

TEKO Olten

Dipl. Techniker HF Unternehmensprozesse

Klasse: O-TUP-22-S-a



Diplomarbeit zum Thema:

Beschaffungsvorschlag eines industriellen 3D- Drucker

Detaillierte Marktanalyse, Kosten-Nutzen-Abwägung und Implementierungsplanung zur Erweiterung
der Fertigungskapazitäten der Nachbur AG

Vorgelegt von:

Zimmermann Daniel

Eingereicht bei:

Räber Josef

Eingereicht von:

Zimmermann Daniel

Abgabetermin:

26. Mai 2025

Inhaltsverzeichnis

1	Management Summary.....	7
1.1	Ausgangslage.....	7
1.2	Überblick über Zielsetzung, Methodik und Ergebnisse	7
2	Kurzer beruflicher Werdegang.....	8
2.1	Qualifikationsprofil.....	9
2.1.1	Fachliche Qualifikationen:	9
2.1.2	Methodische Kompetenzen:	9
2.1.3	Sprachliche und technische Fähigkeiten:	9
3	Einleitung	10
3.1	Hintergrund und Relevanz des Themas.....	10
3.2	Abgrenzung und Umfang der Arbeit.....	10
3.2.1	Abgedeckte Aspekte der Arbeit:	10
3.2.2	Nicht abgedeckte Aspekte:	11
3.2.3	Abgrenzung der Druckertechnologien	11
3.2.4	Begriffliche Klarstellung	11
3.3	Aufbau der Diplomarbeit	12
4	Projektinitialisierung und Planung.....	13
4.1	Kurzvorstellung der Firma Nachbur AG.....	13
4.1.1	Tätigkeiten der Nachbur AG	13
4.1.2	Hauptprodukte und Dienstleistungen der Nachbur AG.....	13
4.1.3	Zielgruppen und Kunden der Firma.....	13
4.2	Begründung der Notwendigkeit eines 3D-Druckers	14
4.2.1	Konkrete Problemstellung	14
4.2.2	Erwartete Vorteile durch die Implementierung.....	14
4.2.3	Zielscheibe Diplomarbeit	15
4.3	Kunden- und Stakeholderanalyse.....	16
4.3.1	Identifikation der Stakeholder	16
4.3.2	Einordnung der Stakeholder	17
4.3.3	Interpretation und Analyse.....	18
4.3.4	Ableitung von Massnahmen.....	19
4.4	Projektstrukturplan	20
4.5	Projektablaufplan & Meilensteine	21
4.6	Zeitplanung GANTT-Diagramm Soll / Ist	22
4.7	SWOT-Analyse	23
5	Anforderungsdefinition	24
5.1	Anforderungskatalog	24
5.2	Prozesse & Anwendungen in der Nachbur AG.....	25
5.2.1	Prototypen zum Einfahren der 3-D Messmaschinen (Zeiss & Wenzel).....	25

5.2.2	Messvorrichtungen für 3D-Messmaschinen (Zeiss & Wenzel)	26
5.2.3	Mehrfachaufspannungen für 3D-Messmaschinen (Zeiss & Wenzel)	27
5.2.4	Kacheln für autonomes Teilehandling	28
5.2.5	Greiferbacken für CNC-Drehmaschinen	29
5.2.6	Trays für die Laserbeschriftung	30
5.2.7	Montagevorrichtungen	31
5.2.8	Prototypen & Allgemeine Fertigungsteile	32
5.3	Methodik zur Festlegung der Anforderungen	33
5.3.1	Analyse der bestehenden Fertigungsprozesse	33
5.3.2	Identifikation der wichtigsten Anwendungsfälle	33
5.3.3	Technologische Evaluierung der 3D-Druckverfahren	34
5.3.4	Ableitung des finalen Anforderungskatalogs	34
6	Marktanalyse - Technologieebene	35
6.1	Auswahlmethodik der Technologie & des Modells	35
6.1.1	Definition der Evaluierungskriterien	35
6.1.2	Marktanalyse und Identifikation relevanter Anbieter	35
6.1.3	Vergleich der Anbieterdaten und Strukturierung der weiteren Analyse	36
6.2	Datenerhebung (Tools & Quellen)	36
6.2.1	Direkte Kommunikation mit Lieferanten	36
6.2.2	Dokumentation und technische Unterlagen der Hersteller	36
6.2.3	Praktische Erfahrungen durch Lieferantenbesuche	36
6.2.4	Externe Fachquellen und Online-Recherche	36
6.3	Multi Jet Fusion (MJF)	37
6.3.1	Funktionsweise und Eigenschaften des Multi Jet Fusion Verfahrens	37
6.3.2	Erkenntnisse aus dem Besuch von SGSolution AG	38
6.3.3	Bewertung von Multi Jet Fusion	38
6.3.4	Vorfürungen von Testbauteilen	39
6.3.5	Analyse der MJF-Technologie anhand der definierten Anforderungen	39
6.4	Stereolithographie (SLA)	40
6.4.1	Funktionsweise und Eigenschaften der Stereolithographie	40
6.4.2	Erkenntnisse aus dem Besuch bei 3D-EDU	41
6.4.3	Bewertung von Stereolithographie	41
6.4.4	Vorfürungen von Testbauteilen	42
6.4.5	Analyse der SLA-Technologie anhand der definierten Anforderungen	42
6.5	Multi Jet Printing (MJP)	43
6.5.1	Funktionsweise und Eigenschaften des Multi Jet Printing	43
6.5.2	Erkenntnisse aus dem Besuch von Alphacam	44
6.5.3	Bewertung von Multi Jet Printing	44
6.5.4	Vorfürungen von Testbauteilen	45

6.5.5	Analyse der MJP-Technologie anhand der definierten Anforderungen.....	45
6.6	Fused Deposition Modeling (FDM)	46
6.6.1	Funktionsweise und Eigenschaften des Fused Deposition Modeling	46
6.6.2	Erkenntnisse aus dem Besuch bei der Firma URMA.....	47
6.6.3	Bewertung von Fused Deposition Modeling	47
6.6.4	Vorfürungen von Testbauteilen.....	48
6.6.5	Analyse der FDM-Technologie anhand der definierten Anforderungen.....	48
6.7	Selektives Lasersintern (SLS)	49
6.7.1	Funktionsweise und Eigenschaften des Selektiven Lasersintern	49
6.7.2	Erkenntnisse aus dem Besuch bei der Firma URMA und 3D-EDU.....	50
6.7.3	Bewertung von Selektivem Lasersintern	50
6.7.4	Vorfürungen von Testbauteilen.....	51
6.7.5	Analyse der SLS-Technologie anhand der definierten Anforderungen	51
6.8	Gegenüberstellung der Druckverfahren	52
6.8.1	Gruppierung der Bewertungskriterien	53
6.8.2	Präferenzmatrix Drucktechnologien	54
6.8.3	Qualitative Bewertungsmatrix der Drucktechnologien.....	55
6.8.4	Nutzwertanalyse & Resultate der Variantenevaluation.....	56
6.9	Schlussfolgerung zur Marktanalyse – Technologieebene.....	57
7	Marktanalyse – Modellebene	58
7.1	Ziel und Vorgehen	58
7.2	Vergleich der Modelle	59
7.2.1	Stratasys F370	59
7.2.2	Markforged FX10.....	62
7.2.3	WASP 4070.....	65
7.2.4	BigRep Studio G2	68
7.3	Gegenüberstellung der Druckermodelle.....	71
7.3.1	Gruppierung der Bewertungskriterien	72
7.3.2	Präferenzmatrix Druckermodelle.....	73
7.3.3	Qualitative Bewertung der Druckermodelle.....	74
7.3.4	Nutzwertanalyse.....	79
7.3.5	Sensitivitätsanalyse	80
7.4	Bewertung und Schlussfolgerung.....	81
7.5	Ergebnis der Marktanalyse	82
7.6	Besuch bei Alphacam – Praktische Erkenntnisse zum F370.....	83
7.6.1	Testdruck und Druckparameter	83
7.6.2	Betrieb & Handhabung	85
7.6.3	Service, Schulung & Integration	87
7.6.4	Gesamteinschätzung & Relevanz für die Nachbur AG	88

8	Kosten-Nutzen-Analyse.....	89
8.1	Methodik der Analyse (z. B. ROI, TCO)	89
8.2	Kostenstruktur (Investitions-, Betriebs- und Wartungskosten)	90
8.3	Nutzenanalyse Kosteneinsparung.....	91
8.4	Entscheidungsfindung und wirtschaftliche Bewertung	92
8.4.1	Jährliche Kosten-Einsparung	92
8.4.2	Break-Even-Analyse.....	92
8.5	Fazit Kosten-Nutzen-Betrachtung	93
9	Variantenfindung und Lösungsweg.....	94
9.1	Identifikation potenzieller Lösungen	94
9.2	Bewertung der Varianten (Metriken und Kriterien)	95
9.3	Begründung der finalen Lösung.....	96
10	Implementierungsplan.....	97
10.1	Planung der Beschaffung und Installation	97
10.1.1	Erstellung des technischen Pflichtenhefts	97
10.1.2	Geplanter Beschaffungsablauf	97
10.1.3	Infrastrukturanforderungen und Installationsplanung	98
10.2	Zeitlicher Ablauf	100
10.2.1	Definition zentraler Meilensteine.....	100
10.2.2	Visualisierung im GANTT-Diagramm	100
10.3	Ressourcen- und Verantwortlichkeitszuordnung.....	102
10.3.1	Zuständigkeiten intern	102
10.3.2	Rolle des Anbieters / externe Unterstützung.....	102
11	Schulungsplan	103
11.1	Inhalte der Schulung	103
11.2	Methodik und Zeitplanung.....	103
11.3	Teilnehmerliste und Erfolgskriterien	104
12	Ausblick und Zielerreichung	105
12.1	Herausforderungen und Lösungsfindung	105
12.1.1	Anforderungen richtig erfassen – aber realistisch halten	105
12.1.2	Einstieg in eine neue Technologiewelt.....	105
12.1.3	Umgang mit stark unterschiedlichen Systemansätzen	106
12.1.4	Verlässliche Wirtschaftlichkeitsrechnung aufstellen	106
12.1.5	Technische Reife und Bedienbarkeit sicherstellen	107
12.1.6	Strukturierte Schulung für unterschiedliche Rollen sicherstellen	107
12.2	Bewertung der Zielerreichung anhand der Erfolgskriterien.....	108
12.3	Gesamtbewertung der Zielerreichung	109
12.4	Zukunft & Umsetzung	109
13	Reflexion und Lessons Learned	110

13.1	Herausforderungen und Lösungen.....	110
13.1.1	Fehlendes Grundlagenwissen im Bereich 3D-Druck.....	110
13.1.2	Anforderungen technisch und betrieblich umsetzbar definieren	110
13.1.3	Vergleichbarkeit sehr unterschiedlicher Systeme herstellen	110
13.1.4	Wirtschaftlichkeitsanalyse mit begrenzten Ausgangsdaten.....	110
13.1.5	Integration des Systems in die bestehende Infrastruktur	110
13.2	Persönliche Erkenntnisse und Optimierungsvorschläge.....	111
14	Persönliches Schlusswort	112
14.1	Dank an Unterstützer.....	112
14.2	Persönliches Schlusswort & Reflexion.....	113
14.3	Eigenständigkeitserklärung.....	113
15	Anhang	114
15.1	Abbildungsverzeichnis.....	114
15.2	Abkürzungslegende	115
15.3	Tabellenverzeichnis	116
15.4	Literatur und Quellenverzeichnis.....	117
15.4.1	Fachliteratur / Printquellen.....	117
15.4.2	Onlinequellen	117
15.4.3	Interne Quellen / Unternehmensdokumente.....	117
15.4.4	Gespräche / Lieferantenkontakte	117
15.5	Erklärung zur Verwendung digitaler Hilfsmittel	118
15.6	Offerten der Angebotenen 3D-Drucker.....	119
15.6.1	Offerte und technische Daten des Stratasys F370	119
15.6.2	Offerte und technische Daten des BigRep Studio 2	119
15.6.3	Offerte und technische Daten des WASP4070.....	119
15.6.4	Offerte und technische Daten des Markforged FX10	119
15.7	Zusätzliche Diagramme und Analysen	119
15.8	Pflichten- und Lastenheft	120

1 Management Summary

1.1 Ausgangslage

Die vorliegende Arbeit untersucht die Einführung eines industriellen 3D-Drucksystems bei der Nachbur AG mit dem Ziel, interne Prozesse wie Vorrichtungsbau, Fertigung und Optimierungs-Massnahmen effizienter zu gestalten. Im Mittelpunkt steht dabei nicht der Einsatz für Serienprodukte, sondern die additive Herstellung von Hilfsmitteln zur Unterstützung der bestehenden CNC-Fertigung.

Als Ausgangspunkt diente der konkrete Bedarf aus der Praxis: lange externe Durchlaufzeiten, hohe Fremdkosten und eingeschränkte Flexibilität bei kurzfristigen Änderungen. Ziel war es, eine wirtschaftlich tragbare und technisch passende Lösung zu identifizieren, die in den Alltag eines KMU integrierbar ist.

Die Arbeit umfasst eine systematische Analyse der relevanten 3D-Druckverfahren (FDM, SLS, SLA, MJP, MJF) und basiert auf Herstellergesprächen, Besichtigungen, technischen Unterlagen und Praxisbeispielen. Dabei wurden vier konkrete Druckermodelle (Markforged FX10, Stratasys F370, WASP 4070 HDP und BigRep Studio G2) im Detail verglichen.

Auf Grundlage einer standardisierten Bewertungsmethodik und einer Nutzenanalyse wurde der Stratasys F370 als am besten geeignete Lösung identifiziert. Die Arbeit schliesst mit einem konkreten Beschaffungsvorschlag inklusive Schulungskonzept, Umsetzungsplanung und Kostenabschätzung.

1.2 Überblick über Zielsetzung, Methodik und Ergebnisse

Ziel dieser Diplomarbeit war es, eine fundierte Entscheidungsgrundlage für die Einführung eines industriellen 3D-Druckers bei der Nachbur AG zu schaffen. Im Fokus stand nicht die additive Serienfertigung, sondern die gezielte Unterstützung bestehender Prozesse durch die interne Herstellung von Vorrichtungen, Messhilfen, Prototypen und Montageelementen. Die additive Fertigung soll dabei zur Effizienzsteigerung, Flexibilisierung und Kostenreduktion im Bereich Vorrichtungsbau, Fertigung und Konstruktion beitragen.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurde ein mehrstufiges, praxisorientiertes Vorgehen gewählt. Zunächst wurde durch Gespräche mit Konstrukteuren, AVOR, Qualitätssicherung und Produktionsverantwortlichen der konkrete Bedarf erhoben und analysiert. Daraufhin wurden fünf relevante additive Fertigungsverfahren FDM, SLS, SLA, MJP und MJF, hinsichtlich ihrer technischen Eigenschaften, Materialoptionen, Genauigkeit, Prozessanforderungen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen systematisch miteinander verglichen.

Basierend auf diesen Erkenntnissen erfolgte die Auswahl vier geeigneter FDM-Druckermodelle, die im industriellen Einsatz überzeugen und gleichzeitig mit den betrieblichen Anforderungen kompatibel sind. Die Modelle wurden anhand von über zehn Kriterien bewertet darunter Bauvolumen, Druckqualität, Bedienbarkeit, Softwarekompatibilität (insbesondere zu Autodesk Inventor), Materialvielfalt, Wartungsaufwand sowie Verfügbarkeit von Supportleistungen in der Schweiz.

Ergänzt wurde die Bewertung durch eine qualitative und quantitative Nutzenanalyse sowie eine SWOT-Analyse zur strategischen Einordnung. Diese umfassende Betrachtung führte zur Empfehlung des Stratasys F370, der sich in Bezug auf technische Leistungsfähigkeit, Betriebssicherheit, Anwendungsbreite und Gesamtkonzept als bestgeeignetes Modell erwies.

Die Arbeit schliesst mit einem konkreten Beschaffungsvorschlag, der neben Investitionskosten und Wirtschaftlichkeitsrechnung auch einen realistischen Umsetzungsplan mit Schulungskonzept, Verantwortlichkeitszuordnung und Integrationsstrategie beinhaltet. Die interne Präsentation der Ergebnisse ist für November 2025 geplant. Die Chancen auf eine tatsächliche Umsetzung im Folgejahr stehen sehr gut, nicht zuletzt, weil das Projekt auf realen Bedürfnissen basiert, methodisch fundiert erarbeitet wurde und praxisnah umgesetzt werden kann.

2 Kurzer beruflicher Werdegang

Mein Name ist Daniel Zimmermann, ich bin am 24. März 1998 in Grenchen geboren und lebe in Solothurn. Nach dem Abschluss der Sekundarschule absolvierte ich bei der Stryker GmbH eine vierjährige Lehre als Polymechaniker mit Schwerpunkt auf Vorrichtungs- und Prototypenbau. Bereits während dieser Zeit konnte ich mir fundierte Kenntnisse in der Fertigungstechnik, der Programmierung und Einrichtung von CNC-Fräs- und Drehmaschinen sowie in der Qualitätssicherung aneignen.

Nach dem Lehrabschluss sammelte ich praktische Erfahrungen in verschiedenen Industriebetrieben, unter anderem im Prototypenbau und in der medizintechnischen Produktion. Von 2019 bis 2023 war ich bei der Mawatec AG in Selzach tätig, wo ich neben der Herstellung von Vorrichtungen und Prototypen auch für die selbstständige Programmierung und Einrichtung komplexer Fertigungsanlagen verantwortlich war.

Seit 2023 arbeite ich bei der Nachbur AG in Holderbank als Projektleiter für Unternehmensprozesse. Zu meinen Kernaufgaben zählen die Leitung und Umsetzung von Investitions- und Optimierungsprojekten, darunter die Beschaffung neuer Produktionsmaschinen sowie die Entwicklung und Einführung unternehmensweiter Systeme wie dem DNC-System und einem strukturierten KVP-Prozess. Weitere Tätigkeiten umfassen die Durchführung von Machbarkeitsstudien, Prozessanalysen sowie die Begleitung von Neuteilen bis zur Serienreife. Mein Arbeitsbereich verbindet technische, organisatorische und wirtschaftliche Perspektiven.

Meine berufliche Entwicklung habe ich durch ein berufsbegleitendes Studium zum Techniker HF Unternehmensprozesse an der TEKO Olten gezielt weitergeführt. Besonders geprägt haben mich dort die Module zu Projektmanagement, Prozessoptimierung und Datenanalyse, in denen ich überdurchschnittliche Leistungen erzielen konnte. Die Diplomarbeit stellt den praxisbezogenen Abschluss dieses Studiengangs dar.

Ich verfüge über sehr gute Deutsch- und Englischkenntnisse sowie Grundkenntnisse in Französisch. Privat bin ich gerne in den Bergen unterwegs und aktives Mitglied im SAC.

2.1 Qualifikationsprofil

Im Rahmen meiner beruflichen und akademischen Entwicklung habe ich ein breit gestreutes Kompetenzprofil aufgebaut, das mich besonders in den Bereichen Prozessmanagement, Fertigungstechnik und Projektleitung auszeichnet. Diese Fähigkeiten ermöglichen es mir, technische und organisatorische Herausforderungen zielgerichtet zu analysieren und nachhaltige Lösungen in einem industriellen Umfeld erfolgreich umzusetzen.

2.1.1 Fachliche Qualifikationen:

- **Prozess- und Projektmanagement:** Umfangreiche Erfahrung in der Planung und Umsetzung von Investitions- und Optimierungsprojekten, einschliesslich der Einführung moderner Systeme zur Prozessüberwachung und der Neugestaltung von KVP-Systemen.
- **Fertigungstechnik und Produktionsprozesse:** Fundierte Kenntnisse in der Durchführung von Machbarkeitsstudien, der Prozessanalyse und der Optimierung von Produktionsabläufen. Erfahrung im Einsatz von CNC-Technologien und in der Programmierung von Maschinen (ISO-Code, Siemens, Heidenhain, Mazatrol).
- **Qualitätsmanagement:** Expertise in der Erstellung von Arbeitsplänen, Qualitätssicherungsdokumenten und der Durchführung von Prozessvalidierungen. Vertraut mit internen und externen Auditprozessen sowie der Umsetzung auditbezogener Anforderungen.

2.1.2 Methodische Kompetenzen:

- **Analytisches Denkvermögen:** Fähigkeit, komplexe Zusammenhänge zu analysieren und datenbasierte Entscheidungen zu treffen.
- **Strukturierte Arbeitsweise:** Entwicklung und Umsetzung effizienter Arbeits- und Projektstrukturen, um Ziele termingerecht und im vorgesehenen Kostenrahmen zu erreichen.
- **Effektive Kommunikation:** Sichere Zusammenarbeit in bereichsübergreifenden Teams sowie klare und überzeugende Präsentation von Projektergebnissen.

