnisse über die Einsatzmöglichkeiten in der Produktion erwerben wollen.

Der Kurs vermittelt umfassendes Wissen über die Prozessprinzipien und Prozessparameter sowie über die einzelnen Schritte der Bauteilherstellung entlang der Prozesskette.

Weitere Informationen finden Sie auf der deutschen Website der LZH Laser Akademie: <https://www.lzh-laser-akademie.de/de/seminare/lasermaterialbearbeitung/fachkraft-fuer-additive-fertigungsverfahren-metall/>

Aufbau des Kurses:

Die Kurse umfassen 40 Kontaktstunden inkl. Bewertung und werden in Vollzeit innerhalb von fünf Tagen durchgeführt.

Der Kurs findet als Präsenzunterricht im Klassenzimmer und im Labor statt. Der Unterricht wird von Experten erläutert und ist in theoretische und praktische Einheiten unterteilt.

Die im Unterricht verwendeten Methoden sind eine Kombination aus Vorlesungen, die durch Präsentationen und Fallstudien unterstützt werden, um die theoretischen Grundlagen zu vermitteln und das Gelernte zu vertiefen. Die praktische Ausbildung nimmt etwa die Hälfte der Kursdauer in Anspruch (~18 Stunden) und findet als Kombination aus Vorführungen und praktischen Einheiten statt, die auf den Theorieeinheiten aufbauen und diese vertiefen. Dieses Vorgehen ermöglicht es den Teilnehmern, das theoretisch erworbene Wissen unter Anleitung direkt in der Praxis zu erproben.

Die Kombination aus Vortrag, Fallbeispielen, praktischer und theoretischer Schulung ist ideal geeignet für die Vermittlung von Kenntnissen in den Bereichen: Softwarehandling für die Teile- und Auftragsvorbereitung, Maschinenvorbereitung, Starten und Überwachen des Fertigungsauftrags, Entnahme und Nachbearbeitung der Teile nach dem Fertigungsauftrag, Qualifizierungssicherung/Teilprüfung.

Zielwissen und -fähigkeiten:

- Kenntnisse über allgemeine AM-Prozesse und Materialien (alle Materialien)
- Detaillierte Kenntnisse über Metall-AM-Prozesse
- Detaillierte Kenntnisse über PBF-LB und DED-LB Prozesse (Materialien, Maschinensysteme, Software, Nachbearbeitung, Durchführung von Bauaufträgen mit kompletter Prozesskette durch Teilnehmer)

- Durch das Fachkraft-Seminar wird ein fundiertes Wissen über Metall-AM-Prozesse vermittelt. Das Training für Ingenieure und fortgeschrittene Facharbeiter zielt darauf ab, ein grundlegendes Wissen über AM-Prozesse und ein fundiertes Wissen über Metall-AM-Prozesse sowie Erfahrung in der Durchführung eines PBF-LB-Prozesses zu erlangen (wie ist das Vorgehen, was sind auftretende Fehler und was ist zu tun, um sie zu korrigieren), aus unserer Sicht sind die Methoden recht erfolgreich, um das Ziel der Seminare zu erreichen).

Prüfung

Die Prüfung wird am 5. Ausbildungstag durchgeführt. Mit schriftlichen und mündlichen Prüfungen wird das gesammelte Wissen über alle Lerninhalte bestätigt. Bei erfolgreicher Teilnahme wird das Zertifikat "Fachkraft für additive Fertigungsverfahren - Metall" erworben.

Bewertung

Zum Abschluss des Seminars wird die Bewertung der Schulung mit einem anonymen Fragebogen durchgeführt.

4.1.3 Irisch Manufacturing Research (IMR)

4.1.3.1 Erweiterte Realität

Das IMR hat zusammen mit 9 anderen Unternehmen ein Augmented-Reality-Tool namens XR-adopt entwickelt. Dieses Tool kann für die Schulung von Mitarbeitern verwendet werden.



In den Bereichen digitale Anzeigen, Bildverarbeitung, Bewegungserkennung, maschinelles Sehen und Objektverfolgung wurden enorme Fortschritte erzielt. All diese kombinierten technischen Fortschritte haben zur Entwicklung mehrerer, weitreichend leistungsfähiger und genauer XR-Einrichtungen geführt, und das zu einem Bruchteil der bisherigen Kosten.

Auch die XR-Gemeinschaft der digitalen Schöpfer und potenziellen Nutzer ist exponentiell gewachsen. Das Ergebnis ist die Entstehung mehrerer Software- und Hardwareanbieter, ein viel größerer Markt, neue Investitionen und weitgehend vereinfachte Softwareentwicklungspipelines.

Ein Unternehmen steht bei der Einführung der XR-Technologie vor mehreren Herausforderungen. In einer sich schnell verändernden Landschaft mit Anbietern, die in diesem Bereich ein- und aussteigen, ständigen Hardware- und Software-Iterationen und unbestätigten Befürwortern auf Unternehmens- oder Konzernebene haben Unternehmen nicht die Ressourcen, um viele dieser Optionen zu bewerten oder Erfahrungen zu sammeln, um fundierte Entscheidungen zu treffen.

Trotzdem hat sich die XR-Technologie in einer Vielzahl von Anwendungsfällen als äußerst wertvoll erwiesen. XR-Adopt ist eine Zusammenarbeit von 9 Unternehmen, die alle anspruchsvolle Anwendungsfälle haben, für die XR eine kostengünstige Lösung bietet. Die Ergebnisse sind für einen großen Teil der irischen Industrie anwendbar.

4.1.4 IDONIAL

4.1.4.1 Lernspiele

Idonial entwickelt die App AM-Motion, die ein Quiz enthält, mit dem das Wissen der Nutzer über AM getestet werden kann. Abbildung 10 zeigt einige Screenshots der App mit den enthaltenen Informationen und ein Beispiel für das Quiz.

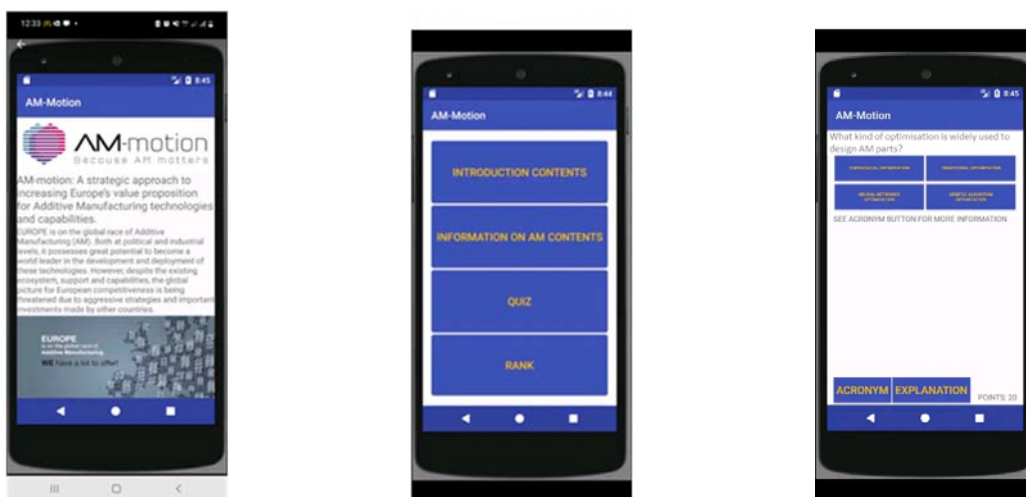


Abbildung 10: Screenshots der von Idonial entwickelten AM-Motion-App.

4.1.5 Lernsoftware - Granta EduPack

GRANTA EduPack ist ein einzigartiges Paket von Unterrichtsressourcen und Software zur Unterstützung der Werkstoffausbildung in den Bereichen Technik, Design, Wissenschaft, nachhaltige Entwicklung und AM. Es bietet eine umfassende Datenbank mit Material- und Prozessinformationen, einschließlich AM, Datenverarbeitung und -analyse (Ashby-Plots), eine Reihe von unterstützenden Ressourcen: z. B. Vorlesungen, Projekte und Übungen. GRANTA EduPack ist in drei Stufen unterteilt, so dass die Studierenden im Laufe ihres Studiums, d. h. von der Voruniversität bis zum Aufbaustudium, Zugang zu einem angemessenen Niveau an Werkstoffinformationen haben. Es wird unter vielen verschiedenen Umständen für Lehrmaterialien im Zusammenhang mit AM verwendet: manchmal in gut ausgestatteten Computerlabors, manchmal im Selbststudium unter Verwendung des eigenen Laptops. Es kann grundlegend in die Lehrpläne integriert und ein wesentliches Hilfsmittel für die Studenten eines jeden Jahrgangs sein; es kann aber auch einfach als Datenressource und zur Erstellung großartiger Vorlesungen mit klaren und ansprechenden Diagrammen zur Veranschaulichung von Konzepten verwendet werden.

In der Software gibt es Ideen, wie die Elementdatenbank verwendet werden kann, um Trends und Beziehungen zwischen den Eigenschaften des Periodensystems zu veranschaulichen; wie einfache Blasendiagramme von Elastizitätsmodul und Dichte verwendet werden können, um den Schülern zu helfen, die verschiedenen Materialfamilien zu verstehen und was (z. B. Bindung und Kristallstruktur) ihre Eigenschaften beeinflusst. Die Schülerinnen und Schüler können sich zu Science Notes durchklicken, die die Theorie vertiefen und Verweise auf Standardtexte enthalten. Themen wie Phasendiagramme und Kristallographie können mit interaktiven Werkzeugen in der neuen MS&E Edition von GRANTA EduPack behandelt werden. Wärmebehandlung und andere Möglichkeiten zur Beeinflussung der Eigenschaften von Materialien werden ebenfalls leicht veranschaulicht. Die Schüler können dann auf der Grundlage dieser Eigenschaften Werkstoffe für ein Projekt auswählen und so eine Perspektive dafür entwickeln, wie sich die Grundlagen der Wissenschaft auf reale technische Anwendungen übertragen lassen.

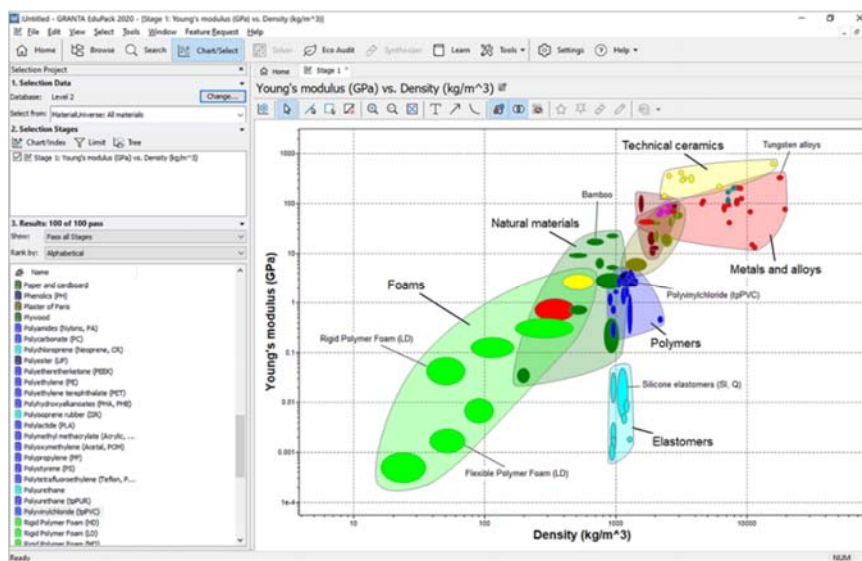


Abbildung 11: Ein Bildschirmfoto von Granta EduPack

Bei der Verwendung der Granta EduPack Software für das Lehren und Lernen über Werkstoffe sind mehrere Lehransätze anwendbar, wobei eine wachsende Anzahl von Ressourcen auf AM-spezifische Werkstoffe und Prozesse ausgerichtet ist:

Ein designorientierter Ansatz: Bei diesem Ansatz beginnt der Schüler mit einer Designaufgabe. Die Software ermöglicht es ihnen, die Materialfamilien zu identifizieren, die ihre Anforderungen am besten erfüllen. Sie können dann erforschen, warum verschiedene Materialien unterschiedlich funktionieren, indem sie sich in die EduPack-Informationsressourcen vertiefen, um mehr über die zugrunde liegende Wissenschaft zu erfahren.