2.1.3 Sprachliche und technische Fähigkeiten:

- **Sprachen:**
 - Deutsch: Muttersprache
 - Englisch: Muttersprache
 - Französisch: Grundkenntnisse (A2)
- **Software:**
 - CAD/CAM: Solid Edge, FeatureCAM
 - CNC-Programmierung: Siemens, Heidenhain, Mazatrol
 - MS Office: Word, Excel, PowerPoint

Meine Qualifikationen beruhen auf einem soliden technischen Fundament, das ich durch kontinuierliche Weiterbildung und berufliche Erfahrung stetig erweitert habe. Diese Kombination aus Fachwissen, methodischen Kompetenzen und Kommunikationsfähigkeit befähigt mich, innovative Lösungen für komplexe Fragestellungen zu entwickeln und erfolgreich umzusetzen.

3 Einleitung

3.1 Hintergrund und Relevanz des Themas

Die industrielle Fertigung befindet sich in einem stetigen Wandel, getrieben durch technologische Fortschritte und steigende Anforderungen an Effizienz, Flexibilität und Wirtschaftlichkeit. In diesem Kontext gewinnt die Additive Fertigung zunehmend an Bedeutung, da sie neue Möglichkeiten zur Herstellung von Bauteilen bietet, die mit konventionellen Verfahren nur schwer oder kostenintensiv realisierbar sind.

Während meiner Ausbildung und Berufserfahrung habe ich mich intensiv mit Fertigungsprozessen, Produktionsoptimierung und Technologieintegration beschäftigt. Die Wahl dieses Themas für meine Diplomarbeit ergibt sich daher aus meiner Begeisterung für neue Fertigungstechnologien und dem Wunsch, eine praxisnahe Lösung für ein konkretes Problem in einem industriellen Umfeld zu entwickeln.

Die Nachbur AG, mein aktueller Arbeitgeber, ist ein etablierter Betrieb in der Präzisionsfertigung, spezialisiert auf CNC-Drehteile für unterschiedlichste Branchen. Die Möglichkeit, additive Fertigungsverfahren in die bestehenden Prozesse zu integrieren, birgt grosses Potenzial für Kosteneinsparungen, Effizienzsteigerungen und eine erweiterte Fertigungskompetenz. Gleichzeitig steht das Unternehmen vor der Herausforderung, die richtige Technologie zu wählen und deren Einführung so zu gestalten, dass sie nahtlos in bestehende Abläufe integriert werden kann.

Die Bearbeitung dieses Themas erfolgt im direkten Auftrag der Geschäftsleitung der Nachbur AG, die die Einführung eines industriellen 3D-Druckers als strategisch relevante Massnahme betrachtet. Die Diplomarbeit soll eine fundierte Entscheidungsgrundlage liefern, indem sie die relevanten Anforderungen definiert, die verfügbaren Lösungen am Markt evaluiert und eine klare Empfehlung für die Umsetzung gibt. Die Arbeit verbindet somit theoretisches Wissen mit praxisnaher Anwendung und trägt dazu bei, neue Technologien gezielt in bestehende Produktionsprozesse einzubinden.

3.2 Abgrenzung und Umfang der Arbeit

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Evaluierung, Auswahl und Implementierung eines industriellen 3D-Druckers für die Nachbur AG. Der Fokus liegt auf der Auswahl eines geeigneten Drucksystems, das in die bestehende Fertigungsumgebung integriert werden kann, um die Herstellung von Vorrichtungen, Prototypen und Messhilfen zu optimieren. Dabei werden sowohl technische als auch wirtschaftliche Kriterien berücksichtigt, um eine fundierte Entscheidungsgrundlage für die Geschäftsleitung zu schaffen.

3.2.1 Abgedeckte Aspekte der Arbeit:

Im Rahmen dieser Arbeit werden folgende Kernaspekte behandelt:

- **Marktanalyse:** Untersuchung und Vergleich geeigneter industrieller 3D-Drucksysteme anhand definierter Anforderungen.
- **Technische Evaluierung:** Bewertung relevanter Drucktechnologien, Materialien und Integrationsmöglichkeiten in den bestehenden Fertigungsprozess.
- **Kosten-Nutzen-Analyse:** Gegenüberstellung der Investitionskosten und der erwarteten Einsparungen durch die interne Nutzung eines 3D-Druckers.
- **Implementierungsplanung:** Entwicklung eines Konzeptes für die Einführung des Druckers, einschliesslich Integration in den Betrieb und Schulung der Mitarbeitenden.
- **Empfehlung einer konkreten Lösung:** Ableitung einer fundierten Kaufempfehlung basierend auf der Analyse.

3.2.2 Nicht abgedeckte Aspekte:

Um die Arbeit auf einen klaren Rahmen zu begrenzen, werden folgende Bereiche nicht behandelt:

- **Massenproduktion oder Serienfertigung mit 3D-Druck:** Der Fokus liegt auf der Herstellung von Prototypen, Vorrichtungen und Betriebsmitteln, nicht auf der Serienfertigung oder Massenproduktion von Endprodukten.
- **Grundlegende Forschung zur Additiven Fertigung:** Es werden ausschliesslich etablierte Technologien betrachtet, deren Einsatz für industrielle Anwendungen bereits erprobt und wirtschaftlich vertretbar ist. Experimentelle oder noch nicht ausgereifte Verfahren werden nicht berücksichtigt.
- **Detaillierte Konstruktionsoptimierung einzelner Bauteile:** Die Arbeit konzentriert sich auf die Auswahl und Einführung der Technologie, nicht auf spezifische Designanpassungen für den 3D-Druck.
- **Beschaffung und Inbetriebnahme:** Die tatsächliche Investition und Umsetzung liegt bei der Geschäftsleitung und erfolgt auf Basis der in dieser Arbeit erarbeiteten Entscheidungsgrundlage.

Der Umfang der Arbeit erstreckt sich auf die Analyse, Planung und Vorbereitung der Implementierung. Die tatsächliche Beschaffung und Inbetriebnahme des 3D-Druckers liegt ausserhalb des direkten Arbeitsumfangs dieser Diplomarbeit, kann jedoch basierend auf den Ergebnissen der Untersuchung durch die Geschäftsleitung initiiert werden.

3.2.3 Abgrenzung der Druckertechnologien

Die Arbeit konzentriert sich auf die fünf etablierten und industriell erprobten 3D-Drucktechnologien, die sich für den geplanten Einsatz in der Nachbur AG eignen:

- Selektives Lasersintern (SLS)
- Stereolithografie (SLA)
- Multi Jet Fusion (MJF)
- Multi Jet Printing (MJP)
- Fused Deposition Modeling (FDM)

Diese Technologien sind in der industriellen Fertigung anerkannt und bieten eine solide Basis für die Entscheidungsfindung. Neue, experimentelle oder noch nicht industriell ausgereifte Verfahren werden nicht berücksichtigt, da deren praktische Anwendung, Prozesssicherheit und wirtschaftliche Tragfähigkeit derzeit nicht ausreichend nachgewiesen sind.

3.2.4 Begriffliche Klarstellung

Da die Begriffe Fused Deposition Modeling (FDM) und Fused Filament Fabrication (FFF) technisch ein nahezu identisches Verfahren beschreiben, wird in dieser Arbeit FDM als übergeordneter Begriff verwendet.

Mit dieser klaren Abgrenzung stellt die Arbeit sicher, dass alle betrachteten Technologien und Lösungen auf die realen Bedürfnisse der Nachbur AG ausgerichtet sind. Die Untersuchung bleibt dadurch praxisnah, wirtschaftlich fundiert und auf eine konkrete Umsetzung ausgerichtet.

3.3 Aufbau der Diplomarbeit

Die Struktur der Arbeit ist darauf ausgelegt, eine klare, nachvollziehbare und schlüssige Herangehensweise an die Beschaffung und Implementierung eines industriellen 3D-Druckers zu gewährleisten. Durch die systematische Gliederung wird sichergestellt, dass die Problemstellung präzise analysiert, relevante Lösungen evaluiert und eine fundierte Entscheidungsgrundlage erarbeitet werden.

Die einzelnen Kapitel bauen aufeinander auf und führen schrittweise durch den gesamten Prozess von der Definition der Zielsetzung über die Anforderungsanalyse und Marktuntersuchung bis hin zur Kosten-Nutzen-Bewertung und der Planung der Umsetzung. Dabei wird besonderer Wert daraufgelegt, theoretische Grundlagen mit praxisbezogenen Aspekten zu verbinden, um eine direkte Anwendbarkeit der Ergebnisse für die Nachbur AG zu gewährleisten.

Die folgende Tabelle zeigt die Struktur der Arbeit im Überblick:

Kapitel	Inhalt
Kapitel 1 – Management Summary	Zusammenfassung der Arbeit mit Fokus auf Zielsetzung, Methodik und zentrale Ergebnisse.
Kapitel 2 – Beruflicher Lebenslauf	Darstellung meines beruflichen Werdegangs, um den persönlichen Kontext zur Arbeit herzustellen.
Kapitel 3 – Qualifikationsprofil	Beschreibung relevanter fachlicher, methodischer und technischer Kompetenzen.
Kapitel 4 – Einleitung	Einführung in das Thema, Hintergrund, Zielsetzung, Abgrenzung und Umfang der Arbeit.
Kapitel 5 – Projektinitialisierung und Planung	Definition der Problemstellung, Zielsetzung, Stakeholderanalyse und Zeitplanung.
Kapitel 6 – Anforderungsdefinition	Erstellung eines detaillierten Anforderungskatalogs und Definition der Evaluierungskriterien.
Kapitel 7 – Marktanalyse	Untersuchung relevanter Anbieter, Auswahlmethodik und Bewertung potenzieller Lösungen.
Kapitel 8 – Kosten-Nutzen-Analyse	Berechnung der Wirtschaftlichkeit der Lösungen anhand von Methoden wie ROI und TCO.
Kapitel 9 – Variantenfindung und Lösungsweg	Identifikation möglicher Lösungen, deren Bewertung und Auswahl der optimalen Variante.
Kapitel 10 – Implementierungsplan	Planung der Einführung des gewählten 3D-Druckers mit Ressourcen- und Zeitmanagement.
Kapitel 11 – Schulungsplan	Erstellung eines Konzepts zur Schulung der Mitarbeitenden für den effizienten Betrieb des Systems.
Kapitel 12 – Ausblick und Zielerreichung	Reflexion der Zielerreichung, Herausforderungen und mögliche zukünftige Weiterentwicklungen.
Kapitel 13 – Reflexion und Lessons Learned	Analyse der Projekterfahrungen und persönliche Erkenntnisse aus der Bearbeitung.
Kapitel 14 – Persönliches Schlusswort	Danksagung und persönliche Reflexion über den Lernprozess durch die Arbeit.
Kapitel 15 – Anhang	Ergänzende technische Daten, vollständige Quellenangaben und weiterführende Dokumentationen.

Tabelle 1: Kapitel & Inhalt der Diplomarbeit

4 Projektinitialisierung und Planung

4.1 Kurzvorstellung der Firma Nachbur AG

4.1.1 Tätigkeiten der Nachbur AG

Die Nachbur AG ist ein Präzisionsfertigungsunternehmen, das sich auf CNC-Drehen und die Herstellung hochpräziser Bauteile spezialisiert hat. Das Unternehmen beschäftigt rund 95 Mitarbeiter, die in verschiedenen Bereichen der Fertigung, Qualitätssicherung und Administration tätig sind. Die Nachbur AG kombiniert jahrzehntelange Erfahrung mit modernster Fertigungstechnologie, um Kunden aus anspruchsvollen Industrien mit hochwertigen Drehteilen und Baugruppen zu versorgen.

4.1.2 Hauptprodukte und Dienstleistungen der Nachbur AG

Die Nachbur AG produziert Präzisionsdrehteile und Baugruppen für unterschiedliche Branchen. Das Unternehmen bietet komplette Fertigungslösungen, inklusive Drehen, Fräsen, Schleifen und Baugruppenmontage. Neben der spannenden Fertigung wird grosser Wert auf Oberflächenbehandlungen, Qualitätskontrolle und Montageprozesse gelegt.

4.1.3 Zielgruppen und Kunden der Firma

Zu den Kunden gehören Unternehmen aus Branchen welche höchste Anforderungen an Präzision, Materialqualität und Prozesssicherheit haben.

Diese Branchen umfassen:

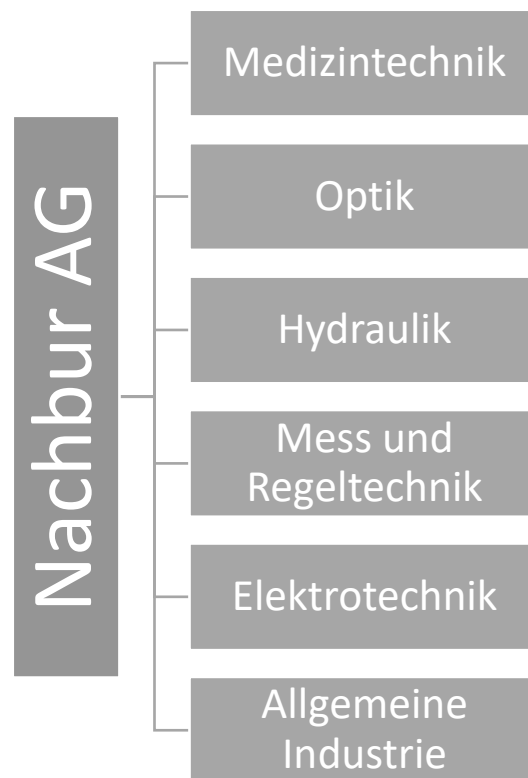


Abbildung 1: Zielgruppen & Kunden der Nachbur AG

4.2 Begründung der Notwendigkeit eines 3D-Druckers

4.2.1 Konkrete Problemstellung

Aktuell fertigt Nachbur AG einige Bauteile und Vorrichtungen intern aus Aluminium, während andere Teile extern im 3D-Druckverfahren bestellt werden. Die interne Fertigung ist jedoch mit hohem Aufwand verbunden:

- Aluminiumfrästeile sind teuer in der Herstellung, da sie Maschinenkapazitäten belegen, hohe Materialkosten verursachen und zeitaufwändig sind.
- Aluminium ist für manche Anwendungen nicht ideal, da es aufgrund seiner Härte Abdrücke hinterlassen kann, insbesondere bei empfindlichen Mess- oder Greiferanwendungen.
- Die externe Fertigung von 3D-Druck-Teilen führt zu langen Wartezeiten, höheren Kosten und einer geringeren Flexibilität.

Ein eigener 3D-Drucker würde es ermöglichen, intern viele Vorrichtungen, Messhilfen und Greifer schnell und kosteneffizient herzustellen, ohne dabei Maschinenressourcen zu blockieren oder teures Rohmaterial zu verwenden.

Das Thema ist für die Nachbur AG von praktischer wie auch strategischer Bedeutung, da die additive Fertigung ein völlig neues Produktionsfeld eröffnet, das die traditionelle Zerspanung ideal ergänzt. Der Einsatz eines 3D-Druckers würde nicht nur bestehende Prozesse verbessern, sondern auch neue Möglichkeiten für die Produktentwicklung und Fertigungseffizienz bieten.

4.2.2 Erwartete Vorteile durch die Implementierung

Durch die Einführung eines industriellen 3D-Druckers erwartet Nachbur AG mehrere entscheidende Vorteile:

1. **Kürzere Lieferzeiten:** Eigene Fertigung von Vorrichtungen und Prototypen reduziert die Abhängigkeit von externen Zulieferern.
2. **Kosteneinsparung:** Weniger externe Bestellungen führen zu direkten Einsparungen bei Produktionskosten.
3. **Höhere Flexibilität:** Anpassungen und Änderungen können intern schnell umgesetzt werden, ohne lange externe Abstimmungen.
4. **Erweiterung der Fertigungstiefe:** Das Unternehmen kann neue Dienstleistungen anbieten, die bisher nicht möglich waren.
5. **Kapazitätssteigerung:** Automatisierte Messungen und optimierte Vorrichtungen erhöhen die Auslastung der vorhandenen Maschinen.
6. **Wettbewerbsvorteil:** Die Fähigkeit, innovative Fertigungstechnologien wie den 3D-Druck zu nutzen, stärkt die Marktposition von Nachbur AG.

4.2.3 Zielscheibe Diplomarbeit

Beschaffungsvorschlag 3-D Drucker bei der Nachbar AG	
1. Es liegt ein vollständiger Beschaffungsvorschlag für einen industriellen 3D-Drucker vor. 2. Die technologische Fertigungstiefe der Nachbar AG wurde erweitert. 3. Die Fertigungsflexibilität wurde durch interne Vorrichtungserstellung verbessert. 4. Ein fundierter Plan zur Implementierung des Druckers wurde ausgearbeitet. 5. Entscheidungsgrundlage für die Geschäftsleitung wurde nachvollziehbar aufbereitet. 6. Vergleich von mindestens drei industriellen 3D-Druckern wurde durchgeführt. 7. Erstellung eines vollständigen Anforderungskatalogs für den industriellen 3D-Drucker. 8. Interne Produktion senkt Fremdkosten um mindestens CHF 35'000 pro Jahr. 9. Durch Vorab-Messung sinkt Stillstandzeit um 80 Stunden jährlich. 10. Schulungskonzept für Mitarbeiter mit klar definiert und mindestens 3 geschulten Personen 11. Die Wartezeiten bei externen Bestellungen wurden um 85 % reduziert. 12. Die Messkapazität wurde durch Mehrfachaufspannungen um 10 % gesteigert.	1. Enthält Marktanalyse, Anforderungskatalog, Nutzwertanalyse, Auswahl, Implementierungs- und Schulungsplan. 2. Es wurden konkrete Anwendungsfälle dargestellt und deren Nutzen hypothetisch bewertet. 3. Relevante Anwendungen (mind. 5) wurden intern simuliert, getestet oder vorbereitet. 4. Enthält zeitlichen Ablauf, Verantwortlichkeiten, Infrastrukturbedarf und Schulungsempfehlungen. 5. Enthält klare Empfehlung mit Begründung, basierend auf Nutzwertanalyse und Kostenabschätzung ROI / TCO. 6. Bewertungsmatrix und Nutzwertanalyse mit drei oder mehr Anbietern vorhanden. 7. Der Anforderungskatalog ist vollständig dokumentiert, abgestimmt mit konkreten Anwendungen und internen Prozessen. 8. Ersparnis ist anhand von Anwendungsfällen berechnet und im KNA belegt. 9. Zeiterfassung oder nachvollziehbare Abschätzung dokumentiert. 10. Das Konzept beschreibt Inhalte und Schulungsumfang, konkrete Durchführung liegt ausserhalb des Projekts. 11. Die Zeitvorteile wurden anhand von Lieferzeiten vs. geplanter interner Druckdauer begründet. 12. Der erwartete Kapazitätsgewinn wurde auf Basis simulierter Szenarien mit Mehrfachaufspannungen dargestellt.
<u>Hinweis zu den Erfolgskriterien:</u> → Die Zielscheibe beschreibt ausschliesslich Ergebnisse und Bewertungen, die im Rahmen der Diplomarbeit selbst erbracht werden können. Schätzungen zu Einsparungen und Effizienzgewinnen basieren auf Modellrechnungen und hypothetischen Annahmen. Die tatsächliche Umsetzung (Beschaffung, Schulung, Fertigung) liegt ausserhalb des Projektumfangs und wird nicht bewertet. Erfolgskriterien beziehen sich daher auf die Nachvollziehbarkeit, Vollständigkeit und Logik der ausgearbeiteten Inhalte.	

Tabelle 2: Zielscheibe

4.3 Kunden- und Stakeholderanalyse

4.3.1 Identifikation der Stakeholder

Im Rahmen der Einführung eines industriellen 3D-Drucksystems bei der Nachbur AG sind unterschiedliche interne und externe Anspruchsgruppen (Stakeholder) direkt oder indirekt vom Projekt betroffen. Diese wurden frühzeitig identifiziert, um deren Interessen, Erwartungen und potenziellen Einfluss auf den Projekterfolg gezielt berücksichtigen zu können.

Identifizierte Stakeholder:

- **Geschäftsleitung (GL):**
Trifft die Investitionsentscheidung und erwartet eine wirtschaftlich sinnvolle Lösung mit messbarem Nutzen.
- **Projektverantwortlicher (Diplomand):**
Verantwortlich für die gesamte Projektabwicklung von der Anforderungserhebung bis zur Empfehlung und Umsetzungsplanung.
- **Produktionsleitung:**
Entscheidet über die zukünftige betriebliche Nutzung und trägt Verantwortung für den operativen Nutzen im Alltag.
- **Ausgewählte Mitarbeitende:**
Künftige Nutzer des Systems, Sie sind direkt von der Schulung, Bedienung und späteren Anwendung betroffen.
- **Arbeitsvorbereitung (AVOR):**
Zuständig für die Aufbereitung der Konstruktionsdaten (CAD) für den Druckprozess, inklusive Schnittstellen und Dateiformate.
- **IT-Abteilung:**
Verantwortlich für die Integration des Systems in das interne Netzwerk, die Datenbereitstellung sowie etwaige IT-Sicherheitsfragen.
- **Lieferant des 3D-Drucksystems:**
Übernimmt Lieferung, Installation, Inbetriebnahme und Schulung. Steht ausserdem für technischen Support zur Verfügung.
- **Marechaux (externer Technikpartner):**
Zuständig für die elektrische Erschliessung, die Netzwerkinfrastruktur sowie die Prüfung der raumklimatischen Bedingungen im Untergeschoss.

Diese Stakeholder bilden das zentrale Umfeld für die erfolgreiche Umsetzung des Projekts. Ihre Rollen, Interessen und Einflussmöglichkeiten werden in den folgenden Abschnitten detaillierter analysiert und bewertet.

4.3.2 Einordnung der Stakeholder

Um die potenziellen Auswirkungen der Stakeholder auf das Projekt zu verstehen und geeignete Kommunikations- und Einbindungsstrategien abzuleiten, wurden alle relevanten Anspruchsgruppen hinsichtlich ihres Einflusses auf das Projekt sowie ihres Interesses am Projektverlauf bewertet.

Die Grundlage dafür bildet eine systematische Stakeholdermatrix mit folgenden Dimensionen:

- **Einfluss:** Fähigkeit, Entscheidungen zu beeinflussen oder Rahmenbedingungen zu verändern.
- **Interesse:** Grad der Betroffenheit bzw. des Engagements im Projektverlauf.

Diese Bewertung wurde für jeden Stakeholder durchgeführt und in einer Stakeholder-Tabelle dokumentiert. Die Einordnung erfolgte gemäss dem Vier-Felder-Modell (hoch/niedrig) und ermöglicht eine differenzierte Betrachtung des Kommunikationsbedarfs.

Stakeholder	Funktion	Interesse	Einfluss	Priorität
Geschäftsleitung	Entscheidungsträger bzgl. Budget	hohes Interesse	hoher Einfluss	Hohe Priorität
Projektverantwortlicher	Leitet das gesamte Projekt	hohes Interesse	hoher Einfluss	Hohe Priorität
Produktionsleitung	Verantwortlich für operativen Nutzen	hohes Interesse	mittlerer Einfluss	Mittlere Priorität
Mitarbeitende	Bedienung und Nutzung	niedriges Interesse	eher hoher Einfluss	Mittlere Priorität
AVOR	Bereitet CAD-Daten vor	mittleres Interesse	eher hoher Einfluss	Mittlere Priorität
IT-Abteilung	Sorgt für Netzwerk- & Datenschnittstelle	mittleres Interesse	mittlerer Einfluss	Mittlere Priorität
Lieferant	Lieferung, inbetrieb- nahme, Schulung	mittleres Interesse	hoher Einfluss	Hohe Priorität
Marechaux	Stromanschluss und Netzwerkanschluss	niedriges Interesse	geringer Einfluss	Geringe Priorität

Tabelle 3: Stakeholder-Tabelle

Zur Visualisierung der Einordnung wurde zusätzlich eine Power-Interest-Matrix erstellt. Diese zeigt, welche Stakeholder besonders aktiv eingebunden werden müssen und bei welchen eine reine Informationsstrategie ausreicht.

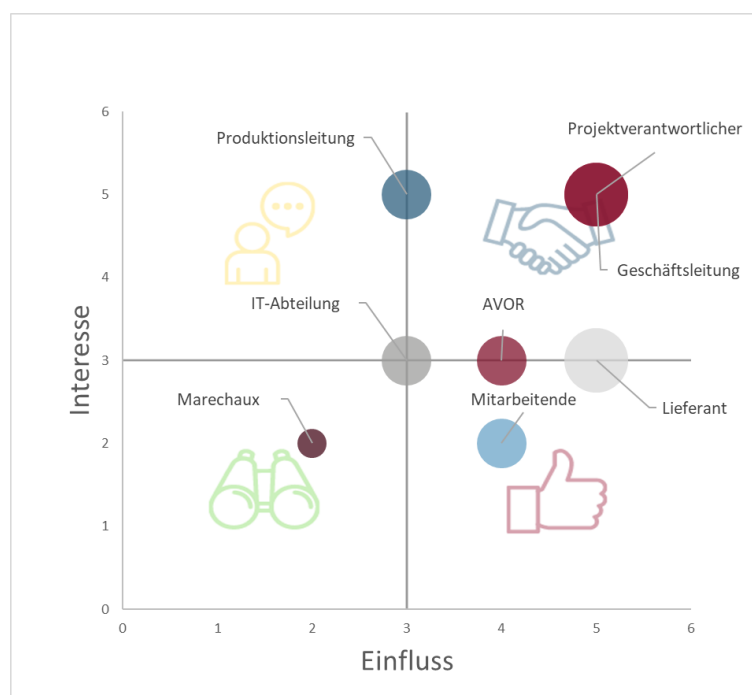


Abbildung 2: Power-Interest-Matrix

4.3.3 Interpretation und Analyse

Die Auswertung der Matrix zeigt, dass insbesondere zwei Gruppen eine zentrale Rolle für den Projekterfolg einnehmen:

Gruppe A – aktiv einbinden:

Geschäftsleitung und Projektverantwortlicher verfügen sowohl über hohe Entscheidungsmacht als auch über starkes Interesse am Projekterfolg. Sie müssen laufend informiert, einbezogen und bei allen Meilensteinen aktiv eingebunden werden.

Gruppe B – gezielt zufriedenstellen:

Die Produktionsleitung und die IT-Abteilung haben einen hohen bis mittleren Einfluss, jedoch kein unmittelbares operatives Interesse am Tagesgeschäft des Druckers. Eine gezielte Information mit klaren Schnittstellen genügt, um deren Unterstützung sicherzustellen.

Gruppe C – kontinuierlich informieren und beteiligen:

Die Produktionsmitarbeitenden im UG sowie die AVOR sind stark betroffen, verfügen aber über wenig formellen Einfluss. Ihre Akzeptanz, ihr Praxiswissen und ihre Rückmeldungen sind essenziell für den operativen Erfolg.

Gruppe D – beobachten:

Marechaux als technischer Dienstleister erfüllt eine wichtige, aber klar abgrenzbare Rolle. Sobald die Infrastruktur bereitgestellt ist, entfällt die aktive Steuerung dieses Stakeholders.

Diese Einordnung bildet die Grundlage für die Ableitung konkreter Massnahmen zur Kommunikation, Einbindung und Steuerung der einzelnen Gruppen.

4.3.4 Ableitung von Massnahmen

Basierend auf der Stakeholderbewertung wurden pro Anspruchsgruppe passende Handlungsstrategien entwickelt. Ziel ist es, den Projekterfolg durch gezielte Kommunikation, transparente Information und aktive Einbindung abzusichern.

Stakeholder	Funktion	Einstellung zum Projekt	Priorität	Ziel	Einflussmöglichkeit	Strategie	Verantwortliche Person
Geschäftsleitung	Entscheidungssträger bzgl. Budget	unterstützt	Hohe Priorität	Investition freigeben und	Projekt stoppen oder verzögern	zufriedenstellen	Projektverantwortlicher
Projektverantwortlicher	Leitet das gesamte Projekt	unterstützt	Hohe Priorität	Projekt erfolgreich abschliessen	volles Steuerungspotenzial	einbinden	Projektverantwortlicher
Produktionsleitung	Verantwortlich für operativen Nutzen	unterstützt	Mittlere Priorität	Reibungsloser Betrieb und	Einfluss auf interne Umsetzung	zufriedenstellen	Projektverantwortlicher
Mitarbeitende	Bedienung und Nutzung	indifferent	Mittlere Priorität	Effiziente Bedienung und	indirekter Einfluss durch Rückmeldung	einbinden	Projektverantwortlicher
AVOR	Bereitet CAD-Daten vor	indifferent	Mittlere Priorität	Zuverlässige Datenverarbeitung und Übergabe	Datenqualität und Aufbereitung beeinflussen den	einbinden	Projektverantwortlicher
IT-Abteilung	Sorgt für Netzwerk- &	indifferent	Mittlere Priorität	Stabile Integration ins System	Verzögerung bei Anbindung	informieren	Projektverantwortlicher
Lieferant	Lieferung, inbetriebnahme,	unterstützt	Hohe Priorität	Zufriedener Kunde, reibungsloser	Verspätung, technische Probleme	einbinden	Projektverantwortlicher
Marechaux	Stromanschluss und Netzwerkanschluss	indifferent	Geringe Priorität	Zeitgerechte Umsetzung der Anschlüsse	Verzögerungen bei Installationsarbeiten	beobachten	Projektverantwortlicher

Tabelle 4: Massnahmenplan Stakeholderanalyse

Die wichtigsten Massnahmen umfassen:

- Regelmässige Status-Updates an die Geschäftsleitung (z. B. in Form von Meilensteinberichten)
- Frühe Einbindung der AVOR bei der Definition der Datenformate und Schnittstellen
- Praktische Schulung der Produktionsmitarbeitenden durch den Anbieter mit Fokus auf realitätsnahe Beispiele
- IT-Integration in der Infrastrukturphase, klare Definition von Verantwortlichkeiten
- Begleitender Dialog mit dem Lieferanten, insbesondere während der Inbetriebnahme und Pilotphase
- Terminliche Abstimmung mit Marechaux, um Verzögerungen beim Anschluss der Infrastruktur zu vermeiden

Die Umsetzung erfolgt durch den Projektverantwortlichen. Alle relevanten internen und externen Ansprechpersonen sind dem Projektteam bekannt. Eine separate Kontaktliste wurde intern geführt, jedoch nicht in dieser Arbeit abgebildet, da sie keinen Mehrwert für die inhaltliche Projektbewertung darstellt.

4.4 Projektstrukturplan

Im Rahmen der Projektstrukturplanung wird das Vorhaben in Arbeitspakete gegliedert, die den Projektverlauf strukturiert abbilden. Der folgende Plan orientiert sich am klassischen 4-Phasenmodell:



Abbildung 3: Projektstrukturplan

4.5 Projektablaufplan & Meilensteine

Phase	Meilenstein	Zeitraum / Deadline
1. Vorbereitung & Pflichtenheft	Erstellung des Pflichtenhefts	Bis 17.03.2025
	Abgabe des Pflichtenhefts an den Diplomlehrer	17.03.2025
	Abnahme & Besprechung des Pflichtenhefts mit dem Diplomlehrer	31.03.2025
2. Start der Diplomarbeit & Recherchephase	Offizieller Start der Diplomarbeit	01.04.2025
	Detaillierte Marktanalyse	01.04 – 10.04.2025
	1. Besprechung mit dem Diplomlehrer zur Zielvalidierung	10.04.2025
3. Evaluierung & Konzeptphase	Auswahl & Bewertung passender Drucktechnologien	11.04 – 21.04.2025
	Wirtschaftlichkeitsanalyse	11.04 – 21.04.2025
	Erstellung eines Lastenhefts für Druckersystem	15.04 – 22.04.2025
	2. Besprechung mit dem Diplomlehrer (Standortbestimmung & Dokumentationsstruktur)	09.05.2025
4. Umsetzung & Testphase	Erste Testdrucke mit ausgewählten Materialien	12.05 – 17.05.2025
	Evaluierung der Testdrucke	18.05 – 21.05.2025
	Abschluss der Dokumentation & Vorbereitung der Abgabe	22.05 – 25.05.2025
5. Abgabe & Präsentation	Abgabe der vollständigen Diplomarbeit	26.05.2025
	Erstellung der Onlinepublikation	26.05 – 06.06.2025
	Deadline für Onlinepublikation	07.06.2025
	Präsentation der Diplomarbeit	KW 24 (10.06 – 14.06.2025)

Tabelle 5: Projektablaufplan & Meilensteine

4.6 Zeitplanung GANTT-Diagramm Soll / Ist

Die nachfolgende Darstellung zeigt den zeitlichen Ablauf der Diplomarbeit in Form eines Gantt-Diagramms.

- Die SOLL-Planung ist in Grün dargestellt und basiert auf dem ursprünglichen Projektzeitplan.
- Die IST-Planung ist in Orange markiert und reflektiert den tatsächlichen Verlauf der Arbeiten bis zur Abgabe.

Nr.	Phase	Start date	End date	Status	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr
					31.3.25	1.4.25	2.4.25	3.4.25	4.4.25	5.4.25	6.4.25	7.4.25	8.4.25	9.4.25	10.4.25	11.4.25	12.4.25	13.4.25	14.4.25	15.4.25	16.4.25	17.4.25	18.4.25							
1	Pflichtenheft & Projektstart	03.03.2025	31.03.2025	Fertig																										
2	Analyse & Zieldefinition	17.03.2025	31.03.2025	Fertig																										
3	Marktanalyse Technologien	01.04.2025	11.04.2025	Fertig																										
4	Modellvergleich & Auswahl	12.04.2025	20.04.2025	Fertig																										
5	Nutzwertanalyse & Empfehlung	21.04.2025	29.04.2025	Fertig																										
6	Testdrucke & Evaluierung	30.04.2025	09.05.2025	Fertig																										
7	ROI/TCO Berechnungen	10.05.2025	15.05.2025	Fertig																										
8	Implementationsplan	16.05.2025	19.05.2025	Fertig																										
9	Schulungskonzept	20.05.2025	22.05.2025	Fertig																										
10	Dokumentation & Feinschliff	23.05.2025	25.05.2025	Fertig																										
11	Abgabe Diplomarbeit	26.05.2025	26.05.025	Fertig																										

Abbildung 4: GANTT-Diagramm 1 Soll/Ist

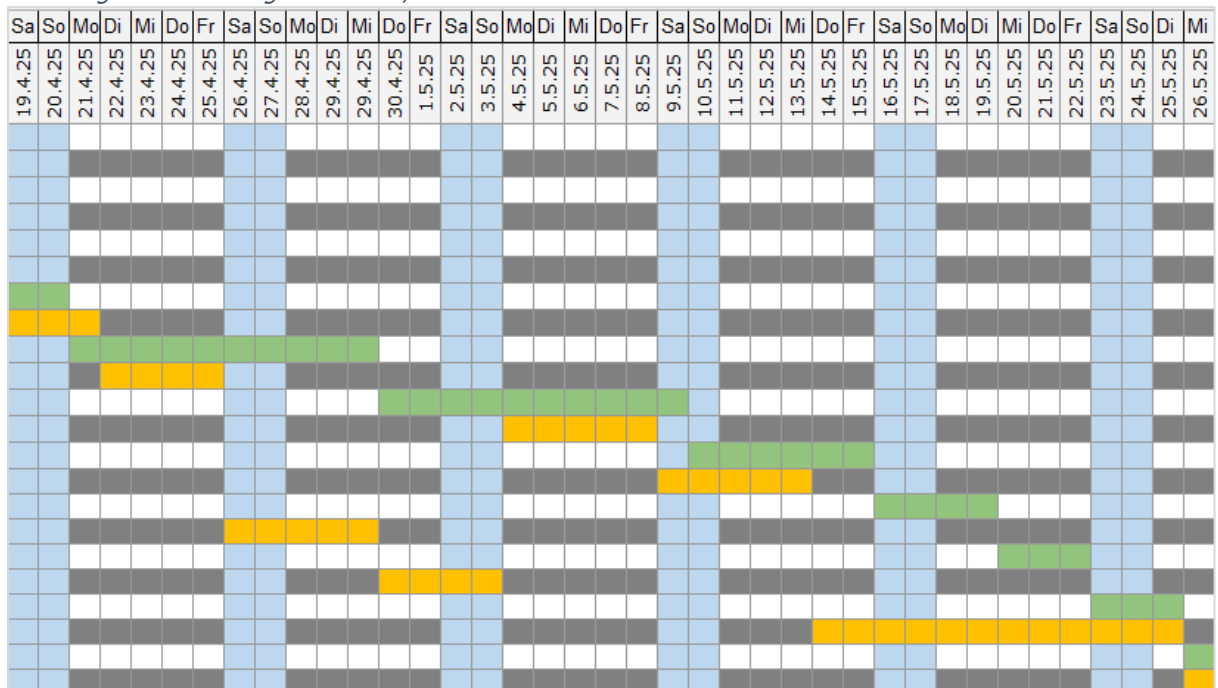


Abbildung 5: GANTT-Diagramm 2 Soll/Ist

4.7 SWOT-Analyse

Zur ganzheitlichen Beurteilung des Projekts wurde eine SWOT-Analyse durchgeführt. Diese zeigt auf, welche Stärken und Schwächen intern bestehen und welche externen Chancen sowie Risiken mit der Einführung eines industriellen 3D-Druckers verbunden sind. Die Erkenntnisse dienen als zusätzliche Entscheidungsgrundlage für die Geschäftsleitung.

Stärken 🍌	Schwächen ✖
• Hoher praktischer Nutzen durch Eigenfertigung von Vorrichtungen, Trays und Prototypen • Reduktion externer Wartezeiten und Einsparung von Fremdkosten • Flexibilität bei kurzfristigen Änderungen in der Konstruktion • Reduktion der Maschinenauslastung durch Wegfall von Vorrichtungsfrästeilen • Schnelle Iteration von Greiferkonzepten und Prototypen	• Aktuell noch fehlende Erfahrung im Umgang mit 3D-Drucksystemen • Eingeschränkte interne Kapazität zur Nachbearbeitung von Teilen • Zusätzlicher Schulungs- und Betreuungsaufwand in der Einführungsphase • Investitionsentscheidung abhängig von Budgetfreigabe durch die GL • Risiko technologischer Überforderung bei unklarer Abgrenzung von Zuständigkeiten
Chancen 🚀	Risiken ⚠
• Strategische Differenzierung durch modernere Fertigungskompetenzen • Know-how-Aufbau im Bereich Additive Fertigung • Interne Weiterentwicklung im Vorrichtungsbau und der Messtechnik • Verbesserung der Lieferperformance durch interne Produktion • Potenzial für Weiterentwicklungen in Richtung Hybridfertigung	• System könnte bei falscher Einführung ungenutzt bleiben • Risiko der Unterschätzung von Folgekosten (z. B. Material, Wartung) • Zu starke Abhängigkeit von einzelnen Lieferanten (Support, Materialversorgung) • Initiale Akzeptanzprobleme bei Mitarbeitenden und Schnittstellen • Technologischer Wandel könnte kurzfristig neue Anforderungen stellen

Tabelle 6: SWOT-Analyse

Fazit zur SWOT-Analyse:

Die SWOT-Analyse bestätigt die strategische Tragfähigkeit des Projekts. Die internen Stärken wie Flexibilität, Eigenständigkeit und Effizienzpotenziale decken sich mit den konkreten Bedürfnissen aus dem Tagesgeschäft und stützen die Zielsetzung der Arbeit. Die identifizierten Schwächen, insbesondere das fehlende Know-how und der Schulungsaufwand sind real, aber klar benennbar und organisatorisch gut beherrschbar.

Besonders ins Gewicht fallen die externen Chancen. Der Aufbau interner 3D-Druck-Kompetenz eröffnet nicht nur kurzfristige Verbesserungen in Konstruktion und Fertigung, sondern schafft auch langfristige Perspektiven in Richtung modernisierter Fertigung und unabhängigerer Prozessgestaltung. Gleichzeitig zeigen die Risiken, dass eine erfolgreiche Umsetzung keine Selbstverständlichkeit ist. Sie erfordert klare Verantwortlichkeiten, technische Betreuung und eine bewusste Einführung mit Schulungsfokus.

In Summe ergibt sich ein deutlich positives Chancen-Risiko-Profil. Das Projekt ist realistisch, wirtschaftlich tragbar und steht im Einklang mit den strategischen Zielen des Unternehmens. Es bietet die Möglichkeit, nicht nur Werkzeuge herzustellen, sondern Kompetenzen. Und genau das macht es zu einer lohnenden Investition.

5 Anforderungsdefinition

Um die geplanten Anwendungen effizient umzusetzen, muss der 3D-Drucker bestimmte technische Spezifikationen erfüllen. Besonders entscheidend sind eine hohe Präzision, mechanische Stabilität der Druckteile und ein ausreichendes Bauvolumen, da viele der zu fertigenden Bauteile grossflächig oder mechanisch stark beansprucht werden. Ein geschlossener Bauraum ist notwendig, um äussere Einflüsse zu minimieren und gleichbleibende Druckbedingungen sicherzustellen.

Ein weiterer zentraler Punkt ist die Kompatibilität mit Autodesk CAD und STEP-Dateien, um eine reibungslose Integration in bestehende Entwicklungs- und Fertigungsprozesse zu gewährleisten.