Unterricht im Klassenzimmer: Es werden vorgefertigte PowerPoint-Vortragseinheiten und zugehörige Übungshefte zur Verfügung gestellt. Zur Veranschaulichung eines bestimmten Punktes können maßgeschneiderte Materialeigenschaftsdiagramme erstellt und in PowerPoint kopiert oder als Projektdatei gespeichert und in der Software geöffnet werden, so dass Sie das Diagramm während Ihres Vortrags in Echtzeit mit Anmerkungen versehen können. Die Software wird auch als Grundlage für kurze, praktische Schülerübungen während des Unterrichts oder als "Hausaufgaben" verwendet. Das EduPack Lehrmittel bietet solche Übungen. Die Schüler können das Material untersuchen und Berichte oder Poster erstellen, um ihren Lernerfolg zu belegen.

Projektbasiertes Lernen: Unterstützung von Studentenprojekten, sowohl als umfassende Informationsquelle als auch unter Verwendung von Materialauswahl, Öko-Audit und anderen Modellierungswerkzeugen zur Lösung von materialbezogenen Problemen. Diese Projekte können von kurzen Übungen im Rahmen eines Einführungskurses (Beispiele sind in den GRANTA EduPack Lehrressourcen enthalten) bis hin zu umfangreichen Designprojekten für das letzte Schuljahr oder sogar Forschungsprojekten auf Masterniveau (unter Verwendung der detaillierten Daten in der EduPack Level 3 Datenbank) reichen.

Problemorientiertes Lernen: Wenn die Schüler die Software nutzen, um Konstruktions- oder Materialprobleme zu lösen, können sie leicht Informationen abrufen, die die technischen und wissenschaftlichen Prinzipien hinter den untersuchten Eigenschaften und Materialien erklären. Diese Fähigkeit eignet sich gut für problemorientierte Ansätze, bei denen die Schüler ermutigt werden, ihr Fachwissen zu erweitern, indem sie Probleme und Konzepte erforschen, die sich bei der Lösung eines bestimmten Problems ergeben.

Selbstunterricht: Einschreibung und campusweite Lizenzen von GRANTA EduPack in ganz Europa erlauben es jedem Studenten des teilnehmenden Kurses, die Software auf seinem eigenen Laptop oder PC zu installieren. Das bedeutet, dass GRANTA EduPack ein leistungsfähiges Hilfsmittel für Fernunterricht und andere Kurse sein kann, bei denen die Studenten einen wesentlichen Teil ihres Lernens aus der Ferne oder in ihrer eigenen Zeit erledigen müssen. Es werden umfangreiche Ressourcen für die Studenten bereitgestellt, einschließlich 'Teach Yourself'-Büchern, Glossaren und Fallstudien.

4.2 Meta-Analyse der im Rahmen des SAM-Projekts durchgeführten Pilotstudien und Erhebungen

4.2.1 Pilotstudien

Wie in der Einleitung erwähnt, wurden im Rahmen des SAM-Projekts verschiedene Pilotkurse für Fachleute überarbeitet oder neu eingeführt. Dieser Abschnitt befasst sich mit der Integration der oben genannten Lernkontexte und -instrumente, die hier aufgelistet sind, und hilft zu verstehen, welche davon erfolgreicher genutzt wurden als andere. Da die COVID 19-Krise genau zu Beginn der Pilotphase eintrat, wurde der Großteil der Pilotkurse als Online-Kurse durchgeführt. Die Mitglieder gaben an, dass diese Kurse unter "normalen" Umständen in einem theoretischen und einem praktischen Teil durchgeführt worden wären. Während der Pilotphase (1st und 2nd) wurden 29 Pilotkurse durchgeführt, davon 17 in der ersten und 12 in der zweiten Phase. In der ersten Phase wurden die 12 CUs, die das Berufsbild des Prozessingenieurs vervollständigen, von den SAM-Partnern durchgeführt. Die Umsetzung der verschiedenen CUs durch die Partner war gleichmäßig verteilt. Zusätzlich wurden 3 Werkstoff-CUs unterrichtet und 2 CUs, die dem Berufsbild des Metall-AM-Designers entsprechen. Die folgenden Partner haben diese 17 Pilotaktivitäten in der ersten Phase organisiert und durchgeführt: LORTEK, ANSYS GRANTA, AITIIP, FA, IMR, LMD, EC Nantes, MTC, POLIMI, ISQ, UBRUN, EPMA, IDONIAL. Insgesamt nahmen 732 Studierende an dieser ersten Pilotphase teil.

Im Rahmen dieser Pilotmaßnahmen wurden detaillierte Informationen über den Schulungskontext und die verwendeten Instrumente erfasst. Es ist erwähnenswert, dass viele dieser Pilotaktivitäten im ersten Semester des Jahres 2020 durchgeführt wurden, als in den europäischen Ländern eine allgemeine Schließung stattfand.

Die Analyse der eingesetzten Lerninstrumente und -kontexte wurde in der zweiten Runde der Pilotstudien wiederholt. In diesem Fall wurden 10 Pilotaktivitäten von verschiedenen Partnern durchgeführt, darunter UBRUN, ISQ, MTC, LAK, LMS, FA, AITIIP, IDONIAL, ECNANTES, POLIMI, LORTEK und IMR. Insgesamt nahmen 261 Studierende an dieser zweiten Phase teil. In diesem Fall wurden die neuen CUs ausgewählt, die für das Berufsprofil Designer für

Polymere geschaffen wurden, sowie zwei neue Kompetenzeinheiten in Bezug auf Zertifizierung und Normung und Wirtschaft.

Competence Unit	Organizer
CU 00: Additive manufacturing Process Overview	Lortek (support Granta)
CU 01: DED-Arc Process	AITIP
CU 08: DED-LB Process	FA
CU 15: PBF-LB Process	IMR
CU 25: Post Processing	LMS
CU 34: Process selection	EC Nantes
CU 35: Metal AM integration	AITIP
CU 36: Coordination activities	MTC
CU 43: Production of PBF-LB parts	PCLIMI
CU 44: Conformity of PBF-LB parts	PCLIMI
CU 45: Conformity of facilities featuring PBF-LB	ISQ
CU 26: Introduction to materials [optional]	UBRUN/Granta
CU 27: AM with steels feedstock (excluding Stainless Steel)	EPMA
CU 30: AM with Nickel feedstock	EPMA
CU 31: AM with Titanium feedstock	Lortek
CU61 (should be done if possible): Simulation Analysis	Idoniql
CU62: Simulation Execution	Granta

Competence Unit	Organizer	Mode of training
CU 65 - Overview on polymer materials and properties	UBRUN (support Granta)	
CU 65 - Overview on polymer materials and properties	ISQ	
CU 66 - Designing Polymers AM Parts	MTC (support: AITIP)	
CU 67 - Post Processing for Polymers	LAK	
CU 68 - Design for Material Extrusion	LMS	
CU 68 - Design for Material Extrusion	FA	
CU 69 - Design for PBF Polymer	LMS (support: AITIP & IDONIAL)	
CU 64 - Business for Additive Manufacturing	EC Nantes (support: PCLIMI)	
CU 63 - Certification, Qualification and Standardisation in	LORTEK	
CU 63 - Certification, Qualification and Standardisation in	IMR (support: MTC)	

D3.3 Operational guide line on context and training tools

Competence Unit	Organizer	Mode of training	Participants (including number of attendees, age range, profession, etc)	Training tool kits			
				Training context (Description of the context used in training (e.g. classroom, Lab, etc))	Training tools (Description of the training tools (e.g. lecturing, project, case study, etc))	Practical exercises (If it is used)	Restrictions & Difficulties (Description of any limitation preventing to use specific training tool technologies, it is very difficult to provide practical tools as most companies have maybe only a few in-house)
CU 00: Additive manufacturing Process Overview	Lortek (support Granta)	presential	16 Participants, 20-35 age range, 3 Women, 13	Classroom teaching over a few days.	The pilot was carried out by several experts in their area of expertise. The presentations were given in form of lecturing.	Practical exercises were only performed in terms of showing parts manufactured in the different (if applicable) technologies.	
CU 01: DED-Arc Process	AITIP	presential	18 Participants, 26-40 age range, 5 Women, 13	Classroom teaching over 5 days.	Presentations, peer instruction, KRACKEN example (AITIP development) and real cases discussion (LBP) were used	Videos and practical explanations were used to increase the involvement of the students in the training	This CU is very long and was complicated to students to maintain focused all the training
CU 08: DED-LB Process	FA	Online	11 Participants, five: < 26 age range, three: 26-35 age range, 2 Women, 6 Men, at Portugal all	3 days online course	Lecturing	No	the duration of the course per day and some changes that were performed due to COVID-19
CU 15: PBF-LB Process	IMR	Online	60 Participants 95% of participants were male. 53% were between the ages of 26 and 35. 50% of all attendees were working in the Health Industry. 95% of attendees had a Bachelor's or Master's degree	4 days online course	Lecturing	No	Due to COVID 19 the course was too theory heavy and this is not relevant to industry where expertise in practice is vital. Contact was also limited because of current restrictions preventing face-to-face. Online content should be reviewed multiple times to reinforce theory.
CU 25: Post Processing	LMS	on line	21 participants, 26-35 age range, students and professionals, 1 at Belgium, 4 at Greece, 3 at Portugal, 3 at India, 1 at Turkey, and 1 at Nigeria.	On line course separated in 2 days	Lecturing	No	No practical exercise was done due to on line mode of the course
CU 34: Process selection	EC Nantes	on line	13 Master students in industrial engineering - gender: 92% male & 8% female age range: all <35 years old Origin: France, Italy, China, Iran, India	On line classroom	Lecturing - Providing some case studies - Hands on experience	Perform cost estimation to compare a traditional manufacturing route (injection molding) with layer manufacturing processes (Stereolithography SL, Fused deposition modelling FDM and Laser sintering LS) in terms of the unit cost for parts made in various quantities. Students were given necessary information to solve a case study including: Assumptions (e.g. AM machines specifications, etc.), The cost model equations, and Requirement for the cost estimation for different AM process including SL, FDM and LS.	Restriction on the use of team working and group discussion activities prevented practicing decision-making skills, mostly for case study analysis. Impossibility to use some practical training tools required to demonstrate the AM technologies and processes
CU 35: Metal AM integration	AITIP	presential	18 Participants, 26-40 age range, 5 Women, 13	Classroom teaching over 3 days.	Presentations, peer instruction and real cases discussion (LBP) were used	Increase the involvement of the students in the training	The students suggested to use more practical cases and to do shorter sessions.
CU 36: Coordination activities			35 participants, 87% male, 13% female. 20% <25 yrs old, 43% 26-35, 33% 36-55, 3% >55	10 lecture sessions undertaken in one	Powerpoint presentations supported by		requested; less material to be used or more time as the course was too intensive. More case studies and practical /discussive elements preferred. Clarification to the assessment questions

Abbildung 12: Daten aus den in der ersten Phase abgeschlossenen Pilotstudien. Oben die Liste der CUs, die von verschiedenen Partnern pilotiert wurden

Im Allgemeinen bestand der theoretische Unterricht sowohl aus einer allgemeinen Übersicht über die angewandten Verfahren als auch aus detaillierten Informationen über den AM-Prozess, seine Vor- und Nachteile.

Im praktischen Teil der Pilotprojekte mussten die Teilnehmer ein Produkt mit Hilfe von AM-Techniken herstellen. In den Pilotprojekten CU 68 - **Design für Materialextusion** und CU 69 - **Design für PBF-Polymere** wurden die Teilnehmer gebeten, einen Handständer mit AM-Verfahren zu entwerfen.

Während der Schulung und um die Interaktion und das Engagement der Lernenden zu erhöhen, wurden Live-Umfragen mit Slido, Kahoot! und anderen Plattformen zur Verbesserung des Online-Engagements der Lernenden durchgeführt, um den Teilnehmern die Möglichkeit zu geben, mehr zu lernen, die Kommunikation mit den

Ausbildern zu verbessern und die Entscheidungsfindung in Bezug auf das Design und die Fertigstellung der zu erstellenden Produkte zu verbessern. Umfragen können sowohl in persönlichen als auch in Online-Lernforen eingesetzt werden.

4.2.2 Systematische Analyse

Eine systematische Analyse auf der Grundlage der in WP3 entwickelten Methodik zur Unterstützung der Durchführung von AM-Schulungskursen wurde durchgeführt, um die Qualität der Pilotaktivitäten zu überwachen und um Schlussfolgerungen zu ziehen und potenzielle Verbesserungsbereiche zu ermitteln. Alle Partner, die die Umsetzung der einzelnen Pilotaktivitäten leiteten, wurden gebeten, die nächste Vorlage auszufüllen, um diese systematische Analyse abzuschließen. Die Analyse wurde auf der Grundlage der vier Kategorien von Kompetenzen durchgeführt, die im SAM-Projekt angesprochen werden, nämlich: technologische, grüne, digitale und unternehmerische.

"Technologische Fähigkeiten" werden definiert als "Fähigkeit, Wissen und Know-how anzuwenden, um Aufgaben zu bewältigen und Probleme zu lösen" [im Rahmen spezifischer Tätigkeiten]" (nach CEDEFOP 2008)

<https://www.cedefop.europa.eu/en/projects/validation-non-formal-and-informal-learning/european-inventory/european-inventory-glossary#S>

Beispiele für Fähigkeiten im Zusammenhang mit der Additiven Fertigung: *AM-Prozesse; numerische Modellierung; Simulation; CAPP (Computer Aided Process Planning) für AM; Topologieoptimierung; Design für AM; strukturelle Integrität; Materialanalyse und -charakterisierung; Vorverarbeitung und Materialhandhabung; Nachbearbeitung usw.*

*Quelle: AM-Experten wurden konsultiert, um die Liste der technologischen Fähigkeiten in der AM zu erstellen. Die Liste ist nicht vollständig und muss weiter ausgewertet werden, um sektor- und/oder profilspezifische Fähigkeiten zu ermitteln.

"Digitale Kompetenzen" werden definiert als "eine Reihe von Fähigkeiten zur Nutzung digitaler Geräte, Kommunikationsanwendungen und Netzwerke für den Zugang zu und die Verwaltung von Informationen. Sie ermöglichen es den Menschen, digitale Inhalte zu erstellen und zu teilen, zu kommunizieren und zusammenzuarbeiten und Probleme zu lösen, um sich im Leben, beim Lernen, bei der Arbeit und bei sozialen Aktivitäten im Allgemeinen effektiv und kreativ zu verwirklichen" (UNESCO, 2022)

<https://www.unesco.org/en/articles/digital-skills-critical-jobs-and-social-inclusion>

Beispiele für Fähigkeiten im Zusammenhang mit der Additiven Fertigung: *Digitale Datenanalyse (künstliche Intelligenz, maschinelles Lernen); digitales Datenmanagement (Big Data, Statistik,...); die Fähigkeit, in 3D zu denken; Cybersicherheit; Codierung / Programmierung.*

*Quelle: AM-Experten wurden konsultiert, um die Liste der digitalen Fähigkeiten in der AM zu ermitteln. Später wurde die DiGComp für die weitere Nutzung in Abstimmung mit AM-spezifischen Sektoren verwendet.

"Grüne Kompetenzen" werden definiert als "Wissen, Fähigkeiten, Werte und Einstellungen, die erforderlich sind, um in einer nachhaltigen und ressourceneffizienten Gesellschaft zu leben, sie zu entwickeln und zu unterstützen (CEDEFOP, 2015) <https://www.unido.org/stories/what-are-green-skills>,

Beispiele für Fähigkeiten im Zusammenhang mit der Additiven Fertigung: *Ressourceneffizienz, Umweltbewusstsein, Lebenszyklusanalyse (LCA), Ökodesign, Kreislaufwirtschaft, grüne Ressourcen und grüne Produkte.*

*Quelle: Die Einteilung in AM Green skills basiert auf der CEDEFOP-Publikation "Green skills and innovation for inclusive growth" [<https://www.cedefop.europa.eu/en/publications/3069>,"

"Entrepreneurship oder unternehmerische Fähigkeiten" werden definiert als "transversale Schlüsselkompetenzen, die von Einzelpersonen und Gruppen, einschließlich bestehender Organisationen, in allen Lebensbereichen eingesetzt werden können" **oder** "wenn man Chancen und Ideen aufgreift und sie in Werte für andere umwandelt." Der Wert, der geschaffen wird, kann finanziell, kulturell oder sozial sein." (ENTRECOMP, 2016)

https://joint-research-centre.ec.europa.eu/entrecomp-entrepreneurship-competence-framework_en

Beispiele für Fähigkeiten im Zusammenhang mit der Additiven Fertigung: *Kommunikation, Teamarbeit, Umgang mit Kunden, Problemlösung, Lernen, Planung und Organisation, Erkennen von Chancen, Kreativität, Wertschätzung von Ideen, Selbstbewusstsein und Selbstwirksamkeit usw.*

*Quelle: Der EntreCOMP-Rahmen wurde als Referenz in Kombination mit den transversalen Fähigkeiten im Skills Intelligence Tool verwendet.

Um die systematische Analyse zu vervollständigen, wurden die Partner gebeten, die technologischen, unternehmerischen, digitalen und umweltfreundlichen Kompetenzen zu identifizieren, die in ihren Pilotaktivitäten während der ersten und der zweiten Phase der Piloten, einschließlich der vollständigen CU und Themen, einbezogen wurden, und sie mit den von ihnen verwendeten Schulungsinstrumenten und Bewertungsmethoden zu verbinden. Daher wurde die Meta-Analyse grundsätzlich unter dem Gesichtspunkt der Kompetenzen durchgeführt. Der erste Schritt bestand darin, die folgende Tabelle zu vervollständigen.

Tabelle 5 Systematische Analyse der von der Brunel University und Ansys Granta durchgeführten Pilotstudien.

Gruppe von Fertigkeiten / Fertigkeitskategorien	Einheiten	Themen	Kontext der Ausbildung	Schulungsinstrument	Bewertungsmethoden/-tools	Einschränkungen
Technologisch	CU 26 (Brunel / Ansys): Additive Fertigung Prozessübersicht	Einführung in die Materialien (fakultativ)	8 Online-Sitzungen über Microsoft Teams	Online-Präsentationen, Demos, Umfragen vom Typ Mentimeter, Granta EduPack Fallstudien	Online-Quiz (Multiple Choice)	Keine praktischen oder Laborsitzungen, da der Kurs online durchgeführt wurde
	CU 61 (Ansys): Ausführung der Simulation	Simulation von Metall-AM	4 Schulungssitzungen online über Teams; On-Demand-Kurs über Ansys Learning HUB. Ansys-Software wurde zur Verfügung gestellt.	Fallstudien, Quiz, Videos, Chat/Forum	Online-Quiz (Multiple Choice)	Der Zugang zu Software für Schulungsaufgaben erfordert eine Lizenz. Additivspezifisches Wissen erfordert Vorkenntnisse über FEA/Ansys-Tool-Simulationen, die einige Teilnehmer nicht hatten.
Unternehmertum	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Digitale Kompetenzen	CU 61 (Ansys): Ausführung der Simulation	Simulation von Metall-AM-Fertigungen	Praktische Software-Kenntnisse	Ansys AM-Suite	Online-Bewertung	Der Zugang zur Software für Schulungsaufgaben erfordert eine Lizenz, die zur Verfügung gestellt wurde.
	-	-	-	-	-	-
Grüne Kompetenzen	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Tabelle 6: Systematische Analyse der von Lortek durchgeführten Pilotstudien (Unterstützung von Granta in CU00 und CQSAM in CU63).

Gruppe von Fertigkeiten / Fertigkeitskategorien	Einheiten	Themen	Kontext der Ausbildung	Schulungs-instrument	Bewertungs-methoden/-tools	Einschränkungen
Technologisch	CU 00 (Lortek): Additive Fertigung Prozessübersicht	Überblick über die Technologie	Unterricht im Klassenzimmer über mehrere Tage	Durchgeführt von mehreren Experten in ihrem jeweiligen Fachgebiet. Vorlesung, Demo/Laborbesichtigung	Schriftliche Prüfung (virtuell)	Da diese CU einen Überblick über alle Technologien bietet, ist es sehr schwierig, praktische Werkzeuge bereitzustellen, da die meisten Unternehmen vielleicht nur einige wenige im Haus haben.
		Laborbesuch, Ausrüstung, Komponenten und Teile				
		Prozess-Standards				
	CU 31 (Lortek): AM mit Titan als Ausgangsmaterial	Metall-AM-Übersicht	Unterricht im Klassenzimmer über mehrere Tage	Videos, Laborbesichtigung, makrografische Studien, Analyse von Papieren, Fallstudien	Multiple-Choice- Fragen Multiple-Choice- Fragen Praktische Prüfung, Mini- Projekte	Da das Unternehmen mit WAAM arbeitet und es im Haus hat, gab es keine Beschränkungen oder Einschränkungen.
		AM Design und Material				
		Anforderungen der Weiterverarbeitung und des industriellen Sektors				
CU 63 (Lortek): Zertifizierung, Qualifizierung und Standardisierung in der additiven Fertigung	Zertifizierung und Qualifizierung in AM	Online-Kurs 2 x 3,5 Stunden	Vorträge - mit Fallstudien und Interaktion über Slido, um die Öffentlichkeit einzubeziehen	Mündlich, Lesen, Schriftlich (Fragebogen)	Kurs als Webinar angeboten. Dies stand im Gegensatz zu unseren üblichen Studenten. Daher war es sehr schwierig, die Art der Kursteilnehmer zu kontrollieren. Außerdem wurden verschiedene Gastredner ausgewählt, um einen abwechslungsreichen Ansatz für den Unterricht zu wählen - da die Redner aus verschiedenen Unternehmen kamen, war der Ansatz für die Lehrzertifizierung unterschiedlich.	
	Standardisierung in AM					
	Anwendbarkeit dieser Verfahren in der AM- gestützten Prozesskette					
Unternehmertum	CU 31 (Lortek): AM mit Titan als Ausgangsmaterial	Wirtschaft und Produktivität	Unterricht im Klassenzimmer über mehrere Tage	Fallstudie, praktische Übungen	Multiple-Choice- Fragen Praktische Prüfung, Mini- Projekte	Da das Unternehmen mit WAAM arbeitet und es im Haus hat, gab es keine Beschränkungen oder Einschränkungen.
Digitale Kompetenzen	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Grüne Kompetenzen	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Tabelle 7 Systematische Analyse der von AITIIP durchgeführten Pilotstudien.