5.1 Anforderungskatalog

Die folgende Tabelle fasst die wichtigsten technischen Anforderungen zusammen:

Kategorien	Anforderung
Drucktechnologie	SLS bevorzugt, evtl. SLA, MJF, MJP oder FDM als Alternative, abhängig von Bauteilgeometrie & mechanischen Anforderungen.
Bauraum & Druckvolumen	Mindestens 400 x 300 x 400 mm, um grössere Vorrichtungen und Mehrfachaufspannungen realisieren zu können.
Auflösung & Präzision	Sehr feine Details, minimale Massabweichung, besonders wichtig für Messvorrichtungen & Mehrfachaufspannungen.
Mechanische Eigenschaften	Hohe Festigkeit & Dimensionsstabilität, kein Verzug über längere Zeiträume, belastbar für Greif- & Haltevorrichtungen.
Materialien	Beständig gegen Öl, Kühlschmierstoffe & leichte Chemikalien. Muss zudem mechanischer Beanspruchung standhalten.
Geschwindigkeit	Mittlere bis hohe Druckgeschwindigkeit, um auch grössere Vorrichtungen innerhalb eines Werktags drucken zu können.
Werkstückträgergewicht	Muss Bauteile bis ca. 3-5 kg verarbeiten können, um stabile Vorrichtungen und Greiferkomponenten zu fertigen.
Materialkosten	Kosten pro Kilogramm Material müssen wirtschaftlich vertretbar sein, bevorzugt Pulver oder Filamente mit hoher Verfügbarkeit und konstanten Eigenschaften.
Kosten	Vertretbare Investitionskosten abhängig von der Druckertechnologie, mit einer geplanten Amortisierung innerhalb von 3-4 Jahren.
Bauraum & Gehäuse	Geschlossener Bauraum, um Staub & Warping zu vermeiden und konstante Druckbedingungen zu gewährleisten.
Materialien	Beheizte Bauplatte, automatische Druckbettnivellierung, Vibrationsstabilität
Einsatzbereich	Messvorrichtungen, Greiferbacken, Trays für Laserbeschriftung, Prototypen & Montagevorrichtungen, einsetzbar in einer industriellen Umgebung.

Tabelle 7: Technische Kriterien & Anforderungen

5.2 Prozesse & Anwendungen in der Nachbur AG

5.2.1 Prototypen zum Einfahren der 3-D Messmaschinen (Zeiss & Wenzel)

Die 3D-gedruckten Prototypen und Neuteile dienen dazu, neue Bauteile vor der eigentlichen Serienfertigung auf den Zeiss- und Wenzel-Koordinatenmessmaschinen (KMGs) einzufahren. Diese Modelle sind exakte Nachbildungen der später zu fertigenden Teile und ermöglichen es, Messprogramme im Voraus zu erstellen und zu testen, bevor die ersten echten Bauteile aus der Produktion eintreffen.

Funktion & Einsatzzweck:

1. Voreinstellen und Optimieren der Messprogramme, bevor die ersten Bauteile aus der Fertigung kommen, um wertvolle Maschinenzeit zu sparen.
2. Vermeidung von Produktionsverzögerungen, da Messstrategien bereits getestet wurden, bevor echte Bauteile verfügbar sind.
3. Reduzierung von Ausschuss, da potenzielle Messprobleme erkannt und behoben werden, bevor die Serienproduktion startet.
4. Optimierung der Tasterbahnen & Messreihenfolge, um den Messprozess effizienter zu gestalten.

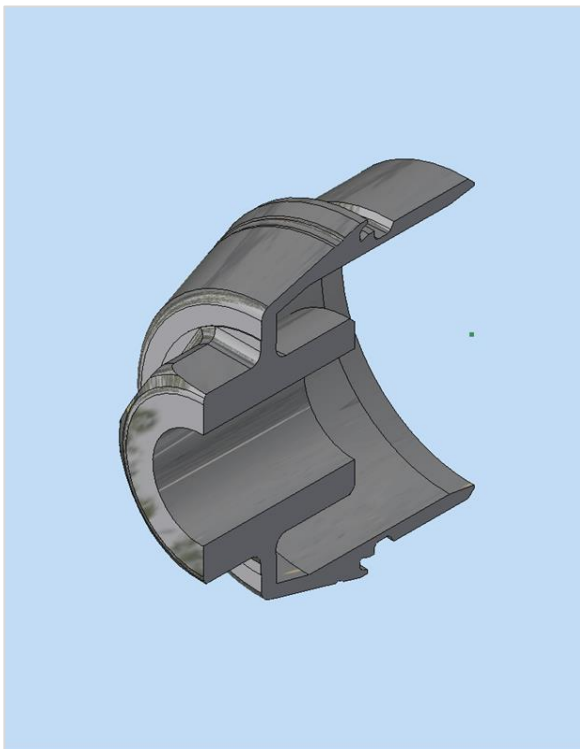


Abbildung 6: CAD-Darstellung
Zylinderverschlusschraube

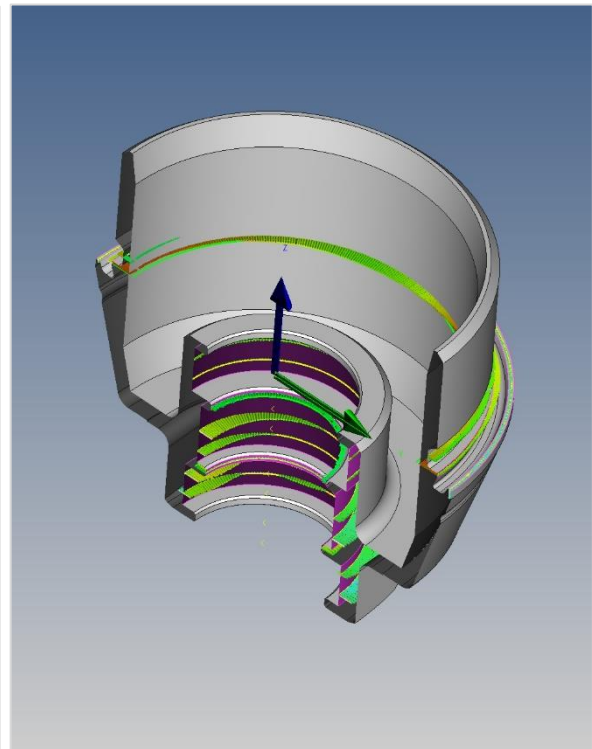


Abbildung 7: Messbahnen Zeiss Calypso
Zylinderverschlusschraube

5.2.2 Messvorrichtungen für 3D-Messmaschinen (Zeiss & Wenzel)

Die Messvorrichtungen sind individuell angepasste Halterungen, die Werkstücke exakt positionieren und für wiederholbare, hochpräzise Messungen auf den Zeiss- und Wenzel-Koordinatenmessmaschinen (KMGs) sorgen. Diese Vorrichtungen werden je nach Bauteilgeometrie gefertigt, um Messfehler durch falsche Positionierung zu vermeiden.

Funktion & Einsatzzweck:

1. Stabile Fixierung des Werkstücks, um während der Messung Bewegungen und Lageabweichungen zu verhindern.
2. Vermeidung von Messfehlern, da das Werkstück exakt ausgerichtet ist und die Messtaster präzise ansetzen können.
3. Mehrfachaufspannungen ermöglichen parallele Messungen, z. B. von Serienteilen oder für automatisierte Nachmessungen.



Abbildung 8: Messvorrichtung Housing-Actuator



Abbildung 9: Haltevorrichtung für Messtaster Zeiss

5.2.3 Mehrfachaufspannungen für 3D-Messmaschinen (Zeiss & Wenzel)

Mehrfachaufspannungen sind individuell angefertigte Halterungen, die es ermöglichen, mehrere Werkstücke nacheinander auf den Zeiss- und Wenzel-Koordinatenmessmaschinen zu positionieren. Diese Vorrichtungen sind modular aufgebaut, sodass verschiedene Bauteilgrößen aufgenommen werden können.

Funktion & Einsatzzweck:

1. Erhöhung der Messkapazität, da man mehrere Bauteile hintereinander messen kann, ohne manuelles Umrüsten.
2. Reduzierung der Messzeiten, besonders bei Serienmessungen oder autonomen Messungen über Nacht.
3. Effizientere Nutzung der Messmaschinen über Nacht, da eine grössere Anzahl an Teilen in einem Durchgang geprüft werden.
4. Zeitersparnis für das Bedienpersonal, da weniger Eingriffe und Umspannvorgänge notwendig sind.



Abbildung 10: Mehrfachaufspannung Wenzel



Abbildung 11: Mehrfachaufspannung Zeiss

5.2.4 Kacheln für autonomes Teilehandling

Die 3D-gedruckten Kacheln sind speziell geformte Werkstückaufnahmen, die auf einem Rundtisch angebracht werden. Sie dienen dazu, empfindliche Bauteile aus einem Förderband zu übernehmen und geordnet zu separieren, um Beschädigungen zu vermeiden. Die Kacheln sind exakt auf die Form der Werkstücke angepasst, sodass sie sicher fixiert sind und keine unkontrollierte Bewegung oder Kollisionen entstehen.

Funktion & Einsatzzweck:

1. Verhindert Beschädigungen empfindlicher Teile, indem sie aus dem Förderband in eine passgenaue Aufnahme überführt werden.
2. Ermöglicht geordnetes, automatisiertes Teilehandling, z. B. für nachfolgende Prozesse wie Messen, Verpacken oder Weiterbearbeiten.
3. Flexibilität durch 3D-Druck, da die Kacheln einfach an neue Werkstückgeometrien angepasst und schnell ersetzt werden können.
4. Rückverfolgbarkeit nach autonomem Betrieb, da die Kachelpositionen definiert sind und dadurch SPC-Messungen (Statistical Process Control) erleichtert werden.



Abbildung 12: Entnahmekachel mit Teil



Abbildung 13: Entnahmekachel

5.2.5 Greiferbacken für CNC-Drehmaschinen

Die Greiferbacken sind austauschbare Greifelemente, die in CNC-Drehmaschinen zur schonenden und präzisen Entnahme von Bauteilen aus der Spindel verwendet werden. Sie werden an bestehenden Greifern montiert und individuell an die jeweilige Werkstückgeometrie angepasst.

In vielen Fällen haben die Greiferbacken eine Prismenform, um rotationssymmetrische Teile sicher zu greifen. Bei komplexeren Bauteilgeometrien sind spezielle, massgeschneiderte Greifprofile erforderlich, die durch 3D-Druck schnell und kosteneffizient realisiert werden können.

Funktion & Einsatzzweck:

1. Individuelle Anpassung an unterschiedliche Werkstückformen, um eine sichere und schonende Entnahme aus der CNC-Drehmaschine zu ermöglichen.
2. Ersatz für gefräste oder konventionell gefertigte Greiferbacken, wodurch Maschinenkapazitäten entlastet und Materialkosten reduziert werden.
3. Vermeidung von Oberflächenbeschädigungen, indem das Greifmaterial so gewählt wird, dass keine Spanmarken auf empfindlichen Teilen entstehen.
4. Flexibilität durch schnelle Neuanfertigung, falls sich Bauteilgeometrien ändern oder spezielle Formen benötigt werden.
5. Geringeres Gewicht als herkömmliche Metallbacken, was die Dynamik von Handling-Systemen verbessert und den Verschleiss reduziert.



Abbildung 14: Greifer Teilehandling Okuma



Abbildung 15: Greifer Teilehandling Citizen

5.2.6 Trays für die Laserbeschriftung

Die 3D-gedruckten Trays sind speziell angefertigte Werkstückaufnahmen, die es ermöglichen, mehrere Bauteile gleichzeitig exakt zu positionieren, damit die Laserbeschriftungsanlage sie nacheinander automatisch beschriften kann. Die Trays sind so konstruiert, dass die Bauteile sicher in der vorgesehenen Position fixiert werden und während des Laservorgangs nicht verrutschen.

Funktion & Einsatzzweck:

1. Ermöglicht das automatische Beschriften mehrerer Werkstücke hintereinander, ohne dass manuelle Eingriffe zwischen den einzelnen Laservorgängen erforderlich sind.
2. Präzise Fixierung der Bauteile, um eine gleichmässige und wiederholbare Lasergravur sicherzustellen.
3. Optimierung des Durchsatzes, da mehrere Teile gleichzeitig eingelegt werden können, wodurch Stillstandszeiten minimiert werden.
4. Flexibilität durch 3D-Druck, da Trays schnell und kosteneffizient an neue Bauteilgeometrien angepasst werden können.



Abbildung 16: Tray Housing-Actuator Front



Abbildung 17: Tray Housing-Actuator Rückseite

5.2.7 Montagevorrichtungen

Montagevorrichtungen sind essenzielle Hilfsmittel in der Fertigung, um Bauteile während des Montageprozesses präzise zu positionieren, zu fixieren oder auszurichten. In vielen Fällen müssen diese Vorrichtungen speziell für ein bestimmtes Bauteil entwickelt werden, was mit konventionellen Fertigungsmethoden aufwendig und teuer sein kann.

Durch den 3D-Druck bietet sich eine optimale Lösung, um massgeschneiderte Montagevorrichtungen schnell und kosteneffizient herzustellen. Anpassungen an die Bauteilgeometrie können flexibel vorgenommen werden, wodurch Prototypen und Serienvorrichtungen innerhalb kurzer Zeit gefertigt werden können.

Funktion & Einsatzzweck:

1. Sichere Fixierung von Bauteilen, um Positionsabweichungen während des Montageprozesses zu vermeiden.
2. Optimierung der Prozesssicherheit, indem eine wiederholbare und standardisierte Positionierung sichergestellt wird.
3. Zeitersparnis in der Montage, da manuelle Anpassungen und wiederholte Justierungen entfallen.
4. Reduzierung von Ausschuss und Nacharbeit, da präzise fixierte Bauteile weniger anfällig für Fehler oder Beschädigungen sind.
5. Flexibilität durch 3D-Druck, da Vorrichtungen individuell an neue Bauteile, Produktionsanforderungen oder Prozessoptimierungen angepasst werden können.

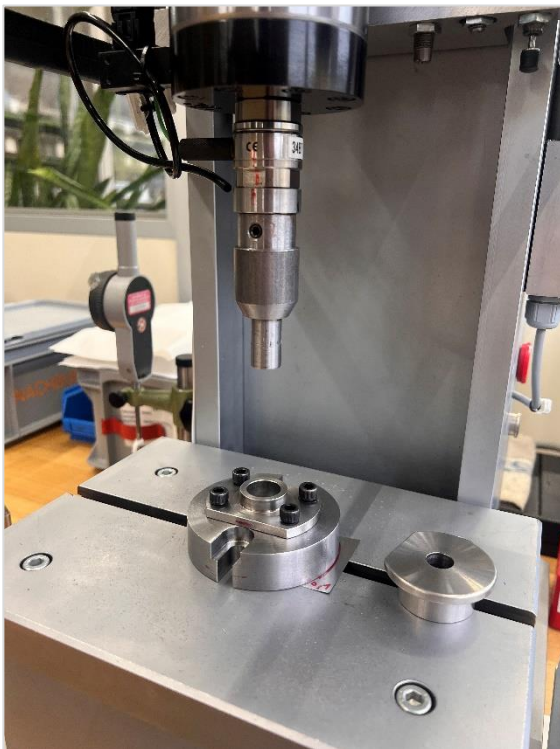


Abbildung 18: Zentriervorrichtung zum Einpressen



Abbildung 19: Einlegevorrichtung zum Entmagnetisieren von Teilen

5.2.8 Prototypen & Allgemeine Fertigungsteile

Neben spezialisierten Anwendungen wie Mess- und Montagevorrichtungen bietet der 3D-Druck eine Vielzahl weiterer Einsatzmöglichkeiten in der Fertigung. Mit einem industriellen 3D-Drucker können Prototypen, funktionale Testmodelle sowie individuelle Fertigungshilfen schnell und kosteneffizient hergestellt werden.

Gerade in einem Umfeld, in dem Flexibilität und schnelle Anpassungen gefragt sind, ermöglicht der 3D-Druck eine unkomplizierte Umsetzung neuer Konzepte, Geometrien oder Prozessoptimierungen. Dies reduziert lange Wartezeiten auf externe Fertigungspartner und schafft eine unmittelbare Verfügbarkeit von benötigten Teilen direkt im Unternehmen.

Funktion & Einsatzzweck:

1. Schnelle Verfügbarkeit von Prototypen, um Designs zu validieren und Anpassungen vor der Serienproduktion vorzunehmen.
2. Kosteneinsparung in der Entwicklung, da Iterationen direkt vor Ort gefertigt werden können, ohne externe Produktionswege.
3. Erweiterung der internen Fertigungsmöglichkeiten, indem individuelle Hilfsmittel und Betriebsmittel flexibel hergestellt werden.
4. Reduzierung von Wartezeiten auf Ersatzteile, indem defekte oder nicht mehr erhältliche Komponenten durch eigene 3D-Drucklösungen ersetzt werden.
5. Kreativer Spielraum für Prozessoptimierungen, da innovative Lösungen schnell und ohne hohen Kostenaufwand umgesetzt werden können.

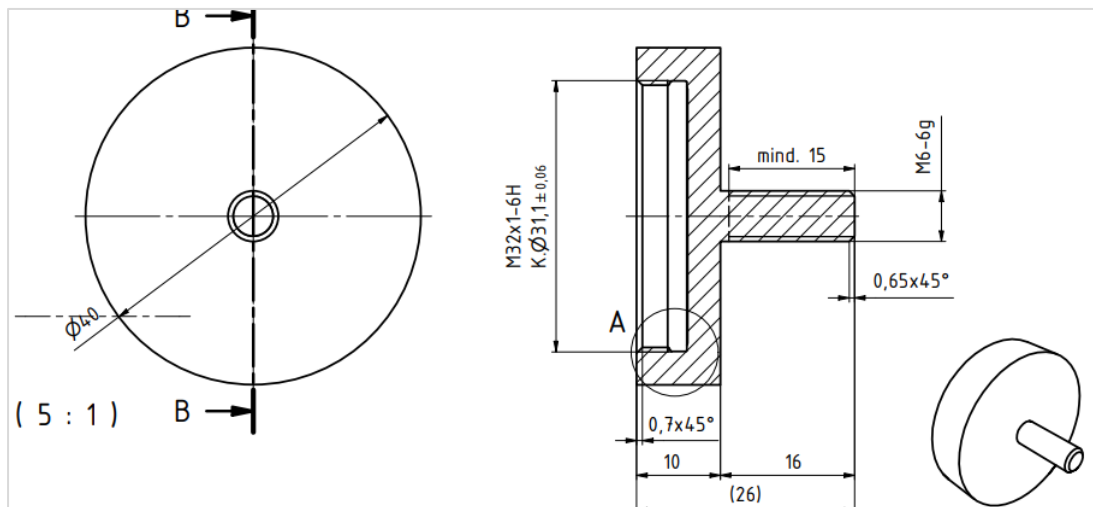


Abbildung 20: Prototyp Abdeckung Precursor Body

5.3 Methodik zur Festlegung der Anforderungen

Die Anforderungen an den 3D-Drucker wurden auf der Grundlage einer umfassenden Analyse der bestehenden Fertigungsprozesse und Potenziale innerhalb der Nachbur AG entwickelt. Ziel war es, durch eine systematische Untersuchung der bestehenden Produktionsmethoden und Fertigungsanforderungen die optimalen Spezifikationen für den neuen Drucker zu bestimmen.

5.3.1 Analyse der bestehenden Fertigungsprozesse

Die Methodik zur Festlegung der Anforderungen begann mit einer detaillierten Untersuchung der aktuellen Fertigungsprozesse. Dabei wurden bestehende Produktionsmethoden und deren Herausforderungen analysiert. Besonders im Fokus standen Vorrichtungen, Prototypen und Messhilfen, die derzeit konventionell gefertigt oder extern beschafft werden.

Durch die Untersuchung wurden folgende Aspekte identifiziert:

- Bauteile, die derzeit aus Aluminium gefertigt werden, könnten effizienter additiv hergestellt werden. Hierzu zählen insbesondere Messvorrichtungen, Greifer, Halterungen und Spannmittel, die hohe Präzision erfordern, jedoch in der Herstellung kostenintensiv sind.
- Bauteile, die bereits extern im 3D-Druck gefertigt werden, könnten durch eine interne Produktion schneller und wirtschaftlicher hergestellt werden. Die Abhängigkeit von externen Lieferanten führt aktuell zu längeren Wartezeiten und höheren Kosten.
- Einsatzgebiete mit grossem Optimierungspotenzial, insbesondere in der Qualitätssicherung, der Automation und der Montagefertigung, könnten durch den Einsatz eines internen 3D-Druckers verbessert werden.

5.3.2 Identifikation der wichtigsten Anwendungsfälle

Nach der Prozessanalyse wurden die Hauptanwendungsbereiche für den 3D-Drucker definiert. Diese umfassen:

- **Prototypen für Messvorgänge:** Schnelle und kosteneffiziente Herstellung von Prüfstücken für die Qualitätssicherung.
- **Messvorrichtungen für Koordinatenmessgeräte:** Verbesserung der Reproduzierbarkeit und Präzision von Messungen.
- **Mehrfachaufspannungen für CNC-Bearbeitung:** Erhöhung der Effizienz durch parallele Bearbeitung mehrerer Bauteile.
- **Greiferbacken für Automationslösungen:** Individuelle Anpassung an Bauteilgeometrien für schonendes Handling.
- **Trays für Laserbeschriftungen:** Positionierung mehrerer Bauteile zur Steigerung der Prozesssicherheit und Wiederholgenauigkeit.
- **Kacheln für autonomes Handling:** Verbesserung automatisierter Fertigungsabläufe durch präzise Positionierung der Werkstücke.

Diese Anwendungsfälle wurden genutzt, um die spezifischen Anforderungen an Drucktechnologie, Materialwahl, Präzision und Bauraum festzulegen.