Gruppe von Fertigkeiten/Fertigkeitskategorien	Einheiten	Themen	Kontext der Ausbildung	Schulungsinstrument	Bewertungsmethoden/-tools	Einschränkungen
Technologische	CU 01 (AITIIP): DED- Bogenverfahren	Hardware und Betrieb	Unterricht im Klassenzimmer über 5 Tage.	Präsentationen, Peer- Instruktionen, KRAKEN- Beispiele (AITIIP- Entwicklung) und Diskussionen über reale Fälle (LBP) wurden eingesetzt	Schriftliche Prüfung (Fragebogen)	Videos und praktische Erklärungen wurden eingesetzt, um die Schüler stärker in die Ausbildung einzubeziehen.
		Ausgangsstoffe und Verbrauchsmaterialien				
	CU 35 (AITIIP): Metall-AM- Integration	Produktionsmanagement	Unterricht im Klassenzimmer über 3 Tage.	Präsentationen, Peer- Unterricht und Diskussionen über reale Fälle (LBP) wurden eingesetzt	Schriftliche Prüfung (Fragebogen)	Die Studenten schlugen vor, mehr praktische Fälle zu verwenden und die Sitzungen kürzer zu gestalten.
Unternehmertum	CU 01 (AITIIP): DED- Bogenverfahren	DED-Arc Fertigungsstrategie	Unterricht im Klassenzimmer über 5 Tage.	Präsentation, Videos, praktische Erläuterungen	Schriftliche Prüfung (Fragebogen)	Dieser CU ist sehr lang und es war für die Schüler schwierig, sich während der gesamten Ausbildung zu konzentrieren.
	CU 35 (AITIIP): Metall-AM- Integration	AM Kommerzielle Eingliederung	Unterricht im Klassenzimmer über 3 Tage.	Präsentationen, Peer- Unterricht und Diskussionen über reale Fälle (LBP) wurden eingesetzt	Schriftliche Prüfung (Fragebogen)	Die Studenten schlugen vor, mehr praktische Fälle zu verwenden und die Sitzungen kürzer zu gestalten.
Fallstudien		Mündliche Prüfung				
Digitale Kompetenzen	CU 01 (AITIIP): DED- Bogenverfahren	Software, Programmierung mit CURA, CAM	Unterricht im Klassenzimmer über 5 Tage.	Präsentation, Videos, praktische Erläuterungen	Schriftliche Prüfung (Fragebogen)	Dieser CU ist sehr lang und es war für die Schüler schwierig, sich während der gesamten Ausbildung zu konzentrieren.
	-	-	-	-	-	-
Grüne Kompetenzen	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Tabelle 8 Systematische Analyse der von der LMS durchgeführten Pilotstudien (Unterstützung: AITIIP & IDONIAL in CU69).

Gruppe von Fertigkeiten/Fertigkeitskategorien	Einheiten	Themen	Kontext der Ausbildung	Schulungsinstrument	Bewertungsmethoden/-tools	Einschränkungen
Technologisch	CU 25 (LMS): Nachbearbeitung	Thermische Behandlung	Online-Kurs in 2 Tagen getrennt	Online-Vorlesungen	Online-Multiple-Choice-Fragen	Aufgrund des Online-Modus des Kurses wurden keine praktischen Übungen durchgeführt.
		Plastische Verformung und subtraktive Fertigung				
		Veredelungsarbeiten				
	CU 68 (LMS): Konstruktion für die Materialextrusion	Grundlagen von AM und MEX	Online-Kurs in 2 Tagen getrennt	Vorlesung, Umfragen, Online-Fallstudie	Online-Prüfung	Natürlich ist die praktische Fallstudie vorzuziehen, aber aufgrund des Online-Modus war dies nicht möglich.
		Materialien für MEX				
		Überlegungen zur Gestaltung				
CU 69 (LMS): Entwurf für PBF Polymer	Grundlagen von AM und PBF	Online-Kurs in 2 Tagen getrennt	Online-Vorlesungen	Online-Prüfung	Vergrößerung der Teilnehmerzahl.	
	Materialien für PBF					
	Überlegungen zur Gestaltung					
Unternehmertum	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Digitale Kompetenzen	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Grüne Kompetenzen	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Tabelle 9 Systematische Analyse der vom POLIMI durchgeführten Pilotstudien.

Gruppe von Fertigkeiten/Fertigkeitskategorien	Einheiten	Themen	Kontext der Ausbildung	Schulungsinstrument	Bewertungsmethoden/-tools	Einschränkungen
Technologisch	CU 43 (POLIMI): Herstellung von PBF-LB-Teilen	Entwurf für AM	Fernstudium, Online- Unterricht + Praktika	Vorlesung, Labor mit Projektarbeit und praktischem Lernen, gemeinsame virtuelle Klasse mit zwei anderen Universitäten (TUM und MIT)	Online-Prüfung	Einschränkung der Laborbesuche aufgrund der COVID-Situation
	CU 44 (POLIMI): Konformität der PBF-LB-Teile	Sicherung der Qualität	Online- Klassenzimmer	Vorlesung, gemeinsame virtuelle Klasse mit zwei anderen Universitäten (TUM und MIT)	Online-Prüfung	
		AM-Prozess-Standards Materialien und Prüfungen				
Unternehmertum	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Digitale Kompetenzen	CU 43 (POLIMI): Produktion von PBF-LB-Teilen	Software für AM, Topologieoptimierung, CAD-STL-g-code	Fernstudium, Online- Unterricht + Praktika	Vorlesung, Labor mit Projektarbeit und praktischem Lernen, gemeinsame virtuelle Klasse mit zwei anderen Universitäten (TUM und MIT)	Online-Prüfung	
	-	-	-	-	-	-
Grüne Kompetenzen	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Tabelle 10 Systematische Analyse der mit EPMA durchgeführten Pilotstudien.

Gruppe von Fertigkeiten/Fertigkeitskategorien	Einheiten	Themen	Kontext der Ausbildung	Schulungsinstrument	Bewertungsmethoden /-tools	Einschränkungen
Technologisch	CU 27 (EPMA): AM mit Stählen als Ausgangsmaterial (außer nichtrostendem Stahl)	Werkstoffkunde von Stahl	10 Online-Sitzungen über Microsoft Teams	Vortragsfolien, EPMA-Veröffentlichungen	Online-Prüfung	Keine praktischen Sitzungen
	CU 30 (EPMA): AM mit Nickel als Ausgangsmaterial	Werkstoffkunde von Nickelbasislegierungen	3 Online-Sitzungen über Microsoft Teams	Vortragsfolien, EPMA-Veröffentlichungen	Online-Prüfung	
Unternehmertum	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Digitale Kompetenzen	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Grüne Kompetenzen	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Tabelle 11 Systematische Analyse der von MTC durchgeführten Pilotstudien.

Gruppe von Fertigkeiten/Fertigkeitskategorien	Einheiten	Themen	Kontext der Ausbildung	Schulungsinstrument	Bewertungsmethoden/-tools	Einschränkungen
Technologisch	CU36 (MTC): Koordinierungsmaßnahmen	AM-Management und operative Überlegungen	10 Vortrags-sitzungen an einem Tag (der Kurs wurde zweimal für verschiedene Jahrgänge durchgeführt - 12/1/21 und 15/1/21)	Powerpoint-Präsentationen, unterstützt durch Videos, Diskussionen und Mentimeter-Sitzungen	Online-Prüfung (Multiple Choice)	Keine Probleme mit der Durchführung, aber die Studierenden forderten weniger Material oder mehr Zeit, da der Kurs zu intensiv war. Mehr Fallstudien und praktische/diskursive Elemente wurden bevorzugt. Es wurde eine Klärung der Bewertungsfragen gefordert, die in einem separaten Bericht enthalten ist.

	-	-	-	-	-	-
Unternehmertum	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Digitale Kompetenzen	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Grüne Kompetenzen	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Tabelle 12 Systematische Analyse der von Idonial durchgeführten Pilotstudien.

Gruppe von Fertigkeiten/Fertigkeitskategorien	Einheiten	Themen	Kontext der Ausbildung	Schulungs-instrument	Bewertungs-methoden/-tools	Einschränkungen
Technologisch	CU61 (Idoinal): Simulationsanalyse	Finite-Elemente- Simulation und -Analyse	4 Schulungssitzun- gen, die per Fernzugriff über Microsoft Teams stattfinden	Lehrtätigkeit Fallstudien	Online-Prüfung	Der Kurs fand (COVID 19-Beschränkungen) vollständig auf Distanz statt. Dies stellte eine zusätzliche Schwierigkeit dar, wenn es darum ging, den Teilnehmern Szenarien vorzuschla- gen, die sie lösen sollten (praktische Übungen), sowie die eigene Komplexität der CU in Bezug auf das Verhältnis zwischen Inhalt und verfügbarer Zeit.
	-	-	-	-	-	
Unternehmertum	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	
Digitale Kompetenzen	CU61 (Idoinal): Simulationsanalyse	Topologieoptimierung, Ansys-Software	4 Schulungssitzun- gen, die per Fernzugriff über Microsoft Teams stattfinden	Lehrtätigkeit Fallstudien	Online-Prüfung	
	-	-	-	-	-	
Grüne Kompetenzen	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	

Tabelle 13 Systematische Analyse der vom ECNantes durchgeführten Pilotstudien.

Gruppe von Fertigkeiten/Fertigkeitskategorien	Einheiten	Themen	Kontext der Ausbildung	Schulungs-instrument	Bewertungs-methoden/-tools	Beschränkungen
Technologische	CU 34 (ECNantes): Auswahl des Verfahrens	AM Auftragsanalyse (Überblick über den AM- Prozess)	Online- Klassenzimmer	Vorlesungen - Video	Schriftliche Prüfung (MCQ)	Unmöglichkeit des Einsatzes einiger physischer laborgestützter Schulungsinstrumente (z. B. Teaching Factory), die das Lernen durch Handeln unterstützen - weniger Möglichkeiten für Teamarbeit und Gruppendiskussionen - Schwierigkeiten, den Grad des Engagements der Studierenden zu verstehen
		AM Auftragsanalyse (Design, Material, technische Spezifikation)		Vorlesung - Video - Fallstudie		
		AM Arbeitsplatzanalyse (Nachbearbeitung, Anforderungen des Industriesektors)		Vorlesungen - Video		
Unternehmertum	CU 64 (ECNantes): Unternehmen für Additive Fertigung	Geschäftsstrategien und -modelle	Online- Klassenzimmer	Lehrtätigkeit - Fallstudie	Schriftliche Prüfung (MCQ)	Weniger Möglichkeiten, den realen/fiktiven Business Case im Rahmen von Teamarbeit und Gruppendiskussionen in die Praxis umzusetzen - Unmöglichkeit, vor Ort Beispiele des AM-Prozesses zu demonstrieren
		Politik und Verwaltung		Lehrtätigkeit		
		Qualitätsmanagement, Planung und Kontrolle		Vorlesungen - Video		
		AM-Workflow- Management		Lehrtätigkeit		
	Budgetierung und Kosten	Vorlesung - Praktische Übung				
CU 34 (ECNantes): Auswahl des Verfahrens	Wirtschaft und Produktivität	Online- Klassenzimmer	Vorlesung - Praktische Übung	Schriftliche Prüfung (MCQ) - Praktische Prüfung		
-	-	-	-	-	-	-
Digitale Kompetenzen	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Grüne Kompetenzen	CU 64 (ECNantes): Unternehmen für Additive Fertigung	HSE & Nachhaltigkeit	Online- Klassenzimmer	Vorlesungen - Video	Schriftliche Prüfung (MCQ)	
	-	-	-	-	-	

Anhand dieser Vorlage wurde eine Meta-Analyse durchgeführt, die einen guten Einblick in die Anzahl der in den einzelnen Kompetenzeinheiten und Fächern abgedeckten Fertigkeiten, die Anzahl der für ihre Entwicklung verwendeten Schulungsinstrumente und die am häufigsten verwendeten Schulungsinstrumente nach Fertigkeitskategorie gab.

4.2.3 Erhebungen

Die Ergebnisse der Meta-Analyse, die mit den Daten der einzelnen Pilotaktivitäten durchgeführt wurde, wurden mit den Ergebnissen der zweiten Branchenumfrage abgeglichen, die im Januar und Februar 2022 durchgeführt wurde. Diese Umfrage richtete sich an die derzeitigen AM-Beschäftigten und Arbeitgeber. Obwohl das Hauptziel der Umfrage darin bestand, relevante Qualifikationslücken, den Abgleich zwischen Industrie und AM-Angebot und die Profile, die von der Industrie kurz- und mittelfristig am meisten benötigt werden, zu erfragen, beschlossen die SAM-Partner, auch einige zusätzliche Fragen zur zukünftigen Implementierung von AM in der Industrie zu stellen. Diese Fragen betrafen die Präferenzen für die Ausbildung, die zur Deckung des Qualifikationsbedarfs eingesetzt wird.