5.3.3 Technologische Evaluierung der 3D-Druckverfahren

Basierend auf den ermittelten Anwendungen wurden verschiedene Drucktechnologien auf ihre Eignung für die Anforderungen der Nachbur AG geprüft. Dabei wurde analysiert, welches Verfahren die besten Ergebnisse hinsichtlich mechanischer Stabilität, Masshaltigkeit und Wirtschaftlichkeit liefert.

Die wichtigsten bewerteten Verfahren waren:

- **Selektives Lasersintern (SLS):** Ideal für hochbelastbare Kunststoffbauteile mit hoher Masshaltigkeit und chemischer Beständigkeit.
- **Stereolithografie (SLA):** Geeignet für hochpräzise Bauteile mit glatten Oberflächen, jedoch mit Einschränkungen in der mechanischen Festigkeit.
- **Multi Jet Fusion (MJF):** Ideal für die Serienfertigung von Kunststoffbauteilen mit guten mechanischen Eigenschaften, jedoch höheren Materialkosten.
- **Fused Deposition Modeling (FDM):** Kostengünstige Lösung für robuste Vorrichtungen, mit hoher Anwendungsvielfalt und chemischer Beständigkeit.
- **Multi Jet Printing (MJP):** Geeignet für hochauflösende Bauteile mit feinen Details und glatten Oberflächen, jedoch mit mässiger mechanischer Belastbarkeit.

5.3.4 Ableitung des finalen Anforderungskatalogs

Aus der Analyse der Prozesse, Anwendungsfälle und technologischen Möglichkeiten wurden schliesslich die zentralen Anforderungen an den 3D-Drucker abgeleitet.

Diese umfassen:

1. **Drucktechnologie:** FDM als bevorzugte Technologie, abhängig von mechanischen Anforderungen.
2. **Bauraum:** Mindestens 300 × 300 × 400 mm für grossflächige Bauteile.
3. **Materialkompatibilität:** Beständigkeit gegen Öle, Kühlschmierstoffe und Chemikalien.
4. **Druckpräzision:** Minimale Massabweichung, insbesondere für Messvorrichtungen.
5. **Betriebskosten:** Wirtschaftlich vertretbare Verbrauchsmaterialien mit zuverlässiger Lieferverfügbarkeit.
6. **Integration:** Kompatibilität mit Autodesk CAD und bestehenden Fertigungsprozessen.

Durch diese strukturierte Vorgehensweise wurde sichergestellt, dass die Anforderungen des Unternehmens exakt definiert sind und eine zielgerichtete Auswahl des optimalen Druckers erfolgen kann.

6 Marktanalyse - Technologieebene

6.1 Auswahlmethodik der Technologie & des Modells

Die Auswahl geeigneter Anbieter für industrielle 3D-Drucker basiert auf einer strukturierten Vorgehensweise, die sicherstellt, dass sowohl technische als auch wirtschaftliche Kriterien berücksichtigt werden. Um eine objektive und fundierte Entscheidungsgrundlage zu schaffen, wurde ein mehrstufiges Verfahren angewendet.

6.1.1 Definition der Evaluierungskriterien

Um sicherzustellen, dass die ausgewählte Technologie die Anforderungen der Nachbar AG erfüllen, wurden folgende Hauptkriterien definiert:

- **Technologische Kompetenz:** Welche 3D-Druckverfahren bietet der Anbieter an, und entsprechen diese den spezifischen Anforderungen?
- **Materialvielfalt:** Sind die vom Anbieter angebotenen Materialien für die geplanten Anwendungen geeignet?
- **Investitions- und Betriebskosten:** Wie hoch sind die Anschaffungs-, Wartungs- und Materialkosten?
- **Service- und Wartungsangebot:** Welche Supportleistungen werden angeboten, und wie schnell sind Ersatzteile verfügbar?
- **Marktstellung und Erfahrung:** Hat der Anbieter bereits erfolgreich industrielle 3D-Drucklösungen implementiert?

Diese Kriterien bildeten die Grundlage für die erste Auswahl potenzieller Anbieter.

6.1.2 Marktanalyse und Identifikation relevanter Anbieter

Basierend auf den definierten Evaluierungskriterien wurde eine Marktanalyse durchgeführt, um Anbieter zu identifizieren, die industrietaugliche 3D-Drucker mit den benötigten Spezifikationen anbieten. Dabei wurden insbesondere Unternehmen berücksichtigt, die:

1. Erfahrung mit industriellen Fertigungsprozessen haben,
2. eine breite Palette an 3D-Drucktechnologien im Portfolio führen,
3. langfristigen technischen Support und Schulungen anbieten,
4. Möglichkeiten zur Live-Demonstration oder Testfertigung bereitstellen.

Nach dieser Analyse wurde eine Liste potenzieller Anbieter erstellt, die für die Evaluierung infrage kommen.

Unternehmen	Vertretene 3D-Drucktechnologie	Hersteller
URMA AG	Diverse Technologien (SLS, SLA, FDM, MJP)	EOS und Markforged
SGSolution AG	Multi Jet Fusion (MJF)	HP
3D-EDU GmbH	Stereolithografie (SLA)	Formlabs
Alphacam GmbH	Diverse Technologien (FDM, MJP)	Stratasys
Steiner 3D	Diverse Technologien (SLS, SLA, FDM, MJP)	Diverse Partner
CHROMOS Group AG	Diverse Technologien (SLS, SLA, FDM, MJF)	Diverse Partner

Tabelle 8: Hersteller & Drucktechnologie

6.1.3 Vergleich der Anbieterdaten und Strukturierung der weiteren Analyse

Nach der Vorauswahl wurde eine detaillierte Gegenüberstellung der Drucktechnologien und der jeweiligen Stärken und Schwächen vorgenommen. Dabei wurde untersucht, welche Technologie für die Anforderungen der Nachbur AG am besten geeignet ist.

Die detaillierte Vorstellung der verschiedenen Druckverfahren (SLS, SLA, MJF, MJP, FDM) erfolgt im nächsten Kapitel. Dort werden die Technologien einzeln erläutert, ihre Vorteile und Nachteile beschrieben und die Erkenntnisse aus den durchgeführten Anbieterbesuchen analysiert.

6.2 Datenerhebung (Tools & Quellen)

Für die fundierte Auswahl und Evaluierung der geeigneten 3D-Drucktechnologie werden verschiedene Quellen und Methoden zur Informationsbeschaffung herangezogen. Die gewonnenen Erkenntnisse basieren dabei auf einer Kombination aus direkter Kommunikation mit Lieferanten, technischen Unterlagen, praktischen Vorführungen und externen Fachquellen.

6.2.1 Direkte Kommunikation mit Lieferanten

Ein wesentlicher Bestandteil der Informationsbeschaffung ist der Austausch mit Herstellern und Lieferanten von 3D-Drucktechnologien. Diese Gespräche ermöglichen:

- Eine klare Definition der technischen Möglichkeiten und Einschränkungen der jeweiligen Verfahren.
- Die Konkretisierung der Anforderungen anhand spezifischer Anwendungsfälle der Nachbur AG.
- Den Zugang zu exklusiven technischen Unterlagen, die nicht immer öffentlich verfügbar sind.

6.2.2 Dokumentation und technische Unterlagen der Hersteller

Die detaillierten technischen Spezifikationen, Materialeigenschaften und Prozessbeschreibungen der Druckverfahren stammen grösstenteils aus offiziellen Herstellerunterlagen. Diese werden direkt von den Anbietern bereitgestellt und enthalten wichtige Parameter zu:

- Mechanischen Eigenschaften der gedruckten Bauteile.
- Druckprozessen, Genauigkeiten und möglichen Nachbearbeitungsschritten.
- Wirtschaftlichen Aspekten wie Materialkosten, Druckzeiten und Maschineninvestitionen.

6.2.3 Praktische Erfahrungen durch Lieferantenbesuche

Ein weiterer wichtiger Baustein der Methodik sind Besuche bei Lieferanten und Demonstrationen in der Praxis. Diese Vor-Ort-Termine bieten die Möglichkeit:

- Bauteile real zu begutachten und deren Qualität zu analysieren.
- Die Effizienz und Bedienbarkeit der Systeme in einer realen Umgebung zu bewerten.
- Rückfragen zu spezifischen Anforderungen der Nachbur AG direkt zu klären.

6.2.4 Externe Fachquellen und Online-Recherche

Neben den direkten Herstellerinformationen werden ergänzend auch Fachartikel, technische Berichte und unabhängige Marktanalysen aus dem Internet hinzugezogen. Dazu gehören insbesondere:

- Protec3D.de – Technische Berichte zu additiven Fertigungsverfahren.
- 3DS.com – Herstellerinformationen und Simulationen zur additiven Fertigung.
- Weitere Branchenberichte und wissenschaftliche Publikationen.

Durch diese systematische Kombination aus direkten Herstellerinformationen, praktischen Vorführungen und ergänzender Fachrecherche wird eine fundierte und praxisnahe Grundlage für die Bewertung der 3D-Drucktechnologien geschaffen.

6.3 Multi Jet Fusion (MJF)

6.3.1 Funktionsweise und Eigenschaften des Multi Jet Fusion Verfahrens

Das MJF-Verfahren ist eine von HP entwickelte 3D-Drucktechnologie, die sich durch hohe Produktionsgeschwindigkeit, Präzision und isotrope mechanische Eigenschaften auszeichnet. Im Gegensatz zu anderen pulverbasierten Verfahren wie Selektivem Lasersintern (SLS) verwendet MJF keine Laser, sondern arbeitet mit einem Wärme- und Tintenstrahldrucksystem, das schichtweise ein Pulvermaterial selektiv verfestigt.

Der Druckprozess läuft in mehreren Schritten ab:

1. Eine feine Schicht Polyamid-Pulver (z. B. PA12) wird auf das Druckbett aufgetragen.
2. Ein fusing agent wird gezielt an den Stellen aufgetragen, die verfestigt werden sollen.
3. Ein detail agent sorgt für scharfe Kanten und feine Details.
4. Die Schicht wird durch eine Wärmequelle selektiv verschmolzen.
5. Der Vorgang wiederholt sich, bis das komplette Bauteil aufgebaut ist.

Dieses Verfahren ermöglicht eine hohe Packungsdichte, sodass in einem Druckvorgang mehrere Bauteile gleichzeitig gefertigt werden können.

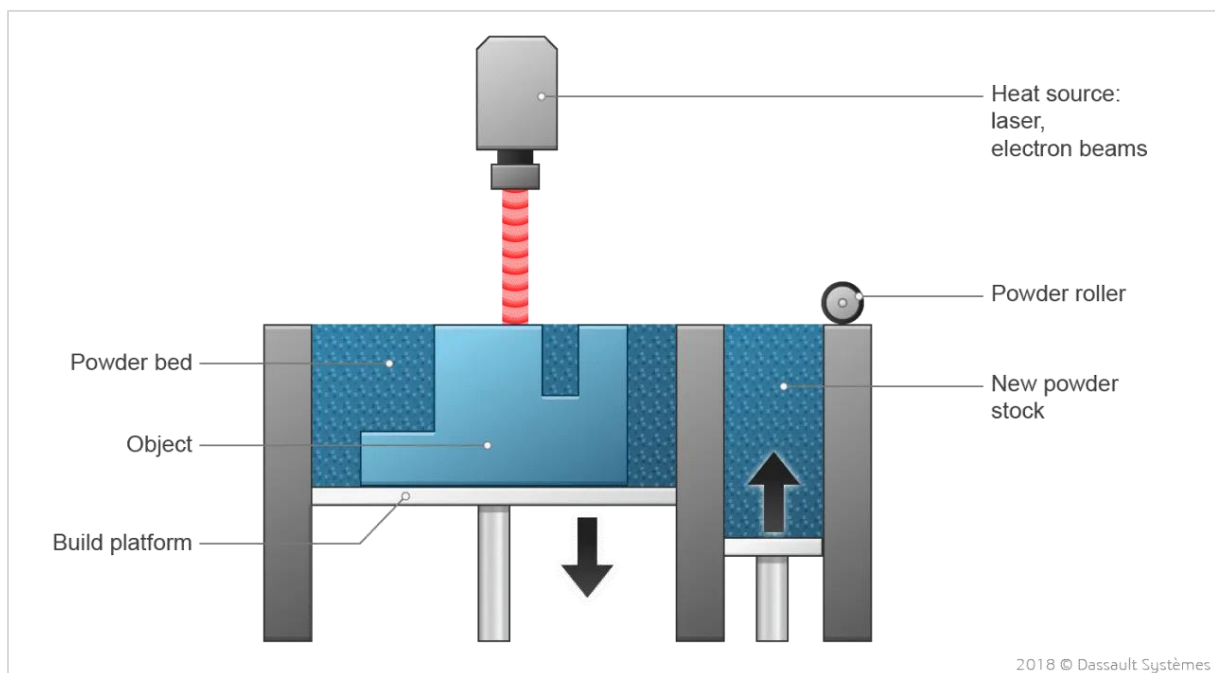


Abbildung 21: Funktionsweise MJF 3D-Drucker

6.3.2 Erkenntnisse aus dem Besuch von SGSolution AG

Im Rahmen der Marktanalyse besuchte mich Herr Christian Meier von SGSolution AG in der Nachbur AG. Er analysierte unsere spezifischen Anforderungen und stellte das MJF-Verfahren detailliert vor.

Besonders hervorgehoben wurden folgende Aspekte:

- **Materialien:** Die häufig eingesetzten Polyamide wie PA12 sind besonders chemisch beständig und mechanisch stabil.
- **Mechanische Eigenschaften:** Die Bauteile weisen eine nahezu spritzgussähnliche Stabilität auf und sind vollisotrop, d. h. sie haben in alle Richtungen gleiche mechanische Eigenschaften.
- **Druckgeschwindigkeit:** MJF ermöglicht eine schnelle Fertigung und eine hohe Bauteildichte pro Druckvorgang, wodurch mehrere Komponenten gleichzeitig produziert werden können.
- **Nachbearbeitung:** Die Bauteile werden nach dem Druck gekühlt und anschliessend mikrogasgestrahlt, um eine glatte Oberfläche zu erhalten. Zusätzlich sind Fräsbearbeitungen möglich, falls engere Toleranzen benötigt werden.
- **Softwareintegration:** Die MJF-Drucker sind optimal mit Autodesk Inventor & Fusion kompatibel, was den bestehenden Konstruktionsworkflow der Nachbur AG unterstützt.
- **Materialkosten:** Das Beispielmateriale PA12 kostet ca. 60 CHF/kg, was im Vergleich zu anderen Technologien wirtschaftlich ist.
- **Wartung & Support:** SGSolution bietet Wartungsverträge sowie Schulungen direkt bei der Installation an, um eine reibungslose Integration sicherzustellen.
- **Anschaffungskosten:** Ab ca. 200'000 CHF, abhängig von Ausstattung und Wartungspaket. Rückgabegeräte aus Leasing-Verträgen ab ca. 120'000CHF.

6.3.3 Bewertung von Multi Jet Fusion

Das MJF-Verfahren überzeugt durch seine hohe Produktionsgeschwindigkeit, ausgezeichnete mechanische Stabilität und wirtschaftliche Effizienz. Besonders hervorzuheben ist die Möglichkeit, mehrere Bauteile gleichzeitig mit hoher Packungsdichte zu fertigen, was die Produktivität erheblich steigert. Die vollisotropen Materialeigenschaften, die denen des Spritzgusses nahekommen, machen diese Technologie besonders interessant für Anwendungen, bei denen gleichmässige mechanische Belastbarkeit in allen Achsen erforderlich ist.

Ein weiterer Vorteil liegt in der hohen Detailgenauigkeit, die präzise und funktionsfähige Bauteile ermöglicht. Zudem erlaubt MJF eine vielfältige Nachbearbeitung, darunter Mikrogasstrahlen zur Oberflächenglättung und Fräsen für zusätzliche Präzision, wodurch sich die Technologie für anspruchsvolle industrielle Anwendungen eignet.

Gerade für kleine bis mittlere Serienfertigungen bietet MJF eine effiziente Alternative zum Spritzguss, insbesondere wenn eine flexible Produktion mit reduzierter Lagerhaltung erforderlich ist. Die praktischen Testergebnisse der gedruckten Bauteile sowie die fachliche Beratung durch SGSolution AG bestätigen, dass diese Technologie die spezifischen Anforderungen der Nachbur AG in vielerlei Hinsicht erfüllen kann.

6.3.4 Vorführungen von Testbauteilen

Gelenkbauteil aus PA12



Abbildung 22: Gelenkbauteil MJF

- **Druckzeit:** 1,2 Stunden
- **Nachbearbeitung:** Kühlung, anschliessend Mikrogasstrahlen
- **Eigenschaften:** Hohe Stabilität, präzise Kanten
- **Einsatzgebiet:** Funktionsprototypen und bewegliche Bauteile

Greiferbacken aus PA12

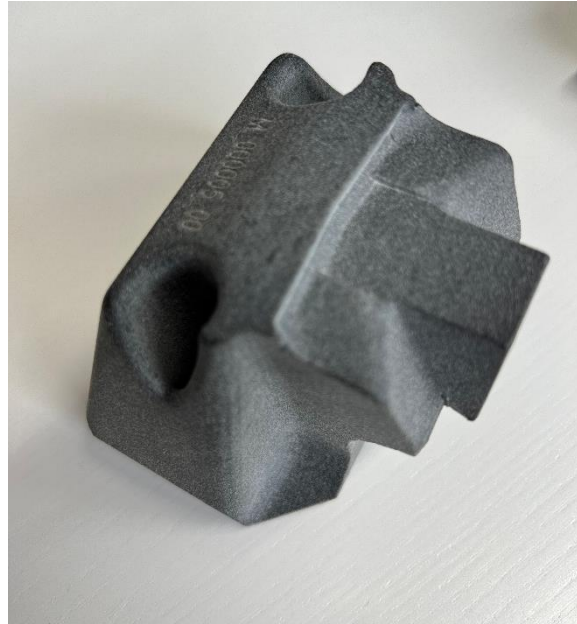


Abbildung 23: Greiferbacken MJF

- **Druckzeit:** ca. 2 Stunden
- **Nachbearbeitung:** Kühlung, anschliessend Mikrogasstrahlen
- **Eigenschaften:** Hohe Festigkeit, geeignet für mechanische Belastungen
- **Einsatzbereich:** CNC-Fertigung, Handhabungssysteme

6.3.5 Analyse der MJF-Technologie anhand der definierten Anforderungen

Anforderung	Bewertung für MJF
Drucktechnologie	Multi Jet Fusion
Bauraum & Druckvolumen	Geeignet für Serienproduktion, hohe Packungsdichte möglich
Auflösung	Sehr feine Details, Präzision nahe Spritzguss, vollisotrop
Präzision	Massabweichungen liegen bei $\pm 0.15\text{mm}$ in der XYZ Achse
Mechanische Eigenschaften	Ähnlich Spritzguss, hohe Stabilität
Materialien	Polyamide wie PA12, chemisch beständig
Druckgeschwindigkeit	Sehr schnell, viele Teile auf einmal druckbar
Werkstückstabilität	Geeignet für mechanisch belastbare Teile
Materialkosten	PA12 kostet ca. 60 CHF/kg
Investitionskosten	Höhere Anschaffungskosten, Neue Geräte ab ca. 200'000CHF
Bauraum & Gehäuse	Geschlossener Bauraum, konstanter Druckprozess
Einsatzbereich	Sehr vielseitig z.B. Mechanische Bauteile, Gelenke, Greiferbacken
Nachbearbeitung	Mikrogasstrahlen, Fräsen möglich
Softwarekompatibilität	Autodesk Inventor & Fusion optimal kompatibel
Wartung & Support	Wartungsvertrag und Schulungen bei Installation verfügbar

Tabelle 9: Anforderungen & Bewertungen MJF

6.4 Stereolithographie (SLA)

6.4.1 Funktionsweise und Eigenschaften der Stereolithographie

Das SLA-Verfahren ist eine der ältesten und präzisesten 3D-Drucktechnologien und basiert auf der schichtweisen Aushärtung eines flüssigen Photopolymerharzes (Resin) durch einen UV-Laser oder einen Projektor. Diese Technologie ermöglicht eine extrem hohe Detailauflösung und glatte Oberflächen, weshalb sie besonders für hochpräzise Prototypen, Dentaltechnik und Designmodelle eingesetzt wird.

Druckprozess des SLA-Verfahrens:

1. Ein flüssiges Photopolymerharz wird in einer Wanne bereitgestellt.
2. Ein UV-Laser oder ein digitales Lichtprojektionssystem (DLP) belichtet selektiv die erste Schicht des Harzes, wodurch es aushärtet.
3. Nach jeder Belichtung wird die Druckplattform abgesenkt oder das Harz neu verteilt, sodass die nächste Schicht aufgetragen und ausgehärtet werden kann.
4. Dieser Prozess wiederholt sich, bis das gesamte Bauteil aufgebaut ist.
5. Nach dem Druckvorgang wird das Bauteil von überschüssigem Harz befreit und in einem UV-Aushärtungsschritt (Post-Curing) vollständig ausgehärtet.

Das SLA-Verfahren zeichnet sich durch eine besonders hohe Oberflächenqualität und Detailgenauigkeit aus. Es eignet sich für Anwendungen, bei denen feine Strukturen, glatte Oberflächen und eine hohe Masshaltigkeit erforderlich sind.