Es ist erwähnenswert, dass viele der derzeitigen Fachleute ihr Wissen und ihre Fähigkeiten in Kursen, im Selbststudium und durch Ausbildung am Arbeitsplatz oder durch Mentoring erworben haben. Daher ist es offensichtlich, dass es immer noch an einem formalen Bildungsrahmen fehlt, der die Standards und die Qualität der Lehrprogramme sicherstellen sollte. Darüber hinaus ist es wichtig festzustellen, dass die Arbeitnehmer Kurzlehrgänge besuchen wollen, die sich auf spezifische Kompetenzen oder AM-Themen konzentrieren, um mit Fallstudien, Arbeitsgruppen, problemorientierten Lernmethoden und Training am Arbeitsplatz zu arbeiten. Langfristige Kurse, die auf Präsenzunterricht und Vorlesungen basieren, sind nach Ansicht der Arbeitnehmer nicht die attraktivsten Lernkontexte und -instrumente. Die Schlussfolgerung aus dieser Analyse ist, dass Fortbildungskurse große Anstrengungen unternehmen sollten, um theoretische und Präsenzveranstaltungen zu konzentrieren und andere, aktivere Lernwerkzeuge außerhalb des Unterrichtsraums einzusetzen.

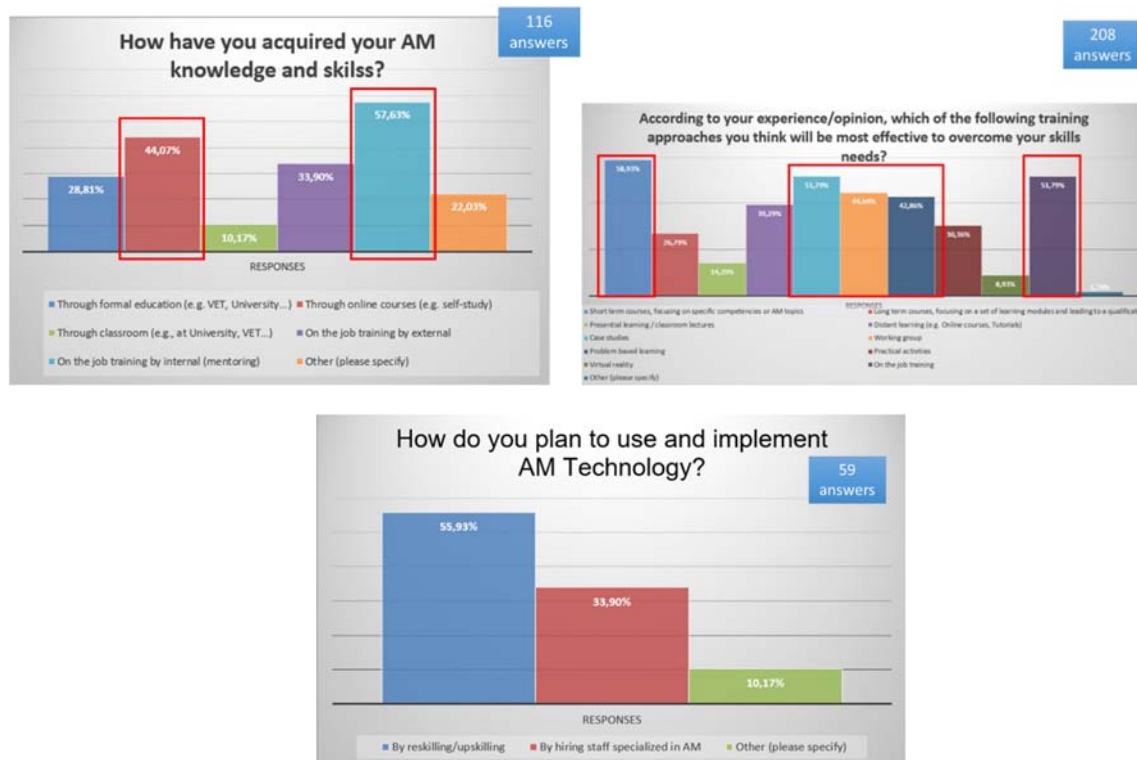


Abbildung 13: Ergebnisse der zweiten Umfrage in der Industrie, die die wichtigsten Präferenzen für die Ausbildung zeigen.

4.2.4 Schlussfolgerungen der Meta-Analyse

Die wichtigsten Ergebnisse der durchgeführten Meta-Analyse sind in den folgenden Schaubildern dargestellt. Darüber hinaus lauteten die wichtigsten Schlussfolgerungen:

- 1) Technologische Fähigkeiten wurden hauptsächlich in jeder CU und in verwandten Fächern angesprochen. Unternehmerische Fähigkeiten wurden auch in vielen Pilotaktivitäten angesprochen, darunter 5 CU und 10 Fächer. Digitale und vor allem grüne Kompetenzen wurden bei den Ausbildungsaktivitäten fast nicht behandelt.
- 2) Fast zwei Drittel der Pilottätigkeiten wurden online durchgeführt. Dies war vor allem auf die durch den Ausbruch von Covid-19 verursachten Einschränkungen zurückzuführen.
- 3) Vorlesungen, Fallstudien, Videos und praktische Aktivitäten waren die am häufigsten verwendeten Schulungsinstrumente zur Entwicklung technologischer Fähigkeiten. Für unternehmerische und digitale Fähigkeiten waren Vorträge und praktische Aktivitäten ebenfalls die bevorzugten Schulungsinstrumente. An dieser Stelle sollte noch einmal hervorgehoben werden, dass die Umsetzung einiger Instrumente wie Projekte, praktische Aktivitäten oder Arbeitsgruppen durch die Pandemiesituation beeinträchtigt wurde.
- 4) Um die Auswirkungen der Covid19-Pandemie auf die ausgewählten Schulungsinstrumente zu testen, wurde eine Analyse auf der Grundlage der Jahre durchgeführt. Auf diese Weise wurden die im Jahr 2020 abgeschlossenen Pilotaktivitäten unabhängig von den im Jahr 2021 durchgeführten Aktivitäten analysiert. Die Schlussfolgerung ist, dass während der Pilotaktivitäten im Jahr 2021 weniger Vorträge gehalten wurden, während die übrigen Schulungsinstrumente wie praktische Aktivitäten, Arbeitsgruppen oder Fallstudien gefördert wurden. Dies ermöglichte einen praktischeren und intensiveren Lehransatz, der von den Studierenden positiv aufgenommen wurde.

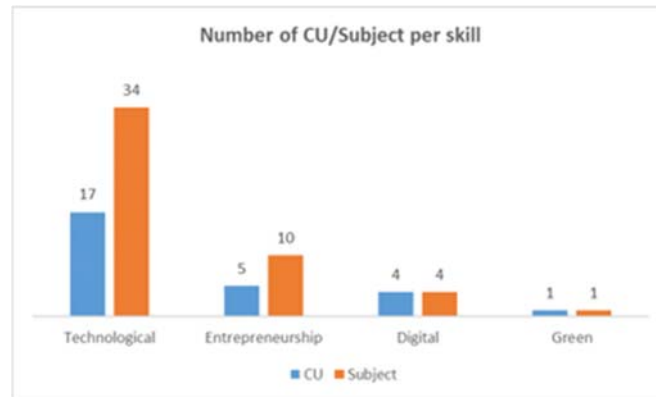


Abbildung 14: Überblick über die Ergebnisse der Meta-Analyse: Anzahl der in den CUs/Fächern abgedeckten Kompetenzen in jeder Kategorie.



Abbildung 15: Überblick über die Ergebnisse der Meta-Analyse: Art der Ausbildung für die Durchführung von Pilottätigkeiten.

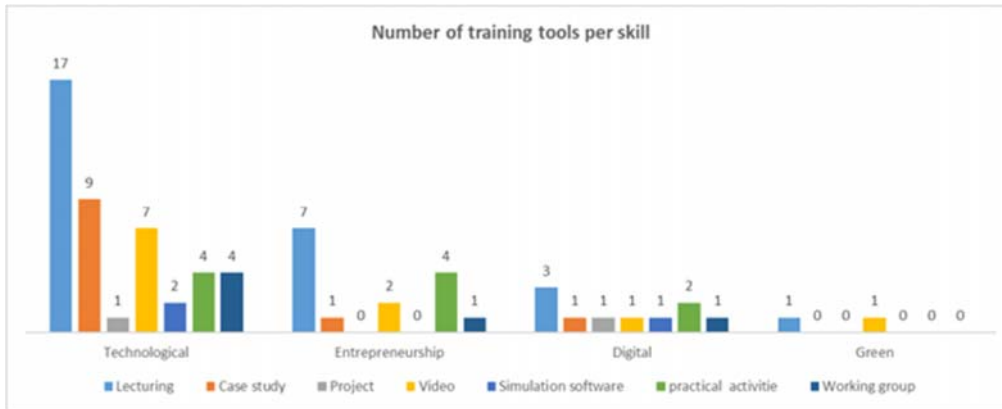


Abbildung 16: Überblick über die Ergebnisse der Meta-Analyse: Anzahl der Schulungsinstrumente, die zur Entwicklung verschiedener Arten von Fähigkeiten eingesetzt werden.

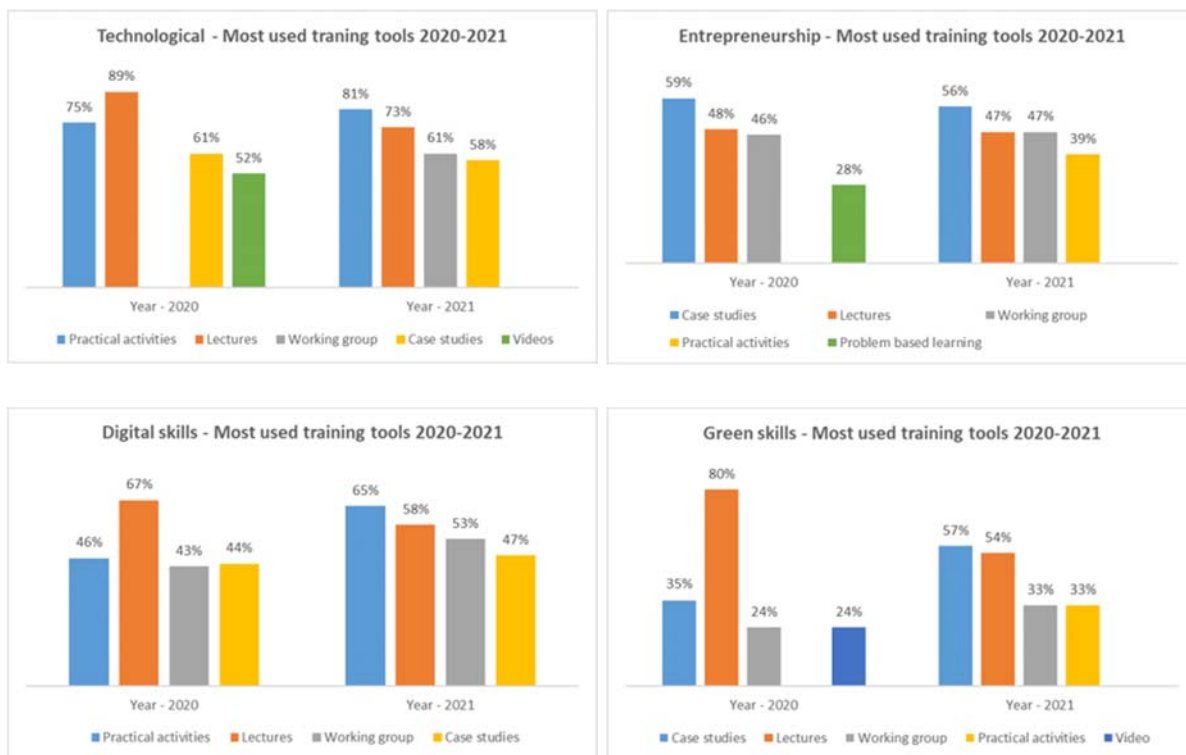


Abbildung 17: Am häufigsten genutzte Ausbildungsinstrumente für die Entwicklung verschiedener Qualifikationskategorien (technologisch, unternehmerisch, digital, grün) in den Jahren 2020 und 2021.

Nach Abschluss der Pilotaktivitäten wurde eine Zusammenfassung der am meisten benötigten Fähigkeiten und der am häufigsten verwendeten Schulungsinstrumente und Bewertungsmethoden erstellt.

Technologische Fähigkeiten					
Am meisten benötigte Fähigkeiten 2021	Am meisten benötigte Fähigkeiten 2020	Meistgenutzte Schulungsinstrumente 2021	Meistgenutzte Schulungsinstrumente 2020	Am häufigsten verwendete Bewertungsmethoden 2021	Meistgenutzte Bewertungsmethoden 2020
AM-Prozesse (91%) AM-Anwendungen (79%) Entwurf (CAD-Modellierung) (77%)	AM-Prozesse (91%) AM-Anwendung (85%) Entwurf CAD-Modellierung (67%)	Praktische Laboraktivitäten (81%) Vorlesungen (73%) Arbeitsgruppen (61%)	Vorlesungen (89%) Praktische Laboraktivitäten (75%) Fallstudien (61%)	Praktische Tätigkeiten im Labor (61%) Schriftliche Prüfungen (55%) Arbeitsgruppen (42%)	Writenprüfung (59%) Praktische Laborprüfung (47%) Arbeitsgruppe (46%)
Unternehmerische Fähigkeiten					
Am meisten benötigte Fähigkeiten 2021	Am meisten benötigte Fähigkeiten 2020	Meistgenutzte Schulungsinstrumente 2021	Meistgenutzte Schulungsinstrumente 2020	Am häufigsten verwendete Bewertungsmethoden 2021	Meistgenutzte Bewertungsmethoden 2020
Zusammenarbeit mit anderen (62%) Kreativität (59%) Lernen durch Erfahrung (59%)	Kreativität (46%) Zusammenarbeit mit anderen (42%) Lernen durch Erfahrung (38%)	Fallstudien (56%) Arbeitsgruppen (47%) Vorlesungen (47%)	Fallstudien (59%) Vorlesungen (48%) Arbeitsgruppen (46%)	Arbeitsgruppen (42%) Schriftliche Prüfungen (39%) Problemorientiertes Lernen (35%)	Arbeitsgruppen (57%) Schriftliche Prüfungen (32%) Bericht (30%)
Digitale Kompetenzen					
Am meisten benötigte Fähigkeiten 2021	Am meisten benötigte Fähigkeiten 2020	Meistgenutzte Schulungsinstrumente 2021	Meistgenutzte Schulungsinstrumente 2020	Am häufigsten verwendete Bewertungsmethoden 2021	Meistgenutzte Bewertungsmethoden 2020
Fähigkeit, in 3D zu denken (83 %) Codierung / Programmierung (24%) Digitale Datenanalyse (23%)	Fähigkeit, in 3D zu denken (69 %) Kodierung/Programmierung (17%) Digitale Datenanalyse (16%)	Praktische Tätigkeiten im Labor (65%) Vorlesungen (58%) Arbeitsgruppen (53%)	Vorlesungen (67%) Tutorien (50%) Praktische Tätigkeiten im Labor (46%)	Praktische Tätigkeiten im Labor (56%) Problemorientiertes Lernen (42%) Schriftliche Prüfungen (41%)	Praktische Tätigkeiten im Labor (40%) Arbeitsgruppen (40%) Schriftliche Prüfungen (38%)
Grüne Kompetenzen					
Am meisten benötigte Fähigkeiten 2021	Am meisten benötigte Fähigkeiten 2020	Meistgenutzte Schulungsinstrumente 2021	Meistgenutzte Schulungsinstrumente 2020	Am häufigsten verwendete Bewertungsmethoden 2021	Meistgenutzte Bewertungsmethoden 2020
Ökodesign (47%) Kreislaufwirtschaft (47%) Management der Ressourceneffizienz (38%)	Ökodesign (37%) Kreislaufwirtschaft (35%) Lebenszyklusanalyse (LCA) (32%)	Fallstudien (57%) Vorlesungen (54%) Arbeitsgruppen (33%)	Vorlesungen (80%) Fallstudien (35%) Arbeitsgruppen (24%)	Arbeitsgruppen (39%) Praktische Tätigkeiten im Labor (35%) Schriftliche Prüfungen (31%)	Arbeitsgruppen (38%) Schriftliche Prüfungen (33%) Bericht (31%)

Abbildung 18: Überblick über die Ergebnisse der Meta-Analyse: zusammenfassende Tabelle.

5 Verabschiedete Empfehlungen für den Kontext und die Instrumente der AM-Ausbildung.

Eine Online-Sitzung der Expertengruppe wurde vom SAM-Projekt am 21. April 2022 organisiert. Verschiedene Berufs- und Industrieunternehmen, die das SAM-Projekt unterstützen, nahmen an der Arbeitssitzung teil. Ziel war es, die Methodik für den Entwurf und die Überarbeitung von Berufsprofilen und die Entwicklung von Fähigkeiten zu diskutieren, die es ermöglichen, das/die Berufsprofil(e)/Qualifikation(en) oder Kompetenzeinheiten/Module während der Pilotphase und danach umzusetzen.

Dementsprechend wurden in dieser Telefonkonferenz die Schritte zur Vervollständigung des operativen Leitfadens für den Kontext und die Schulungsinstrumente erläutert. Darüber hinaus wurde die Methodik zur Erfassung relevanter Daten aus den Pilot-Schulungsaktivitäten vorgestellt und die Schlussfolgerungen der Meta-Analyse, die im Rahmen der ersten und zweiten Runde der Pilot-Schulungsaktivitäten durchgeführt wurde, wurden mitgeteilt. Am Ende der Sitzung diskutierten die Teilnehmer über ihre Empfehlungen zu Kontext und Schulungsinstrumenten.

Die vorgeschlagene Empfehlung ist in einer Liste enthalten:

- 1) Ausbildungskontext: Dem Online-Lernen und den Präsenz-/Vortragskonzepten, die aufgrund der COVID-19-Beschränkungen angewandt wurden, mangelt es an **praktischem Lernen**; sie sollten mit praktischem Lernen kombiniert werden, einschließlich Versuchen im Labor und in der betrieblichen Ausbildung. **Blended Learning** scheint der beste Ansatz zu sein, daher sollte dieser Kontext gefördert werden. Der Zugang zu AM-Maschinen ist entscheidend für eine umfassende Ausbildung.
- 2) Schulungsinstrumente: Neben Vorlesungen sind **Fallstudien ein** wirksames Schulungsinstrument für AM-Fachleute und werden von den Mitarbeitern sehr geschätzt. Dieses Instrument wurde in Pilotprojekten umfassend eingesetzt und sollte **bei der Umsetzung und Definition neuer CUs für PPs in Betracht** gezogen werden.
- 3) Schulungsinstrumente: Einige Schulungsinstrumente wie Lernspiele, Augmented Reality, projektbasiertes Lernen oder virtuelle Workshops wurden noch nicht eingesetzt und sollten in künftige Schulungsmaßnahmen einbezogen und getestet werden, um ihren Nutzen zu bewerten.
- 4) Aufnahme **einer Beschreibung der Fähigkeiten** (technologisch-unternehmerisch-digital-grün), die in jeder Ausbildungsaktivität angestrebt werden sollten, in die **Lernergebnisse der CU** (vorherige Bewertung und Leitfaden für Ausbilder). Derzeit werden nur technische Fähigkeiten als Lernergebnisse genannt.
- 5) Die Definition von Ausbildungsprogrammen sollte sich an den **Präferenzen der Arbeitnehmer und der Industrie orientieren**: Höherqualifizierung und Umschulung von Fachkräften, Kurzzeitkurse mit Schwerpunkt auf spezifischen Kompetenzen und praktische Arbeit (Fallstudien, Arbeitsgruppen, PBL, Ausbildung im Unternehmen).

Später wurden diese Empfehlungen in einem Workshop während des 8. Arbeitstreffens des SAM-Projekts, das vom 23. bis 25. Mai 2022 in Gijon, Spanien, stattfand, analysiert. Die Partner einigten sich darauf, die fünf von der Expertengruppe vorgeschlagenen Empfehlungen anzunehmen und drei neue zu formulieren.

Die endgültige Liste der genehmigten Empfehlungen ist nachstehend aufgeführt:

- 1) Ausbildungskontext: Dem Online-Lernen und den Präsenz-/Vortragskonzepten, die aufgrund der COVID-19-Beschränkungen angewandt wurden, mangelt es an **praktischem Lernen**; sie sollten mit praktischem Lernen kombiniert werden, einschließlich Versuchen im Labor und in der betrieblichen Ausbildung. **Blended Learning** scheint der beste Ansatz zu sein, daher sollte dieser Kontext gefördert werden. **Aktive Lernaktivitäten** sollten mit traditionellen Vorlesungen kombiniert werden. In einigen CUs ist der Zugang zu AM-Maschinen entscheidend für eine vollständige Ausbildung.

- 2) Schulungsinstrumente: Neben Vorlesungen sind **Fallstudien ein** wirksames Schulungsinstrument für AM-Fachleute, das von den Mitarbeitern sehr geschätzt wird. Dieses Instrument wurde in Pilotprojekten ausgiebig eingesetzt und sollte **bei der Implementierung und Definition neuer CUs für PPs** in Betracht gezogen werden.
- 3) Schulungsinstrumente: **Einige Schulungsinstrumente** wie Lernspiele, Augmented Reality, projektbasiertes Lernen oder virtuelle Workshops wurden nicht implementiert und **sollten** in zukünftige Schulungsaktivitäten **einbezogen und getestet werden**, um ihren Nutzen zu bewerten. Einige Partner hatten ihre eigenen Spiele und VR-Anwendungen, die von den Ausbildungszentren eingesetzt werden könnten.
- 4) Aufnahme eines Abschnitts über "Empfehlungen zur Entwicklung nicht-technologischer Kompetenzen" in die **Beschreibung der CU**, um das Bewusstsein **für die übrigen vom SAM-Projekt angesprochenen Kompetenzkategorien zu schärfen, nämlich: digitale, unternehmerische und grüne Kompetenzen.**
- 5) Die Definition der Ausbildungsprogramme sollte auf die **Präferenzen der Arbeitnehmer und der Industrie** abgestimmt werden (**die Ausbildungsgänge sollten so kurz wie möglich gehalten werden**): Höherqualifizierung und Umschulung von Fachkräften, Kurzzeitkurse mit Schwerpunkt auf spezifischen Kompetenzen und praktischen Arbeiten (Fallstudien, Arbeitsgruppen, PBL, Ausbildung im Unternehmen). Das Feedback der Industrieunternehmen (wichtigster Kunde) ist von entscheidender Bedeutung.
- 6) Die Definition oder Überarbeitung der Kontaktstunden **einschließlich der Anzahl der Stunden für praktische Tätigkeiten** muss in die Definition der CU aufgenommen werden.
- 7) Um die systematische Analyse des Prozesses der CU-Umsetzung zu verbessern, wird **eine neue Tabelle zur Datenerfassung** vorgeschlagen. Diese sollte zusammen mit einem neuen Glossar und einer verbesserten Beschreibung der CUs verwendet werden, einschließlich gezielter technologischer, unternehmerischer, digitaler und grüner Fähigkeiten in der Beschreibung der Lernergebnisse.
- 8) Die Angleichung des IAMQS an DigiComp und EntreComp ist recht subjektiv, und dies erfordert eine erste Anpassung dieser beiden Kompetenzrahmen an AM. Die Leitlinien müssen klare Beispiele für die Übertragung digitaler, unternehmerischer und grüner Kompetenzen auf die Ausbildung enthalten (Beispiel: projektbasiertes Lernen mit regelmäßiger Überwachung und Abdeckung verschiedener Entwicklungsbereiche - Geschäftsmodell, LCA,...).