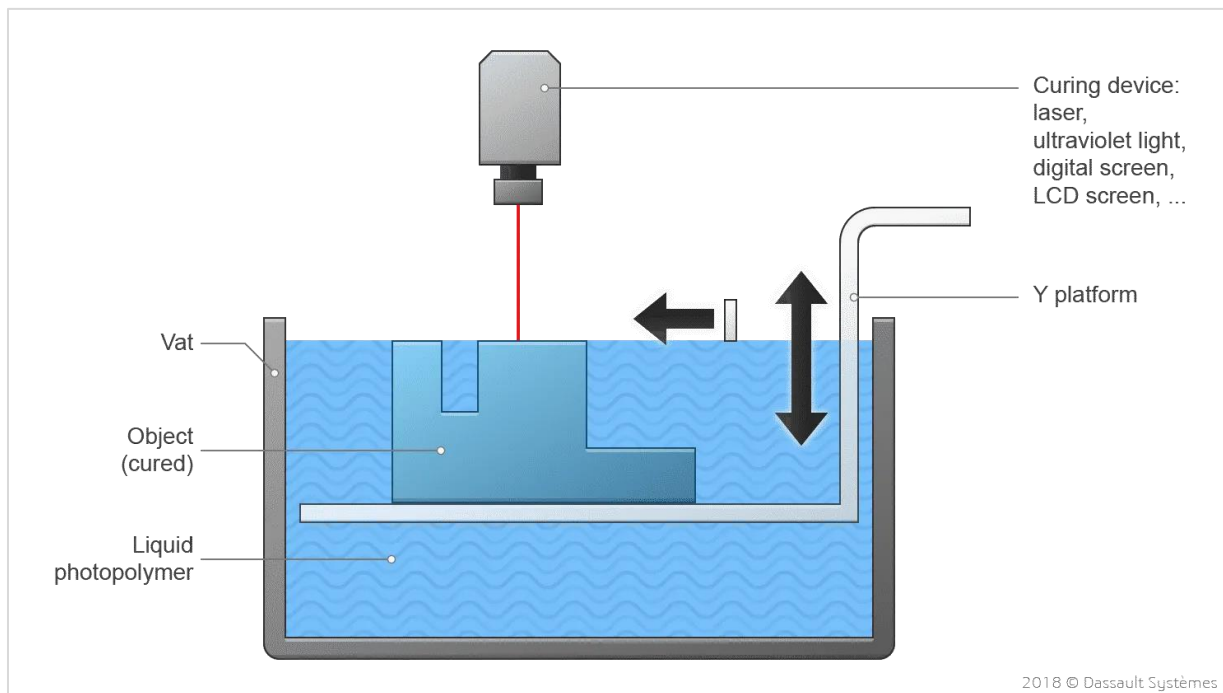


Abbildung 24: Funktionsweise SLA 3D-Drucker

6.4.2 Erkenntnisse aus dem Besuch bei 3D-EDU

Im Rahmen der Marktanalyse hatte ich einen Teams-Call mit Herrn Claudio Gygax von 3D-EDU, um mehr über die Stereolithografie-Technologie von Formlabs zu erfahren. Nach dem Gespräch habe ich STEP-Dateien mit Testbauteilen übermittelt, die anschliessend gedruckt und mir zur Begutachtung zugesendet wurden.

- **Materialien:** SLA nutzt Photopolymere (Duroplaste), die je nach Zusammensetzung von gummiartig flexibel (40A) bis hin zu hochfesten Harzen für Spritzgussformen reichen.
- **Mechanische Eigenschaften:** Sehr hohe Detailgenauigkeit und glatte Oberflächen. Nicht immer mechanisch hoch belastbar, jedoch gibt es Hochleistungsharze für Werkzeuge und stärker beanspruchte Bauteile.
- **Druckgeschwindigkeit:** Maximal 80 mm/h bei spezifischen Materialien. Mehrere Teile gleichzeitig druckbar, aber Z-Stapelung durch Stützstrukturen eingeschränkt.
- **Nachbearbeitung:** Bauteile müssen gewaschen und nachgehärtet werden (UV-Kammer notwendig). Mikroglasstrahlen und Fräsen möglich, jedoch materialabhängig.
- **Softwareintegration:** Autodesk Inventor kompatibel. Fusion 360 aktuell nur eingeschränkt unterstützt.
- **Materialkosten:** 100–300 CHF/Liter, je nach Material. Zusätzliche Harztank-Kosten von 245 CHF alle 75.000+ Schichten.
- **Wartung & Support:** Wartungsverträge und Schulungen verfügbar. Verträge von 1–3 Jahren, jährliche Verlängerung möglich.
- **Anschaffungskosten:** 20.000 CHF, je nach Ausstattung. SLA eignet sich besonders für Anwendungen mit hoher Präzision, aber höheren Materialkosten.

6.4.3 Bewertung von Stereolithographie

Das SLA-Verfahren überzeugt durch hohe Detailgenauigkeit und exzellente Oberflächenqualität, was es ideal für optische Bauteile und Design-Prototypen macht. Allerdings sind die mechanischen Eigenschaften stark materialabhängig, Standard-Photopolymere sind oft spröde, und nur spezielle Hochleistungsharze bieten ausreichende Belastbarkeit.

Die Druckgeschwindigkeit ist moderat, und die Notwendigkeit von Stützstrukturen sowie die aufwendige Nachbearbeitung (Reinigung, UV-Härtung) erhöhen den Prozessaufwand. Zudem sind die Materialkosten mit 100–300 CHF/Liter hoch, und der regelmässige Austausch von Harztanks verursacht weitere Folgekosten.

Für die Nachbur AG bietet SLA eine sehr präzise Lösung für Prototypen, ist aber aufgrund der limitierten Belastbarkeit, hohen Kosten und komplexen Nachbearbeitung nur bedingt für funktionale Vorrichtungen geeignet.

6.4.4 Vorführungen von Testbauteilen

Zylinderverschlusschraube



Abbildung 25: Zylinderverschlusschraube SLA

- **Druckzeit:** 1.5 Stunden
- **Nachbearbeitung:** Reinigung, UV-Nachhärtung
- **Eigenschaften:** Spröde, aber hochpräzise
- **Einsatzgebiet:** Prototypen

Gecko



Abbildung 26: Gecko SLA

- **Druckzeit:** 2 Stunden
- **Nachbearbeitung:** Reinigung, UV-Nachhärtung
- **Eigenschaften:** Spröde, aber hochpräzise
- **Einsatzbereich:** Optische Bauteile

6.4.5 Analyse der SLA-Technologie anhand der definierten Anforderungen

Anforderung	Bewertung für SLA
Drucktechnologie	Stereolithographie
Bauraum & Druckvolumen	Begrenztes Druckvolumen, Z-Stapelung eingeschränkt
Auflösung	Sehr feine Details, höchste Präzision möglich
Präzision	Massabweichungen liegen bei $\pm 0.15\%$ (min. ± 0.02 mm)
Mechanische Eigenschaften	Meist spröde, Hochleistungsharze bieten bessere Belastbarkeit
Materialien	Photopolymere, von flexibel (40A) bis hart (Spritzgussformen)
Druckgeschwindigkeit	Durchschnittliche Geschwindigkeit, mehrere Teile in X-Y druckbar
Werkstückstabilität	Hohe Detailgenauigkeit aber nicht immer mechanisch hoch belastbar
Materialkosten	Hoch (100–300 CHF/Liter)
Investitionskosten	Mittel (10'000–20'000 CHF)
Bauraum & Gehäuse	Geschlossener Bauraum, kontrollierter Druckprozess
Einsatzbereich	Medizinische Modelle, optische Bauteile, Designprototypen
Nachbearbeitung	UV-Härtung, Stützstrukturentfernung, Politur möglich
Softwarekompatibilität	Autodesk Inventor kompatibel, Fusion 360 eingeschränkt
Wartung & Support	Wartungsverträge und Schulungen verfügbar

Tabelle 10: Anforderungen & Bewertungen SLA

6.5 Multi Jet Printing (MJP)

6.5.1 Funktionsweise und Eigenschaften des Multi Jet Printing

Das Multi Jet Printing (MJP)-Verfahren ist eine hochpräzise Tintenstrahl-Drucktechnologie, die mit flüssigen Photopolymeren oder Wachsen arbeitet. Es ermöglicht die exakte Reproduktion feiner Strukturen, glatter Oberflächen und komplexer Geometrien, weshalb es insbesondere in der Medizintechnik, Schmuckindustrie und bei funktionalen Prototypen eingesetzt wird.

Das Verfahren funktioniert ähnlich wie herkömmliche Tintenstrahldrucker. Dabei können, abhängig vom verwendeten Druckermodell, verschiedene Materialien verarbeitet werden, darunter Photopolymere für feste Strukturen oder Wachse für Feingussmodelle. Eine Besonderheit des MJP-Verfahrens ist die Möglichkeit, durch den Einsatz der vier Basisfarben (CMYK) nahezu alle Farbvariationen zu erzeugen.

Druckprozess des MJP-Verfahrens:

1. Ein Druckkopf trägt flüssiges Material (z. B. Photopolymer, Wachs oder Kunststoff) in mikroskopisch feinen Tröpfchen auf eine Bauplattform auf.
2. Eine UV-Lichtquelle härtet das Material sofort aus, sodass eine feste Struktur entsteht.
3. Ein wasserlösliches oder thermisch entfernbare Stützmaterial wird gleichzeitig aufgetragen, um komplexe Geometrien und Überhänge zu ermöglichen.
4. Die Bauplattform senkt sich nach jeder Schicht ab, und der Prozess wird fortgesetzt, bis das gesamte Bauteil aufgebaut ist.
5. Nach dem Druckvorgang wird das Stützmaterial entfernt (durch Wasserstrahl, Wärme oder chemische Lösungsmittel), um das fertige Bauteil freizulegen.

Das MJP-Verfahren bietet eine aussergewöhnlich hohe Detailgenauigkeit und Masshaltigkeit. Die hohe Oberflächenqualität reduziert den Nachbearbeitungsaufwand und macht das Verfahren besonders geeignet für Anwendungen mit ästhetischen oder funktionellen Anforderungen.

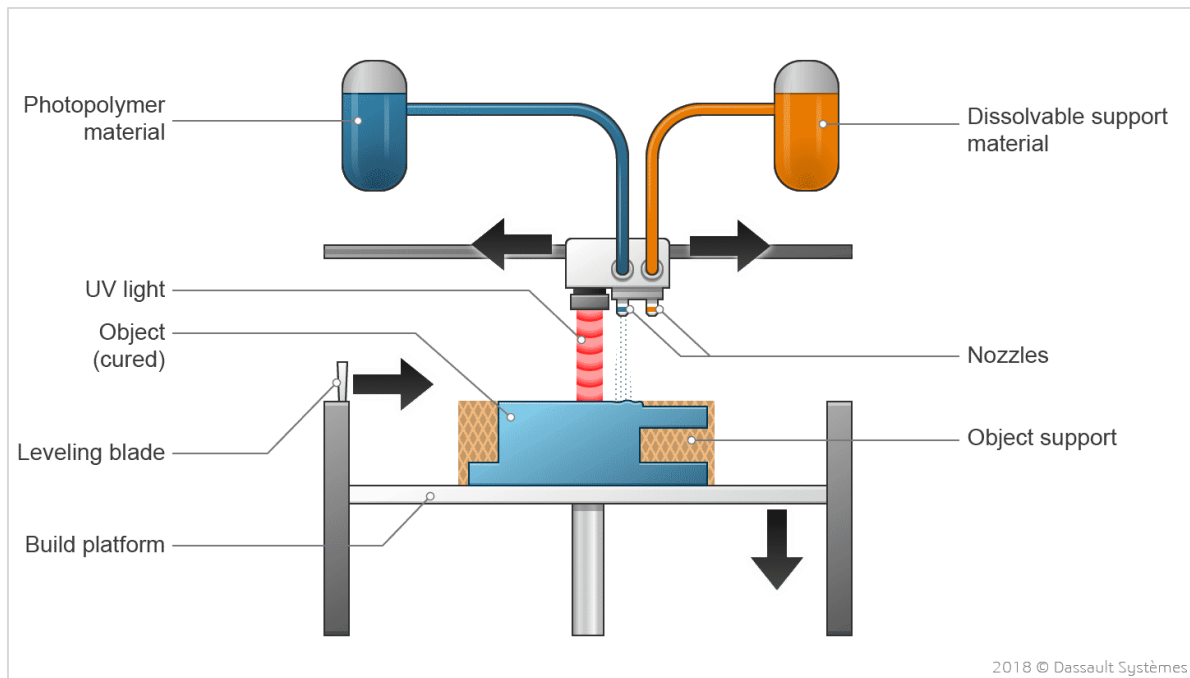


Abbildung 27: Funktionsweise MJP-3D Drucker

6.5.2 Erkenntnisse aus dem Besuch von Alphacam

Im Rahmen der Marktanalyse besuchte mich Herr Roberto Liberato der Alphacam GmbH, um die MJP-Technologie und die von ihnen vertretenen Stratasys-Drucker vorzustellen. Die Stratasys-Systeme ermöglichen die Verarbeitung verschiedener Photopolymere, darunter auch mehrfarbige und flexible Materialien, wodurch eine breite Palette an Anwendungen möglich wird.

Besonders hervorgehoben wurden folgende Aspekte:

- **Materialien:** Verwendung von hochauflösenden Photopolymeren, darunter transparente, flexible sowie mechanisch stabile Materialien. Auch Wachse für Feingussanwendungen.
- **Mechanische Eigenschaften:** Während einige Materialien eher für visuelle Modelle gedacht sind, ermöglichen neue, hochentwickelte Photopolymere auch robuste Bauteile mit funktionalem Einsatzzweck, insbesondere im Bereich Modellbau, Spanntechnik oder technische Prototypen.
- **Druckgeschwindigkeit:** Schnelle Durchlaufzeiten für kleine bis mittelgrosse Bauteile mit feinen Details, allerdings langsamer bei grösseren Volumen im Vergleich zu pulverbasierten Verfahren.
- **Nachbearbeitung:** Das Trägermaterial ist schmelz- oder wasserlöslich und lässt sich leicht entfernen, wodurch empfindliche Geometrien geschützt bleiben und eine manuelle Nachbearbeitung weitgehend entfällt.
- **Softwareintegration:** Stratasys-Drucker und ihre GrabCAD Software sowie alternativ 3Dsystems ist mit allen gängigen CAD-Systemen kompatibel und bieten eine intuitive Bedienung.
- **Materialkosten:** Höher als bei SLS oder MJF, jedoch durch die hohe Detailgenauigkeit und einfache Nachbearbeitung wirtschaftlich vertretbar.
- **Wartung & Support:** Alphacam bietet umfassende Wartungsverträge sowie Schulungen für die optimale Nutzung der Geräte.
- **Anschaffungskosten:** Ab ca. 50.000 CHF, abhängig von Ausstattung und Materialoptionen.

6.5.3 Bewertung von Multi Jet Printing

Das MJP-Verfahren bietet eine aussergewöhnliche Detailgenauigkeit und glatte Oberflächen, wodurch es sich hervorragend für hochpräzise Prototypen, Designmodelle und Feingussanwendungen eignet. Besonders hervorzuheben ist die Möglichkeit, farbige und transparente Materialien zu kombinieren, was MJP gegenüber anderen 3D-Druckverfahren einzigartig macht.

Ein weiterer Vorteil liegt in der sauberen und effizienten Nachbearbeitung, da das Stützmaterial leicht entfernt werden kann und die Oberflächenqualität bereits im Rohzustand sehr hoch ist.

Einschränkungen bestehen jedoch in der mechanischen Belastbarkeit der gedruckten Teile, diese sind jedoch durch neue Photopolymere deutlich verbessert, wodurch MJP-Teile, je nach Materialwahl, auch für funktionale Anwendungen mit gewissen Belastungsanforderungen geeignet sind.

Für die Nachbur AG ist diese Technologie somit insbesondere für hochpräzise, fein strukturierte Prototypen und Designbauteile interessant. Für mechanisch stark beanspruchte Vorrichtungen oder Serienteile bleibt sie allerdings bedingt gegenüber FDM oder SLA konkurrenzfähig.

6.5.4 Vorführungen von Testbauteilen

Zahnbürste



Abbildung 28: Zahnbürste MJP

- **Druckzeit:** 3 Stunden
- **Nachbearbeitung:** Wasserstrahlreinigung
- **Eigenschaften:** Sehr glatte Oberfläche, detailreich
- **Einsatzgebiet:** Designmodelle, Farbvisualisierung

Times Square



Abbildung 29: Times Square MJP

- **Druckzeit:** 2,5 Stunden
- **Nachbearbeitung:** Wasserstrahlreinigung
- **Eigenschaften:** Geringe Belastbarkeit, hohe Masshaltigkeit
- **Einsatzbereich:** Präzise Passformtests, Feingussmodelle

6.5.5 Analyse der MJP-Technologie anhand der definierten Anforderungen

Anforderung	Bewertung für MJP
Drucktechnologie	Multi Jet Printing
Bauraum & Druckvolumen	Begrenztes Druckvolumen, weniger für Serienproduktion geeignet
Auflösung	Sehr feine Details, höchste Präzision möglich, aber anisotrop
Präzision	Massabweichungen liegen bei ± 0.1 mm in der XYZ-Achse
Mechanische Eigenschaften	Geringere Belastbarkeit, nicht für mechanisch beanspruchte Bauteile
Materialien	Photopolymere und Wachse, nicht chemisch beständig
Druckgeschwindigkeit	Mittlere Geschwindigkeit, präzise, langsam bei grossen Volumen
Werkstückstabilität	Begrenzte Belastbarkeit, nicht für stark beanspruchte Teile geeignet
Materialkosten	Höhere Materialkosten, abhängig vom Photopolymer
Investitionskosten	Hohe Anschaffungskosten, Neue Geräte ab ca. 150'000 CHF
Bauraum & Gehäuse	Geschlossener Bauraum, klimatisierte Druckkammer
Einsatzbereich	Hochpräzise Prototypen, Feingussmodelle, Designmodelle
Nachbearbeitung	Stützmaterial einfach entfernen, kaum weitere Bearbeitung nötig
Softwarekompatibilität	Kompatibel mit allen gängigen CAD-Systemen
Wartung & Support	Wartungsvertrag und Schulungen bei Installation verfügbar

Tabelle 11: Anforderungen & Bewertungen MJP

6.6 Fused Deposition Modeling (FDM)

6.6.1 Funktionsweise und Eigenschaften des Fused Deposition Modeling

Das FDM-Verfahren ist eines der am weitesten verbreiteten 3D-Druckverfahren und wird insbesondere für kostengünstige Prototypen, technische Bauteile und funktionale Modelle eingesetzt. Es basiert auf einem extrusionsbasierten Druckprozess, bei dem ein thermoplastischer Kunststoff schichtweise aufgetragen und verfestigt wird.

Druckprozess des FDM-Verfahrens:

1. Das Material liegt in Form eines Kunststofffilaments vor, das durch eine beheizte Düse geführt wird.
2. Das Filament wird aufgeschmolzen und durch die Düse extrudiert.
3. Das geschmolzene Material wird schichtweise auf das Druckbett aufgetragen, wobei es beim Abkühlen erstarrt.
4. Falls erforderlich, wird Stützmaterial für Überhänge oder komplexe Geometrien mit einer zweiten Düse aufgebracht.
5. Nach dem Druckvorgang kann das Bauteil entnommen und ggf. nachbearbeitet werden (z. B. Entfernung von Stützstrukturen, Glätten der Oberfläche).

Dieses Verfahren ermöglicht eine schnelle, kosteneffiziente Herstellung von einfachen bis mittelkomplexen Bauteilen. Die Auswahl an Materialien reicht von Standardkunststoffen wie PLA und ABS bis hin zu technischen Hochleistungskunststoffen oder Kohlefaserverstärkten Filamenten.

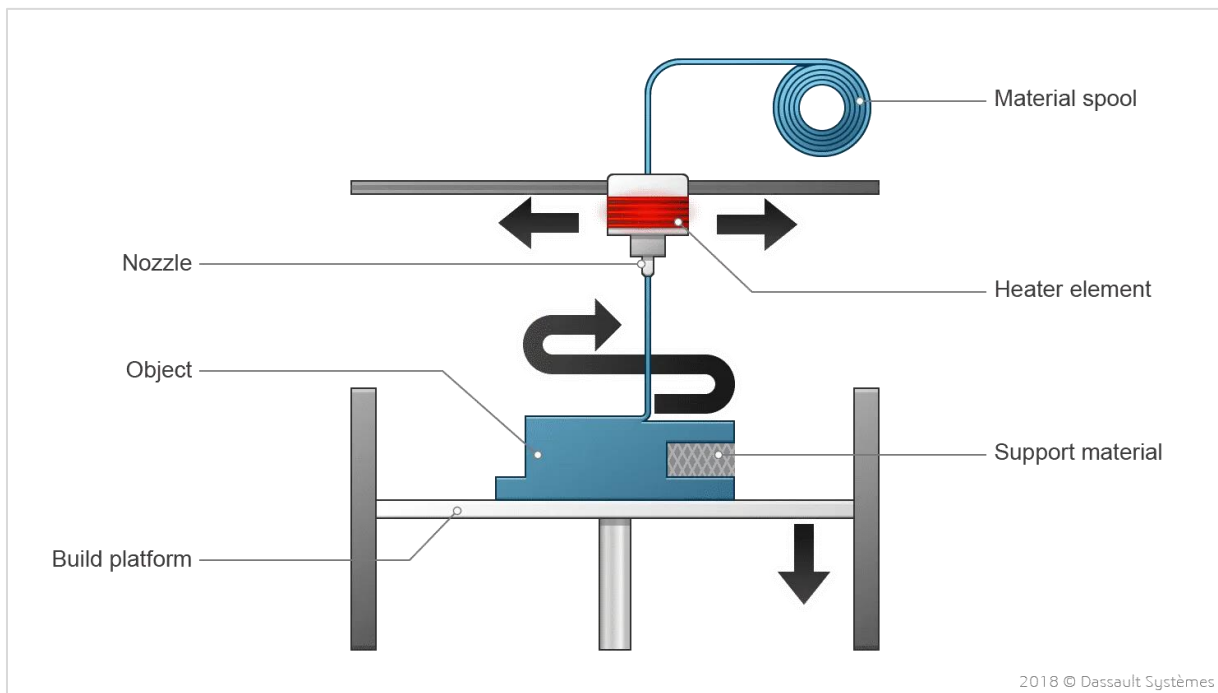


Abbildung 30: Funktionsweise FDM 3D-Drucker

6.6.2 Erkenntnisse aus dem Besuch bei der Firma URMA

Im Rahmen der Marktanalyse besuchte ich Herrn Frank Gersbach von der Firma URMA, um mehr über die industriellen Anwendungen von FDM-Druckern zu erfahren. Dabei wurden mir insbesondere die Markforged-Systeme vorgestellt, die sich durch den Einsatz von faserverstärkten Kunststoffen und Metall-3D-Druck auszeichnen.

Zudem stellte Alphacam bei ihrem Besuch bei mir die Stratasys-FDM-Systeme vor, die sich durch eine hohe Präzision und grosse Materialvielfalt auszeichnen. Beide Systeme bieten unterschiedliche Stärken, abhängig von den Anforderungen an Materialfestigkeit, Druckgenauigkeit und Produktionsvolumen.

Besonders hervorgehoben wurden folgende Aspekte:

- **Materialien:** Neben klassischen Kunststoffen wie PLA, ABS und PETG können auch faserverstärkte Materialien mit Kohlefaser oder Glasfaser verwendet werden, um hochfeste Bauteile herzustellen.
- **Mechanische Eigenschaften:** Abhängig vom Material hohe Belastbarkeit, insbesondere bei Verwendung von faserverstärkten Kunststoffen oder Hochleistungspolymeren.
- **Druckgeschwindigkeit:** Mittlere bis hohe Druckgeschwindigkeit, abhängig von Schichthöhe und Materialflussrate.
- **Nachbearbeitung:** Für Überhänge und komplexe Geometrien sind Stützstrukturen notwendig, die entweder aus dem gleichen Werkstoff oder aus wasserlöslichem Material bestehen und nach dem Druck mechanisch entfernt oder chemisch aufgelöst werden können; zusätzlich sind Fräsen, Schleifen oder chemische Glättung möglich, um die Oberflächenqualität zu verbessern.
- **Softwareintegration:** Industrielle FDM-Drucker sind mit gängigen CAD-Programmen kompatibel und bieten optimierte Slicer-Software für Material- und Stützstrukturen.
- **Materialkosten:** Günstiger als andere 3D-Druckverfahren, wobei spezialisierte Hochleistungsmaterialien teurer sein können.
- **Wartung & Support:** Beide Firmen bieten Wartungsverträge sowie Schulungen zur optimalen Nutzung der Drucksysteme an.
- **Anschaffungskosten:** Ab ca. 60.000 CHF für industrielle FDM-Drucker, abhängig von der Materialkompatibilität und Baugrösse.

6.6.3 Bewertung von Fused Deposition Modeling

Das FDM-Verfahren gilt als eines der wirtschaftlichsten und vielseitigsten 3D-Druckverfahren für den industriellen Einsatz. Die grosse Auswahl an verfügbaren Materialien, darunter auch faserverstärkte Hochleistungskunststoffe, erlaubt die Herstellung funktionaler und mechanisch robuster Bauteile, ein klarer Vorteil für Anwendungen im Vorrichtung- und Betriebsmittelbau.

Besonders relevant für die Nachbur AG ist die Möglichkeit, grossvolumige, stabile Bauteile intern zu fertigen und so externe Beschaffungszeiten deutlich zu reduzieren. Die vergleichsweise niedrigen Investitionskosten, die einfache Handhabung sowie die Skalierbarkeit machen FDM zu einer praxistauglichen Lösung für KMU.

Nachteile bestehen bei der Detailgenauigkeit und der Oberflächenqualität, die gegenüber Verfahren wie SLA oder MJP geringer ausfallen. Zudem sind für Überhänge Stützstrukturen erforderlich, was den Nachbearbeitungsaufwand erhöht.

Insgesamt bietet FDM eine robuste, wirtschaftliche und breit einsetzbare Technologie, die sich besonders für den angestrebten Einsatz bei der Nachbur AG eignet, insbesondere für Vorrichtungen, Trays, Montagehilfen und Greifer.

6.6.4 Vorführungen von Testbauteilen

Spannbacke Faserverstärkt



Abbildung 31: Spannbacke Faserverstärkt FDM

- **Druckzeit:** 3 Stunden
- **Nachbearbeitung:** Oberfläche leicht nachbearbeitet mittels microstrahlen
- **Eigenschaften:** Hohe Belastbarkeit durch faserverstärkte Struktur
- **Einsatzgebiet:** Spannvorrichtungen für CNC-Maschinen

Absaugevorrichtung

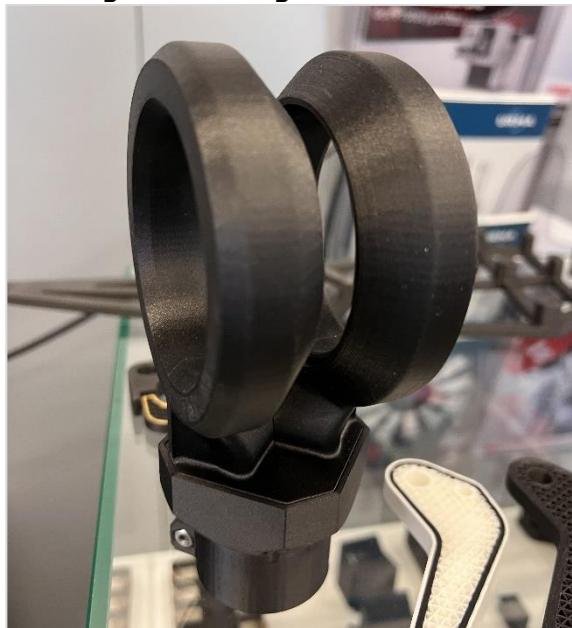


Abbildung 32: Absaugevorrichtung FDM

- **Druckzeit:** 7 Stunden
- **Nachbearbeitung:** Entfernung von Stützstrukturen, Verschraubung montiert
- **Eigenschaften:** Robust, beständig gegen mechanische und thermische Belastung
- **Einsatzbereich:** Prozessoptimierung durch gezielte Absaugung von Staub

6.6.5 Analyse der FDM-Technologie anhand der definierten Anforderungen

Anforderung	Bewertung für FDM
Drucktechnologie	Fused Deposition Modeling
Bauraum & Druckvolumen	Grosses Druckvolumen möglich, abhängig vom Druckermodell
Auflösung	Mittlere Detailgenauigkeit, sichtbarere Schichten als SLA oder MJP
Präzision	Massabweichungen liegen bei ± 0.15 mm in der XYZ-Achse
Mechanische Eigenschaften	Hohe Belastbarkeit, besonders mit faserverstärkten Kunststoffen
Materialien	Grosse Vielfalt, Hochleistungskunststoffe, faserverstärkte Materialien
Druckgeschwindigkeit	Mittelmässig, abhängig von Schichthöhe und Düsendurchmesser
Werkstückstabilität	Hohe Belastbarkeit, besonders mit verstärkten Kunststoffen
Materialkosten	Günstiger als andere, Hochleistungskunststoffe kostenintensiver
Investitionskosten	Ab ca. 60.000 CHF für industrielle Drucker
Bauraum & Gehäuse	Geschlossener oder offener Bauraum je nach Modell
Einsatzbereich	Vorrichtungen, Funktionsprototypen, mechanisch belastbare Bauteile
Nachbearbeitung	Stützstrukturen entfernen, mechanische Nachbearbeitung möglich
Softwarekompatibilität	Kompatibel mit allen gängigen CAD-Systemen
Wartung & Support	Wartungsvertrag und Schulungen bei Installation verfügbar

Tabelle 12: Anforderungen & Bewertungen FDM

6.7 Selektives Lasersintern (SLS)

6.7.1 Funktionsweise und Eigenschaften des Selektiven Lasersintern

Das SLS-Verfahren ist ein industrielles 3D-Druckverfahren, das auf der schichtweisen Verschmelzung von pulverförmigem Kunststoff oder Metall mittels Laser basiert. Es ermöglicht die Herstellung komplexer, hochfester und funktionaler Bauteile ohne den Einsatz von Stützmaterial, da das ungesinterte Pulver als natürliche Stützstruktur dient.

Druckprozess des SLS-Verfahrens:

1. Eine feine Schicht Pulver (z. B. PA12, PA11, TPU oder Aluminiumoxid) wird auf das Bauplateau aufgetragen.
2. Ein Hochleistungslaser erhitzt das Pulver selektiv an den Stellen, an denen das Bauteil entstehen soll, wodurch die Partikel lokal miteinander verschmelzen.
3. Nach dem Sintern einer Schicht wird die Bauplattform abgesenkt, und eine neue Schicht Pulver wird aufgetragen.
4. Dieser Prozess wiederholt sich, bis das gesamte Bauteil aufgebaut ist.
5. Nach Abschluss des Druckvorgangs muss das Bauteil aus dem Pulverbett entnommen und gereinigt werden. Anschliessend kann eine mechanische oder chemische Nachbearbeitung erfolgen.

Dank dieser Technologie lassen sich mechanisch belastbare Bauteile mit hoher Designfreiheit herstellen. Da das nicht gesinterte Pulver wiederverwendet werden kann, ist der Materialeinsatz effizient.

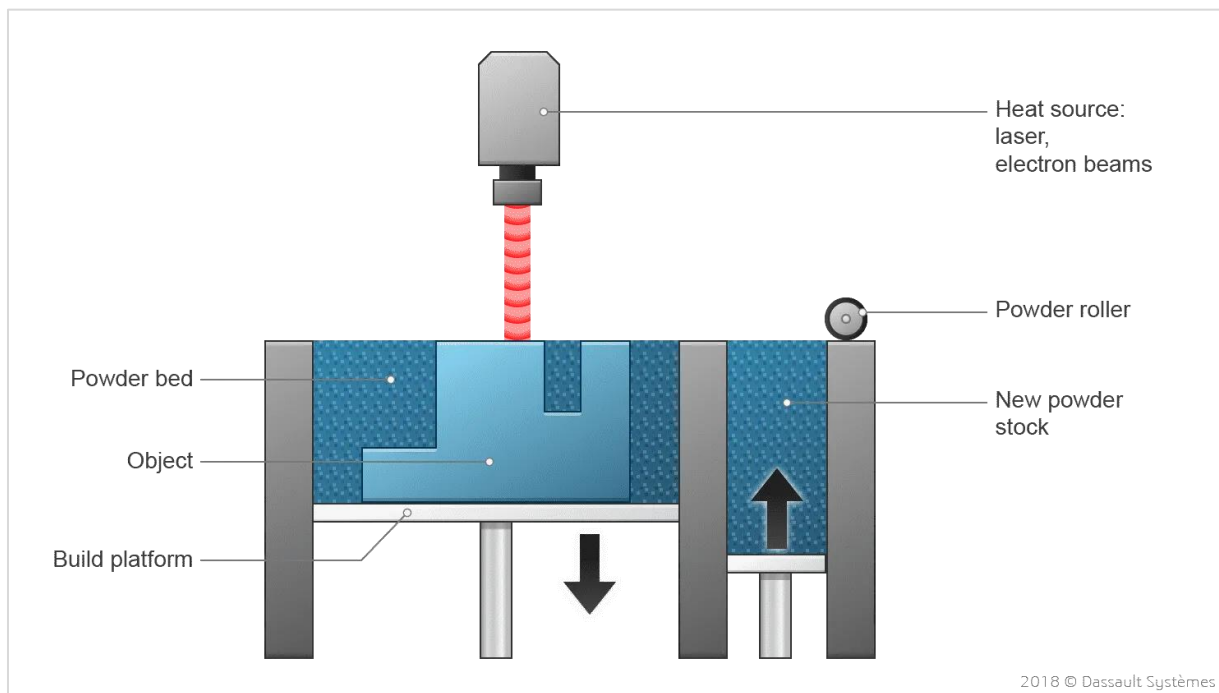


Abbildung 33: Funktionsweise SLS 3D-Drucker

6.7.2 Erkenntnisse aus dem Besuch bei der Firma URMA und 3D-EDU

Im Rahmen der Marktanalyse besuchte ich URMA, um die industriellen EOS-SLS-Drucker kennenzulernen, sowie 3D-EDU, die das SLS-System von Formlabs vertreiben. Beide Hersteller bieten unterschiedliche Lösungen, die sich in Bauraum, Materialkompatibilität und Effizienz unterscheiden.

Besonders hervorgehoben wurden folgende Aspekte:

- **Materialien:** Verwendet werden vor allem Polyamide wie PA12 und PA11, die eine hohe Beständigkeit gegenüber Beanspruchung, Chemikalien und Temperaturen bieten.
- **Mechanische Eigenschaften:** SLS-Bauteile weisen eine hohe Stabilität und isotrope Eigenschaften auf, was sie für funktionale Anwendungen und Serienfertigung attraktiv macht.
- **Druckgeschwindigkeit:** Höher als SLA oder MJP, da viele Bauteile gleichzeitig in einem Druckvorgang gefertigt werden können.
- **Nachbearbeitung:** Strahlen oder Luftdruck, um überschüssiges Pulver zu entfernen, was aufgrund der starken Haftung des Pulvers aufwendig sein kann und das Tragen einer Schutzausrüstung erfordert. Das ungesinterte Pulver muss in einem aufwendigen Recyclingprozess aufbereitet werden.
- **Softwareintegration:** EOS-Maschinen sind mit gängigen CAD-Systemen kompatibel und bieten umfassende Prozesskontrollmöglichkeiten. Formlabs-SLS-Drucker ermöglichen den Import nativer CAD-Dateien, jedoch ist der direkte Fusion-Import noch in der Beta-Phase.
- **Materialkosten:** Mittlere Kosten, da ein Teil des nicht gesinterten Pulvers wiederverwendet werden kann. Ab 99 CHF/kg, abhängig von Material und Bestellmenge.
- **Wartung & Support:** URMA und 3D-EDU bieten beide regelmässige Wartung und Anwenderschulungen für die Drucksysteme an.
- **Anschaffungskosten:** Neue EOS-Maschinen ab 200.000 CHF, je nach Ausstattung und Bauvolumen. Formlabs SLS-Systeme (kompaktes Paket inkl. Strahlanlage): Ab 62.500 CHF.

6.7.3 Bewertung von Selektivem Lasersintern

Das SLS-Verfahren ist ideal für hochbelastbare Funktionsbauteile und Kleinserienproduktion. Besonders vorteilhaft ist die Möglichkeit, mehrere Bauteile gleichzeitig in einem Druckprozess zu fertigen, was die Druckeffizienz erheblich steigert.

Im Vergleich zu anderen Verfahren bietet SLS eine hohe Designfreiheit, da keine Stützstrukturen erforderlich sind. Die Nachbearbeitung ist jedoch aufwendiger als bei MJF oder FDM, insbesondere die Pulverentfernung und das Materialrecycling sind zeitintensive Schritte.

Für die Nachbur AG könnte SLS eine hochwertige Lösung für robuste Vorrichtungen, Prototypen und industrielle Anwendungen darstellen.

6.7.4 Vorführungen von Testbauteilen

Blätterbares Miniatur-Buch



Abbildung 34: Miniatur-Buch SLS

- **Druckzeit:** 2.5 Stunden
- **Nachbearbeitung:** Reinigung durch Strahlen, Oberfläche unbehandelt
- **Eigenschaften:** Extrem feine Details, flexible Einzelteile direkt aus dem Druck
- **Einsatzgebiet:** Demonstration der Detailauflösung und Fertigung komplexer, beweglicher Strukturen

Steckverbindung (Ersatzteil)



Abbildung 35: Steckverbindung SLS

- **Druckzeit:** 2 Stunden
- **Nachbearbeitung:** Reinigung durch Strahlen
- **Eigenschaften:** Hohe Masshaltigkeit, stabile mechanische Verbindung
- **Einsatzbereich:** Ersatzteilerfertigung für funktionale Steckverbindungen

6.7.5 Analyse der SLS-Technologie anhand der definierten Anforderungen

Anforderung	Bewertung für SLS
Drucktechnologie	Selektives Lasersintern
Bauraum & Druckvolumen	Hohe Packungsdichte möglich, ideal für Kleinserien
Auflösung	Feine Details möglich, jedoch leicht rauere Oberflächen
Präzision	Massabweichungen liegen bei ± 0.15 mm in der XYZ-Achse
Mechanische Eigenschaften	Sehr hohe Belastbarkeit, isotrope Stabilität
Materialien	Polyamide (PA12, PA11), temperatur- und chemikalienbeständig
Druckgeschwindigkeit	Sehr effizient durch Stapeldruck vieler Bauteile
Werkstückstabilität	Mechanisch hochbelastbare Bauteile möglich
Materialkosten	Ab 99CHF/kg, Pulver kann teilweise wiederverwendet werden
Investitionskosten	Formlabs SLS ab 62.500 CHF, EOS ab 200.000 CHF
Bauraum & Gehäuse	Geschlossene Druckkammer, Pulvermanagement erforderlich
Einsatzbereich	Hochfeste Bauteile, Prototypen, industrielle Vorrichtungen
Nachbearbeitung	Pulverentfernung durch Strahlen, optionale Oberflächenveredelung
Softwarekompatibilität	Kompatibel mit allen gängigen CAD-Systemen
Wartung & Support	Wartungsvertrag und Schulungen bei Installation verfügbar

Tabelle 13: Anforderungen & Bewertungen SLS

6.8 Gegenüberstellung der Druckverfahren

Nachdem die einzelnen 3D-Drucktechnologien detailliert analysiert wurden, folgt nun eine direkte Gegenüberstellung der Verfahren. Ziel ist es, die jeweiligen Stärken und Schwächen systematisch zu vergleichen, um eine fundierte Entscheidungsgrundlage für die Auswahl des optimalen Druckverfahrens für die Nachbur AG zu schaffen.