D3.3 Operational guide line on context and training tools

Competence Unit	Subjects	Learning context						Learning tools								
		On line learning / distance learning	Classroom / presental learning	Laboratory	Internship / In company training	Blended learning	Teaching factory	Serious games	Augmented reality	Project based learning	Case study	Lecturing	Virtual workshops	Practical activities	Group work	Educational videos and animations
CU 00 (Lortek): Additive manufacturing Process Overview	Technology overview Lab visit, equipment, components and parts Process standards															
CU 33 (Lortek): AM with Titanium feedstock	Metal AM overview AM Design and material Post processing and industrial sector requirements															

Abbildung 19 Neue Datenerfassungstabelle für die Überwachung der CU-Durchführung.

6 Schlussfolgerungen

Das Dokument bietet einen Überblick und eine Definition (Glossar) der verschiedenen Lernkontexte und Lernwerkzeuge, die für die AM-Aus- und Weiterbildung zur Verfügung stehen. Was die Lernkontexte betrifft, so gibt es eine Reihe von Kontexten, die vom traditionellen Unterricht im Klassenzimmer bis zum Laborunterricht reichen. Aufgrund der Covid-19 Problematik ist zu erwarten, dass das Online-Lernen in den kommenden Jahren erheblich an Bedeutung gewinnen wird. Wie bereits erwähnt, haben die Lernwerkzeuge die technologischen Möglichkeiten erweitert, und zu den Beispielen gehören nun auch Lernspiele und TF-Paradigmen.

Insgesamt kann hervorgehoben werden, dass das AM-Lernen auf die zweite und dritte EQR-Stufen begrenzt ist, aber es gibt bereits viele Ausbildungskontexte und -werkzeuge für das Lehren, Lernen und Üben verschiedener 3D-Druck-Themen auf Master-/PhD-Ebene und für die berufliche Entwicklung/Weiterbildung.

Es wird die Notwendigkeit gesehen, die spezifischen, fortgeschrittenen Postgraduiertenkurse auf das Niveau der Grundschulausbildung zu übertragen. Darüber hinaus wäre die Einbeziehung von AM-Themen in die Sekundarstufe (z. B. in von IMR - Irish Manufacturing Research - entwickelte Outreach-Programme) von großem Nutzen, um die Entwicklung von AM-Fähigkeiten bereits in einem frühen Stadium anzugehen und die Attraktivität von Ingenieurberufen bei jungen Menschen zu erhöhen.

Da es sich beim 3D-Druck um eine neue Technologie handelt, wurde der Digitalisierungsprozess auch schon für viele Lehrmethoden wie Augmented Reality oder Lernspiele genutzt. Man kann aus einem breiten Feld von Lehrmethoden wählen.

Wie in diesem Papier dargelegt, wird AM auf dem derzeitigen EU-weiten Bildungsmarkt eher als Wahlfach oder Nebenfach in Ingenieurstudiengängen angeboten und steht nicht im Mittelpunkt eines spezifischen Ausbildungsangebots. Wie der Unterricht durchgeführt wird, hängt stark von den verschiedenen Schwerpunkten, den Schulen, dem erwarteten Publikum, dem Thema oder der Institution ab. Es gibt keine einheitliche Lehr- oder Lernmethode, die derzeit von den Lehreinrichtungen angewandt wird. Im Allgemeinen hat die Bestandsaufnahme der verschiedenen Kontexte und Lernmittel gezeigt, dass eine Mischung aus zwei verschiedenen Ausbildungsmethoden (theoretisch und praktisch) den größten Lerneffekt für die Zuhörerschaft hat. Es wäre interessant, einen Leitfaden dafür zu entwickeln, welcher Lernkontext mit einem entsprechenden Schulungsinstrument in Bezug auf das Zielpublikum gewählt werden sollte.

In Bezug auf die Lernkontexte hat sich gezeigt, dass in AM verschiedene Lehrmethoden und Themen behandelt werden. Ein Ergebnis ist klar: Es mangelt an Aktivitäten zur Entwicklung von Nachhaltigkeit und grünen Kompetenzen über die gesamte Prozesskette vom Material bis zum Bauteil, ökologische Aspekte, Rohstoffverbrauch usw.

Die Digitalisierung der Ausbildung ist ein Aspekt, der recht gut abgedeckt ist. Dies ist wahrscheinlich auf die Verbindung von 3D-Druck und Industrie 4.0 zurückzuführen, da beide Themen sehr gut zusammenarbeiten und Industrie 4.0 anhand des 3D-Drucks veranschaulicht werden kann. In der Tat eignet sich die inhärente digitale Natur des frühen Teils des AM-Prozesses sehr gut für diesen Ansatz - Herausforderungen ergeben sich mit der "praktischen" Seite.

Was die Schulungsinstrumente angeht, so gibt es eine Vielzahl von Instrumenten, auch digitale. Natürlich gibt es immer Raum für Verbesserungen. Was die Empfehlung der richtigen Methode für das richtige Publikum betrifft, so hängt es stark davon ab, für welches Publikum welcher Prozess oder Kontext gelehrt werden soll. Im Allgemeinen gibt es in der AM ein großes Potenzial, theoretische und praktische Lehrmittel zu kombinieren, da kleine Lehrmaschinen bereits auf dem Markt erhältlich sind. So ist z. B. das Online-Lernen (das nach COVID-19 bereits deutlich zunimmt) eine effektive Möglichkeit, ein breites Publikum mit vielen verschiedenen Themen zu erreichen.

Allerdings handelt es sich hierbei um ein theoriegestütztes Lerninstrument, und um das Potenzial des AM-Lernens voll ausschöpfen zu können, müsste das Online-Lernen mit einem projektbasierten praktischen Lernen von ein oder zwei Wochen in einer Lehrfabrik oder einem Labor einhergehen. Die Erkundung eines Fertigungsprozesses mit Hilfe von Augmented Reality ermöglicht den Schülern einen weniger theoretischen Zugang, aber die praktische Erfahrung geht verloren, und es wäre empfehlenswert, die Lernenden den 3D-Druck erleben zu lassen, indem sie eine Maschine wirklich anfassen.

Die Schulungsherausforderungen während der COVID19 und der Bedarf an praktischer Schulung zwangen die Organisationen, ihre Schulungsmethoden und -praktiken anzupassen, zu überdenken und zu überholen. Um dieses Problem zu lösen, haben Ausbilder begonnen, mit virtuellem Lernen zu experimentieren und neue Technologien wie Augmented und Virtual Reality als Schulungsinstrumente zu integrieren.

Lernmanagementsysteme (LMS), Mikro-Learning und Berechtigungsnachweise, interaktive Online-Aktivitäten, wie Live-Umfragen und IoT, sowie die Erweiterung der virtuellen Realität sind einige der neu eingeführten Schulungsmethoden und -instrumente, die während der Pandemiezeit zum Einsatz kamen. Dies zeigt sich auch bei der Durchführung der Pilotschulungen im Rahmen des SAM-Projekts. Schlussfolgerungen, Empfehlungen und Verbesserungsbereiche zur Förderung der Entwicklung der erforderlichen technischen, unternehmerischen, digitalen und umweltfreundlichen Fähigkeiten für die zukünftigen AM-Fachleute werden nach einer ersten Analyse der von den SAM-Partnern durchgeführten Pilotumsetzungsaktivitäten und auf der Grundlage der Gegenüberstellung mit der Industrie und der Expertengruppe aufgenommen.

7 Referenzen

1. **Smartechnalysis**. *Additive Manufacturing Market Outlook and Summary of Opportunities*. s.l. : <https://www.smartechnalysis.com/reports/2019-additive-manufacturing-market-outlook/>, 2019.
2. **Deloitte**. *3D opportunity for the talent gap additive manufacturing and the workforce of the future*. s.l. : <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/3d-opportunity/3d-printing-talent-gap-workforce-development.html>, 2016.
3. **KMU**. *Experts in Demand: Growth in Metal AM Creates Need for Professionals*. s.l. : <https://www.smeef.org/globalassets/sme.org/media/white-papers-and-reports/2018-metal-am-report.pdf>, 2018.
4. **Politecnico di Milano**.
https://www11.ceda.polimi.it/schedaincarico/schedaincarico/controller/scheda_pubblica/SchedaPublic.do?&evn_default=evento&c_classe=712407&polij_device_category=DESKTOP&__pj0=0&__pj1=970af81f61136d26e36e7b9cab36ec13. Mailand : s.n.
5. **Politecnico di Milano**.
https://www11.ceda.polimi.it/schedaincarico/schedaincarico/controller/scheda_pubblica/SchedaPublic.do?&evn_default=evento&c_classe=712938&polij_device_category=DESKTOP&__pj0=0&__pj1=c3669a9cf7c244db392372c11e3c7b06. Mailand : s.n.
6. *Ein Ausblick auf zukünftige Herausforderungen und Ziele*. **Chryssolouris, George & Mavrikios, Dimitris & Papakostas, Nikolaos & Mourtzis, Dimitris**. 2006, Education in Manufacturing Technology & Science.
7. *Die Lehrfabrik: A Manufacturing Education Paradigm*. **Chryssolouris, G., Mavrikios, D., & Rentzos, L**. doi:10.1016/j.procir.2016.11.009, 2016, Procedia CIRP, Vol. 57, pp. 44-48.
8. *Lernspiele - Ein Überblick*. **T. Susi, M. Johannesson und P. Backlund**. 2005, Tech. Rep.
9. *Ernsthafte Spiele ... und weniger!* **Blackman, Sue**. DOI:<https://doi.org/10.1145/1057792.1057802>, 2005, SIGGRAPH Comput. Graph., Vol. 39, S. 12-16.
10. *Eine Virtual-Reality-Anwendung für die Ausbildung in additiven Fertigungsverfahren*. **Renner, Alex, Holub, Joseph, Sridhar, Shubang, Evans, Gabe, and Winer, Eliot**. 2017, Proceedings of the ASME 2015 International Design Engineering Technical Conferences and Computers.
11. **Projekte, diva - Gute Praxis für die Verbreitung und Verwertung von Bildungsprojekten**. *Handbuch für die Verbreitung, Verwertung und Nachhaltigkeit von Bildungsprojekten*. 2009.
12. <https://www.smartechnalysis.com/reports/2019-additive-manufacturing-market-outlook/>. *Additive Manufacturing Market Outlook and Summary of Opportunities*. 2019.
13. *Ein Rahmen für die Vermittlung der Grundlagen der additiven Fertigung und die Ermöglichung schneller Innovationen*. **Go, Jamison, Hart A. John**. 2016, Additive Manufacturing, Vol. 10, S. 76-87.
14. *Vorbereitung der Industrie auf die additive Fertigung und ihre Anwendungen: Zusammenfassung und Empfehlungen aus einem Workshop der National Science Foundation*. **Simpson, Timothy; Williams, Christopher und Hripko, Michael**. 2017, Additive Manufacturing, Vol. 13, S. 166-178.

8 Glossar

ANHANG 1: GLOSSAR DER BEGRIFFE ZUM LERNKONTEXT UND ZU DEN LERNMITTELN

Lernkontext: ist der Ort, an dem das Lernen stattfindet¹.

Kontext ist die Gesamtheit der Umstände, die für den Lernenden relevant sind, um Wissen aufzubauen, wenn er sich auf den Inhalt² bezieht.

Lerninhalte: Die Ressourcen, die beim Lehren und Lernen eingesetzt werden, um die gewünschten Lernziele zu erreichen³.

Fernunterricht: Die Schüler nutzen Lehrmaterial (sowohl in gedruckter als auch in elektronischer Form) und erhalten zu unterschiedlichen Zeiten Anweisungen vom Lehrer. Dies kann in Echtzeit über Microsoft Teams, Blackboard Collaborate, Zoom oder/und ähnliche Alternativen oder zeitlich flexibel erfolgen. Von den Studierenden wird also erwartet, dass sie manchmal synchron für den Unterricht zur Verfügung stehen. Die von den Studierenden erstellten Arbeiten werden von der Lehrkraft digital überprüft^{4,5,6}. Häufig sind auch Präsenzworkshops, Sommerschulen oder "Residentials" Teil des Studiengangs.⁷

Online-Lernen: Nicht-Live-Unterricht. Von den Studierenden wird nicht erwartet, dass sie zu einer bestimmten Zeit oder an einem bestimmten Tag für den Unterricht der Lehrkraft⁸ zur Verfügung stehen. Die Studierenden haben Zugang zu einer virtuellen Lernumgebung (VLE) wie Moodle oder Dokeos. Die VLE dient als Kommunikationsmedium und interaktives Lernwerkzeug. Einige Einrichtungen bieten den Studierenden, die das Programm absolvieren, Unterstützung durch Tutoren an. Diese Tutoren können bei Bedarf per E-Mail oder Skype kontaktiert werden.^{3,4,5}

Lernen im Klassenzimmer: Präsenzlernen. Die Lernumgebung wird innerhalb der physischen Wände eines Klassenzimmers geschaffen, in dem sich Schüler und Lehrer aufhalten.

- **Vorlesung:** eine Art Präsenzunterricht bei dem der Lehrer über einen längeren Zeitraum über ein Thema spricht. Wenig Interaktion zwischen Lehrer und Schülern. Einseitige Methode.⁸
- **Seminare:** eine Form des Präsenzunterrichts, bei der die Studierenden abwechselnd ihren Beitrag zu einem Thema vor der Klasse leisten. Die Studierenden diskutieren, was sie in der Vorlesung gelernt haben.⁹
- **Workshop:** eine Art von Präsenzunterricht, ähnlich wie bei Seminaren, bei denen die Schüler sprechen und der Lehrer die Diskussion über ein bestimmtes Thema moderiert. Workshops beinhalten mehr interaktive Übungen, um die Kommunikation zwischen den Teilnehmern zu fördern und können einen ganzen Tag oder mehrere Tage dauern.⁸

Labor: praktische Aktivitäten zu einem im Unterricht behandelten Thema. Die Schüler lernen durch Erfahrungen aus erster Hand und Praxis, die sie im theoretischen Unterricht in Zusammenarbeit oder individuell gelernt haben.

Unternehmenspraktikum: eine kurzfristige Arbeitserfahrung, die von Unternehmen angeboten wird, damit die Schüler einen ersten Einblick in eine bestimmte Branche oder einen bestimmten Bereich erhalten. Der Student entwickelt Hard- und Soft Skills¹⁰.

Betriebliche Ausbildung/Arbeitsplatzschulung: Praktischer Ansatz oder Schulungskurs zum Erwerb neuer Kompetenzen und Fertigkeiten, die für einen Arbeitsplatz benötigt werden, der von einem Unternehmen für eine bestimmte Zielgruppe von Arbeitnehmern angeboten wird¹¹.

Blended Learning: Lernen, das Präsenz- und Online-Lernen kombiniert. Die Online-Inhalte liegen zwischen 30 % und 80 %.

Lernwerkzeug: ein Instrument, das von den Lernenden verwendet werden soll, um eine Struktur für die Entwicklung von Lernfähigkeiten und -verhaltensweisen und/oder das systematische Sammeln und Nachdenken über wichtige Informationen zu schaffen¹².

Lehrfabrik: ist ein Konzept zur Einbeziehung der Lern- und Arbeitsumgebung, aus der realistische und relevante Lernerfahrungen entstehen. Es verfolgt einen wechselseitigen Wissenstransfer, bei dem Fertigungsthemen die Grundlage für neue Synergiemodelle zwischen Hochschulen und Industrie bilden. Neue Ideen und Lösungen werden zwischen Hochschulen und Industrie ausgetauscht, um den Zeit- und Kostenaufwand für das Lernen und Testen von Lösungen für Fertigungsprobleme auszugleichen und das Wissen von Industrie und Hochschulen durch Produktionsinnovationen oder reale Probleme zu vertiefen. Es gibt zwei operative Schemata: "Von der Fabrik ins Klassenzimmer" und "Von der Hochschule in die Industrie". Das Konzept "Fabrik zum Klassenzimmer" zielt darauf ab, die reale Produktionsumgebung in das Klassenzimmer zu übertragen, während das Konzept "Hochschule zur Industrie" darauf abzielt, das Wissen von der Hochschule zur Industrie zu übertragen¹³.

Lernspiele: Lernspiele kombinieren Lernstrategien, Wissen und Strukturen mit Spielelementen, um bestimmte Fähigkeiten, Kenntnisse und Einstellungen zu vermitteln. Sie sind so konzipiert, dass sie Probleme in verschiedenen Bereichen lösen und Herausforderungen und Belohnungen beinhalten, wobei die Unterhaltungs- und Aktivierungs-Komponenten genutzt werden, die der Benutzer beim Spielen von Spielen erhält.¹⁴ Im Bildungsbereich werden Spiele eingesetzt, um bestimmte Themen durch spielerische Übungen und Simulationen zu vermitteln. In diesem Fall werden sie auch als "Lernspiele" bezeichnet.

Augmented Reality: AR ist eine Technologie, die es ermöglicht, virtuelle Elemente in unsere Sicht der Realität einzublenden. Dies wird durch den Einsatz von digitalen visuellen Elementen, Ton oder anderen sensorischen Reizen erreicht, die über die Technologie¹⁵ bereitgestellt werden. Diese Technologie ermöglicht es Lehrern, virtuelle Beispiele für Konzepte zu zeigen und Spielelemente zur Unterstützung des Lehrbuchmaterials hinzuzufügen. Auf diese Weise können die Schüler schneller lernen und sich Informationen einprägen¹⁶.

Projektbasiertes Lernen: Projektbasiertes Lernen ist eine Lehrmethode, bei der die Schüler Wissen und Fähigkeiten erwerben, indem sie über einen längeren Zeitraum eine authentische, ansprechende und komplexe Frage, ein Problem oder eine Herausforderung untersuchen und darauf reagieren¹⁷.

Fallstudie: Eine Fallstudie ist eine Schilderung einer Aktivität, eines Ereignisses oder eines Problems, die eine reale oder hypothetische Situation enthält und die Komplexität beinhaltet, der Sie am Arbeitsplatz begegnen würden. Fallstudien werden verwendet, um den Schülern zu zeigen, wie die Komplexität des wirklichen Lebens Entscheidungen beeinflusst. Die Analyse einer Fallstudie verlangt von den Studierenden, dass sie ihr Wissen und ihre Denkfähigkeiten auf eine reale Situation anwenden¹⁸. Um aus einer Fallstudienanalyse zu lernen, müssen die Schüler "analysieren, Wissen anwenden, argumentieren und Schlussfolgerungen ziehen" (Kardos & Smith 1979).

Vorlesung: Eine Form des Präsenzunterrichts, bei der der Lehrer über einen längeren Zeitraum über ein Thema spricht. Wenig Interaktion zwischen Lehrer und Schülern. Einseitige Methode⁸.

Simulationssoftware: Software, die auf dem Prozess der Modellierung eines realen Phänomens mit einer Reihe von mathematischen Formeln basiert. Es handelt sich im Wesentlichen um ein Programm, das es dem Benutzer ermöglicht, einen Vorgang durch Simulation zu beobachten, ohne diesen Vorgang auszuführen. Simulationssoftware wird häufig für die Entwicklung von Anlagen verwendet, damit das Endprodukt den Konstruktionspezifikationen so nahe wie möglich kommt, ohne dass teure Prozessänderungen erforderlich sind.¹⁹ Diese Software erstellt Modelle, um die Entscheidungen von Managern und Ingenieuren zu unterstützen, aber auch zu Schulungszwecken.

Simulationstechniken erleichtern das Verständnis und das Experimentieren, da die Modelle sowohl visuell als auch interaktiv sind²⁰.

Praktische Aktivitäten: Jede Aktivität, die es den Schülern ermöglicht, einen direkten, oft praktischen Bezug zu den untersuchten Phänomenen herzustellen²¹.

Gruppenarbeit: Unterrichtsmethode, bei der die Schüler in Gruppen zusammenarbeiten. Sie verlangt von den Schülern, dass sie sich über einen bestimmten Zeitraum hinweg in der gleichen Gruppe mit Lernaktivitäten beschäftigen, während sie an einer umfangreichen Aufgabe mit einem gemeinsamen Ergebnis arbeiten (z. B. einem Bericht oder einem Projekt)²².

Lehrvideos und -animationen: Videos und Animationen werden als visuelle Hilfsmittel eingesetzt, um das Lernen zu erleichtern. Sie werden von Pädagogen eingesetzt, um den Inhalt ansprechend, leicht verständlich und emotional zugänglich für alle Arten von Schülern zu machen. Diese Ressourcen ermöglichen es, komplexe Ideen auf einfache Art und Weise zu erklären. Sie sorgen dafür, dass sich die Lernenden auf den Inhalt konzentrieren und schaffen ein besonderes Erlebnis, an das sich die Lernenden eher erinnern werden^{23,24}.

1 <https://www.igi-global.com/dictionary/ubiquitous-learning-supporting-systems/16847>

2 Figueiredo, Antonio Dias de. (2005). Lernkontexte: A Blueprint For Research. Interactive Educational Multimedia, ISSN 1576-4990, Nº. 11, 2005, pags. 127-139.

3 <https://www.igi-global.com/dictionary/enhancing-student-agency-as-a-driver-of-inclusion-in-online-curriculum-pedagogy-and-learning-content/67168>

4 <https://www.thecriticalthinkingchild.com/the-difference-between-remote-learning-e-learning-distance-learning-and-at-home-schooling/>

5 Moore, J.L., et al., e-Learning, online learning, and distance learning environments: Sind sie dasselbe?, Internet und Hochschulbildung (2010), doi:10.1016/j.iheduc.2010.10.001

6 <https://www.aeseducation.com/blog/online-learning-vs-distance-learning>

7 <https://www.staffordglobal.org/articles-and-blogs/whats-the-difference-between-online-and-distance-learning/>

8 <https://wintersession.uconn.edu/2020/11/05/online-vs-distance-learning-whats-the-difference/#>

9 <https://www.studentassembly.org/seminar-vs-lecture-course-vs-class-terms-youll-need-to-survive-college/>

10 <https://www.themuse.com/advice/what-is-an-internship-definition-advice>

11 <https://www.valamis.com/hub/on-the-job-training>

12 "Leitfaden für Lehrkräfte - Ein umfassendes Instrument zur Verbesserung der Leistung von Lehrkräften". Kapitel: 3.4.1 Überblick über wirksame Lernmittel von Carol Nancarrow (Englisch, Sinclair Community College). 4th Ausgabe Projektleiter. Steven W. Beyerlein, Carol Holmes, Daniel K. Apple.

13 G. Chryssolouris, D. Mavrikios, L. Rentzos, "The Teaching Factory: A Manufacturing Education Paradigm", Procedia CIRP, Band 57, 2016, Seiten 44-48, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.009>.

14 <https://grendelgames.com/what-are-serious-games/>

15 <https://www.investopedia.com/terms/a/augmented-reality.asp>

16 <https://elearningindustry.com/augmented-reality-in-education-staggering-insight-into-future>

17 <https://www.pblworks.org/what-is-pbl>

18 <https://www.student.unsw.edu.au/writing-case-study-report-engineering>

19 <https://www.youtube.com/watch?v=EF9v-P0dDg4>

20 <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-is-simulation#WhatDoesitMean>

21 Die Nationalen Strategien, 2008.

22 <https://www.teaching.unsw.edu.au/group-work>

23 <https://elearningindustry.com/video-learning-animation-styles-and-best-practices-to-follow>

24 <https://elearningindustry.com/how-animation-based-learning-can-benefit-online-courses>