Anforderung	Bewertung für SLS	Bewertung für FDM	Bewertung für MJP	Bewertung für SLA	Bewertung für MJF
Drucktechnologie	Selektives Lasersintern	Fused Deposition Modeling	Multi Jet Printing	Stereolithographie	Multi Jet Fusion
Bauraum & Druckvolumen	Hohe Packungsdichte möglich, ideal für Kleinserien	Grosses Druckvolumen möglich, abhängig vom Druckermodell	Begrenztes Druckvolumen, weniger für Serienproduktion geeignet	Begrenztes Druckvolumen, Z-Stapelung eingeschränkt	Geeignet für Serienproduktion, hohe Packungsdichte möglich
Auflösung	Feine Details möglich, jedoch leicht rauere Oberflächen	Mittlere Detailgenauigkeit, sichtbare Schichten als SLA oder MJP	Sehr feine Details, höchste Präzision möglich, aber anisotrop	Sehr feine Details, höchste Präzision möglich	Sehr feine Details, Präzision nahe Spritzguss, vollisotrop
Präzision	Massabweichungen liegen bei ± 0.15 mm in der XYZ-Achse	Massabweichungen liegen bei ± 0.15 mm in der XYZ-Achse	Massabweichungen liegen bei ± 0.1 mm in der XYZ-Achse	Massabweichungen liegen bei $\pm 0.15\%$ (min. ± 0.02 mm)	Massabweichungen liegen bei ± 0.15 mm in der XYZ-Achse
Mechanische Eigenschaften	Sehr hohe Belastbarkeit, isotrope Stabilität	Hohe Belastbarkeit, besonders mit faserverstärkten Kunststoffen	Geringer belastbar, moderne Materialien bieten verbesserte Belastbarkeit	Meist spröde, Hochleistungsharze bieten bessere Belastbarkeit	Ähnlich Spritzguss, hohe Stabilität
Materialien	Polyamide (PA12, PA11), temperatur- und chemikalienbeständig	Grosse Vielfalt, Hochleistungskunststoffe, faserverstärkte Materialien	Photopolymere und Wachse, nicht chemisch beständig	Photopolymere, von flexibel (40A) bis hart (Spritzgussformen)	Polyamide wie PA12, chemisch beständig
Druckgeschwindigkeit	Sehr effizient durch Stapeldruck vieler Bauteile	Mittelmässig, abhängig von Schichthöhe und Düsendurchmesser	Mittlere Druckgeschwindigkeit, präzise, langsam bei grossen Volumen	Durchschnittliche Geschwindigkeit, mehrere Teile in X-Y druckbar	Sehr schnell, viele Teile auf einmal druckbar
Werkstückstabilität	Mechanisch hochbelastbare Bauteile möglich	Hohe Belastbarkeit, besonders mit verstärkten Kunststoffen	Begrenzte Belastbarkeit, nicht für stark beanspruchte Teile geeignet	Hohe Detailgenauigkeit aber nicht immer mechanisch hoch belastbar	Geeignet für mechanisch belastbare Teile
Materialkosten	Ab 99CHF/kg, Pulver kann teilweise wiederverwendet werden	Günstiger als andere, Hochleistungskunststoffe kostenintensiver	Höhere Materialkosten, abhängig vom Photopolymer	Hoch (100–300 CHF/Liter)	PA12 kostet ca. 60 CHF/kg
Investitionskosten	Formlabs SLS ab 62.500 CHF, EOS ab 200.000 CHF	Ab ca. 60.000 CHF für industrielle Drucker	Hohe Anschaffungskosten, Neue Geräte ab ca. 50'000 CHF	Mittel (10'000–20'000 CHF)	Höhere Anschaffungskosten, Neue Geräte ab ca. 200'000CHF
Bauraum & Gehäuse	Geschlossene Druckkammer, Pulvermanagement erforderlich	Geschlossener oder offener Bauraum je nach Modell	Geschlossener Bauraum, klimatisierte Druckkammer	Geschlossener Bauraum, kontrollierter Druckprozess	Geschlossener Bauraum, konstanter Druckprozess
Einsatzbereich	Hochfeste Bauteile, Prototypen, industrielle Vorrichtungen	Vorrichtungen, Funktionsprototypen, mechanisch belastbare Bauteile	Hochpräzise Prototypen, Feingussmodelle, Designmodelle	Medizinische Modelle, optische Bauteile, Designprototypen	Sehr vielseitig z.B. Mechanische Bauteile, Gelenke, Greiferbacken
Nachbearbeitung	Pulverentfernung durch Strahlen, optionale Oberflächenveredelung	Stützstrukturen entfernen, mechanische Nachbearbeitung möglich	Stützmaterial einfach entfernbar, kaum weitere Bearbeitung nötig	UV-Härtung, Stützstrukturentfernung, Politur möglich	Mikroglasstrahlen, Fräsen möglich
Softwarekompatibilität	Kompatibel mit allen gängigen CAD-Systemen	Kompatibel mit allen gängigen CAD-Systemen	Kompatibel mit allen gängigen CAD-Systemen	Autodesk Inventor kompatibel, Fusion 360 eingeschränkt	Autodesk Inventor & Fusion optimal kompatibel
Wartung & Support	Wartungsvertrag und Schulungen bei Installation verfügbar	Wartungsvertrag und Schulungen bei Installation verfügbar	Wartungsvertrag und Schulungen bei Installation verfügbar	Wartungsverträge und Schulungen verfügbar	Wartungsvertrag und Schulungen bei Installation verfügbar

Tabelle 14: Anforderungskatalog Drucktechnologien

6.8.1 Gruppierung der Bewertungskriterien

Um die Vergleichbarkeit der unterschiedlichen 3D-Druckverfahren zu gewährleisten, wurden die bewerteten Kriterien in acht Hauptkategorien zusammengefasst. Diese Kategorien decken sowohl technische als auch wirtschaftliche und betriebliche Aspekte ab, die für die Auswahl eines geeigneten Druckverfahrens relevant sind.

1. Einschränkung durch Drucktechnologie

- Die grundlegende Technologie des Druckverfahrens bestimmt die generellen Möglichkeiten und Einschränkungen, wie Materialverarbeitung, Schichtaufbau und Prozessstabilität.

2. Bauraum & Druckvolumen

- Diese Kategorie beschreibt die Grösse des maximal druckbaren Volumens sowie die Möglichkeit der Anordnung mehrerer Bauteile innerhalb eines Druckvorgangs.

3. Detailgenauigkeit & Masshaltigkeit

- Auflösung: Gibt an, wie fein die Druckschichten sind und welche Detailgenauigkeit erreicht werden kann.
- Präzision: Bewertet die Masshaltigkeit der gedruckten Bauteile.

4. Mechanische & Materialeigenschaften

- Mechanische Eigenschaften: Stabilität und Belastbarkeit der Bauteile.
- Werkstückstabilität: Widerstandsfähigkeit gegenüber mechanischen Beanspruchungen im Einsatz.
- Materialien: Verfügbare Werkstoffe und mechanische Eigenschaften.

5. Produktivität & Wirtschaftlichkeit

- Druckgeschwindigkeit: Gibt an, wie schnell das Verfahren Bauteile herstellt.
- Materialkosten: Wirtschaftlichkeit der eingesetzten Werkstoffe.
- Investitionskosten: Anschaffungskosten sowie langfristige Betriebskosten.

6. Betriebliche Integration & Handhabung

- Bauraum & Gehäuse: Anforderungen an die Umgebung, geschlossene oder offene Systeme, Sicherheitsaspekte.
- Nachbearbeitung: Schritte zur Oberflächenveredelung, Entfernung von Stützstrukturen oder Pulverrückständen.
- Softwarekompatibilität: Anbindung an bestehende CAD-Systeme, Unterstützung gängiger Dateiformate und Workflows.

7. Anwendungsflexibilität

- Einsatzbereich: Eignung für verschiedene Anwendungen, z. B. funktionale Prototypen, Serienteile, Werkzeuge oder Vorrichtungen.

8. Service & Unterstützung

- Wartung & Support: Verfügbarkeit von Schulungen, Serviceverträgen und technischer Unterstützung für eine langfristig stabile Nutzung.

6.8.2 Präferenzmatrix Drucktechnologien

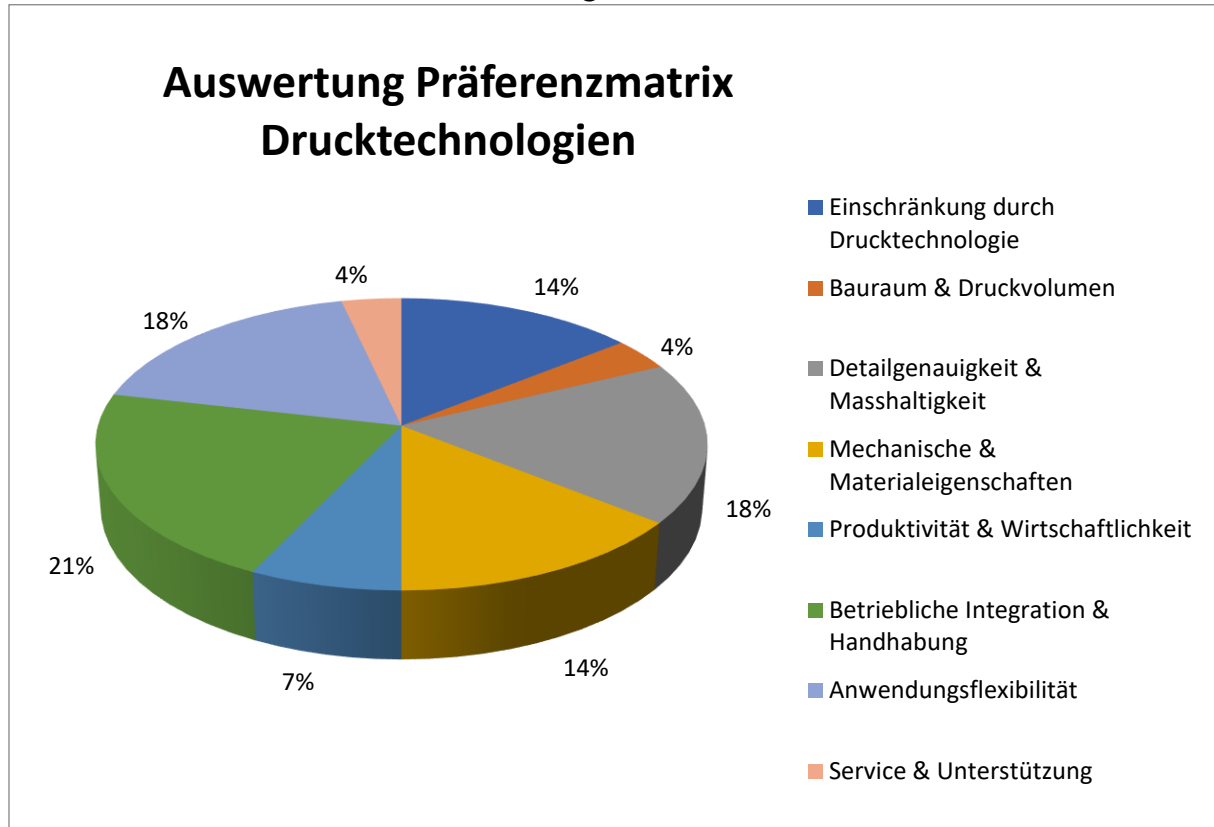


Abbildung 36: Resultate Präferenzmatrix Drucktechnologien

Die Auswertung der Präferenzmatrix zeigt eine klare Gewichtungsverteilung der wichtigsten Bewertungskriterien. Mit 21 % entfällt der höchste Stellenwert auf die betriebliche Integration und Handhabung, da der 3D-Drucker möglichst reibungslos in bestehende Prozesse eingebunden und von den Mitarbeitenden effizient bedient werden können muss. Ebenfalls stark gewichtet wurden die Detailgenauigkeit & Masshaltigkeit sowie die Anwendungsflexibilität, welche mit je 18 % zentrale Anforderungen an die Druckqualität und Einsatzbreite abbilden.

Die Einschränkung durch Drucktechnologie und die mechanischen & materialtechnischen Eigenschaften folgen mit jeweils 14 % Gewichtung und spiegeln die technische Kompatibilität mit den Zielanwendungen wider. Weitere Kriterien wie Produktivität & Wirtschaftlichkeit (7 %) sowie Bauraum & Druckvolumen und Service & Unterstützung (je 4 %) spielen zwar eine untergeordnete Rolle, bleiben aber dennoch Bestandteil der ganzheitlichen Bewertung.

Die ermittelten Gewichtungswerte bilden die Grundlage für die nachfolgende Nutzwertanalyse, in der die verschiedenen Drucktechnologien systematisch miteinander verglichen werden.

6.8.3 Qualitative Bewertungsmatrix der Drucktechnologien

Kriterium	SLS	FDM	MJP	SLA	MJF
Einschränkung durch Drucktechnologie	Pulverbasiert, isotrop, stabile Bauteile, hohe Designfreiheit, keine Stützstrukturen aber Nachbearbeitung nötig	Schichtweise Extrusion, einfache Technik, sichtbare Layer, anisotrop, Stützstrukturen und Nachbearbeitung nötig	Tröpfchen basierte Technik, sehr präzise, aber anisotrop und empfindlich, viele Farben möglich und keine Stützstrukturen nötig	Laserbasiert, hohe Auflösung, teils spröde Materialien, kann empfindlich gegenüber Umwelteinflüssen sein, keine Stützstrukturen nötig	Pulverbasiert mit Tintenauftrag, isotrop, effizient, sehr stabil, präzise und keine Stützstrukturen notwendig
Bauraum & Druckvolumen	Hohe Packungsdichte, gut für Kleinserien	Grosses Volumen je nach Modell, weniger Packungsdichte	Begrenztes Volumen, nicht ideal für Serien	Begrenztes Volumen je nach Modell, hohe Packungsdichte	Hohe Packungsdichte, ideal für Serienfertigung
Detailgenauigkeit & Masshaltigkeit	Feine Details, ± 0.15 mm, leicht raue Oberfläche	Mittlere Auflösung, ± 0.15 mm, sichtbare Schichten	Sehr feine Details, ± 0.1 mm, höchste Präzision	Sehr feine Details, ± 0.02 mm, höchste Präzision	Sehr feine Details, ± 0.15 mm, fast wie Spritzguss
Mechanische & Materialeigenschaften	Sehr belastbar, chemisch beständig (PA12/PA11), hohe isotrope Stabilität	Belastbar (v. a. mit Fasern), grosse Materialvielfalt, teilweise hohe Stabilität	Gering belastbar, Photopolymere, nicht chemikalienbeständig	Spröde, Hochleistungsharze besser, je nach Harzwahl limitiert mechanisch belastbar	Hohe Belastbarkeit, PA12, chemisch beständig, stabil
Produktivität & Wirtschaftlichkeit	Schnell durch Stapelverarbeitung, Pulver wiederverwendbar, hohe Investitionskosten	Mittlere Druckgeschwindigkeit, günstige Materialien, moderate Investitionskosten	Langsam bei grossen Volumen, hohe Materialkosten, hohe Investitionskosten	Durchschnittliche Produktivität, hohe Materialkosten, mittlere Investitionskosten	Sehr hohe Produktivität, günstige Materialien, sehr hohe Investitionen
Betriebliche Integration & Handhabung	Geschlossene Kammer, Pulverhandling, Nachbearbeitung durch Strahlen, gute CAD-Kompatibilität	Offen oder geschlossen, einfache Handhabung, gute CAD-Kompatibilität	Geschlossene Kammer, einfache Nachbearbeitung, sehr gute CAD-Kompatibilität	Geschlossener Bauraum, UV-Härtung, gute Kompatibilität mit Inventor	Geschlossener Bauraum, Nachbearbeitung wie Glasstrahlen, sehr gute CAD-Kompatibilität
Anwendungsflexibilität	Prototypen, Vorrichtungen, funktionale Bauteile	Prototypen, Funktions-Bauteile, Vorrichtungen, Innengeometrien nur bedingt möglich	Feingussmodelle, Prototypen, Design, Funktionsbauteile und Vorrichtungen nicht machbar	Detailgetreue Modelle, Funktionsbauteile bei der Verwendung von hochleistungsharzen	Sehr vielseitig, ideal für funktionale Teile, Greifer, Vorrichtungen
Service & Unterstützung	Wartungsvertrag & Schulungen verfügbar	Wartungsvertrag & Schulungen verfügbar	Wartungsvertrag & Schulungen verfügbar	Wartungsverträge & Schulungen verfügbar	Wartungsvertrag & Schulungen verfügbar

Tabelle 15: Qualitative Bewertungsmatrix der Drucktechnologien

Die qualitative Bewertung der fünf untersuchten 3D-Drucktechnologien erfolgte anhand von acht zentralen Kriterien. Dabei wurde jedes Kriterium pro Technologie auf einer Skala von 1 (schlecht) bis 3 (gut) eingestuft. Die farbliche Kennzeichnung unterstützt die Übersichtlichkeit: Grün steht für eine gute Erfüllung (3 Punkte), Gelb für eine mittlere Eignung (2 Punkte) und Rot für eine eingeschränkte Eignung (1 Punkt). Diese Einschätzung basiert auf den funktionalen, technischen und wirtschaftlichen Eigenschaften der jeweiligen Drucktechnologie und bildet die Grundlage für die folgende Nutzwertanalyse.

6.8.4 Nutzwertanalyse & Resultate der Variantenevaluation

Nutzwertanalyse Drucktechnologien		SLS		FDM		MJP		SLA		MJF	
		TN	GTN	TN	GTN	TN	GTN	TN	GTN	TN	GTN
Einschränkung durch Drucktechnologie	14	3	42	2	28	1	14	2	28	3	42
Bauraum & Druckvolumen	4	3	12	2	8	2	8	2	8	3	12
Detailgenauigkeit & Masshaltigkeit	18	2	36	2	36	2	36	3	54	2	36
Mechanische & Materialeigenschaften	14	3	42	3	42	1	14	2	28	3	42
Produktivität & Wirtschaftlichkeit	7	2	14	3	21	1	7	2	14	1	7
Betriebliche Integration & Handhabung	21	1	21	3	63	3	63	3	63	2	42
Anwendungsflexibilität	18	3	54	2	36	2	36	2	36	3	54
Service & Unterstützung	4	3	12	3	12	3	12	3	12	3	12
Total			233		246		190		243		247

Tabelle 16: Nutzwertanalyse Drucktechnologien

Die durchgeführte Nutzwertanalyse zeigt ein klares Bild hinsichtlich der Stärken und Schwächen der untersuchten Drucktechnologien im Kontext der Anforderungen der Nachbar AG. Die Bewertung erfolgte auf Basis von acht gewichtet bewerteten Kriterien, welche zuvor mittels Präferenzmatrix festgelegt wurden. Die jeweilige Technologie wurde dabei pro Kriterium mit einem Nutzwert zwischen 1 (schlecht) und 3 (gut) eingestuft, multipliziert mit der Kriteriengewichtung.

Die höchsten Gesamtwerte erzielen:

1. MJF mit 247 Punkten
2. FDM mit 246 Punkten
3. SLA mit 243 Punkten

Etwas abgeschlagen folgen:

4. SLS mit 219 Punkten
5. MJP mit 190 Punkten

Obwohl Multi Jet Fusion (MJF) mit 247 Punkten den höchsten Gesamtnutzwert erreicht hat, kann diese Technologie im Rahmen dieses Projekts nicht berücksichtigt werden, da die Investitionskosten von über 250'000 CHF das zur Verfügung stehende Budget deutlich übersteigen. MJF überzeugt zwar in nahezu allen Kriterien, insbesondere hinsichtlich Produktivität, Bauteilqualität und Anwendungsvielfalt. Aufgrund der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen scheidet die Technologie trotzdem aus der engeren Auswahl aus.

Somit verbleiben Fused Deposition Modeling (FDM) und Stereolithografie (SLA) als realistische Optionen. Beide Technologien erreichen nahezu identische Werte in der Nutzwertanalyse (FDM 246, SLA 243 Punkte), unterscheiden sich jedoch deutlich in ihrer praktischen Anwendung.

FDM wird als bevorzugte Technologie empfohlen, da sie exakt auf die betrieblichen Anforderungen abgestimmt ist. Sie erlaubt die kosteneffiziente Herstellung robuster, funktionaler Bauteile, insbesondere von Vorrichtungen, Trays und Greifern. Auch die vergleichsweise geringe Investitionshöhe und die breite Materialauswahl sprechen für diese Lösung.

SLA überzeugt durch hohe Präzision und Oberflächenqualität, eignet sich jedoch primär für optisch anspruchsvolle oder filigrane Teile mit begrenzter Belastung. Aufgrund der höheren Materialkosten, der empfindlicheren Bauteile und des eingeschränkten Anwendungsspektrums erscheint SLA für die Zielsetzung der Nachbar AG lediglich als potenzielle Ergänzung, nicht jedoch als primäre Lösung.

FDM bietet insgesamt die beste Kombination aus technischer Eignung, Wirtschaftlichkeit und Anwendungsbreite. Es erfüllt die Anforderungen an eine praxistaugliche und betrieblich integrierbare Lösung in vollem Umfang.

6.9 Schlussfolgerung zur Marktanalyse – Technologieebene

Die bisherigen Analysen zeigen deutlich, dass keine Drucktechnologie alle Anforderungen in gleichem Masse erfüllt, doch die FDM-Technologie bietet für den konkreten Einsatzfall bei der Nachbur AG das beste Gesamtpaket. Die Auswahl basiert nicht allein auf einem abstrakten Punktesystem, sondern auf der realen Frage: *Welche Technologie passt am besten in unseren Alltag, zu unseren Bauteilen, zu unseren Anwendungen – und zu unserem Budget?*

FDM zeichnet sich durch seine praxisnahe Einsetzbarkeit und hohe Robustheit aus. Der Prozess ist leicht beherrschbar, benötigt für die Bedienung kein geschultes Spezialpersonal und lässt sich problemlos in bestehende Abläufe integrieren, ein entscheidender Vorteil in einem Unternehmen, das auf Effizienz und Eigenständigkeit angewiesen ist. Darüber hinaus können mit FDM auch mechanisch beanspruchbare Vorrichtungen und Prototypen hergestellt werden, ohne dass Kompromisse bei Stabilität oder Funktionalität eingegangen werden müssen, vor allem dann, wenn faserverstärkte Materialien eingesetzt werden.

Die Materialverfügbarkeit, die niedrigen laufenden Kosten sowie die technologische Reife des Verfahrens machen FDM zur zuverlässigsten und wirtschaftlichsten Option für die angestrebten Anwendungen. Auch die Möglichkeit, mehrere Bauteile gleichzeitig und in kurzer Zeit herzustellen, stärkt die Attraktivität im Werkstattalltag. Das Verfahren ermöglicht schnelle Iterationen, Eigenfertigung von Hilfsmitteln und trägt damit aktiv zur Flexibilisierung und Beschleunigung von Entwicklungs- und Produktionsprozessen bei.

Andere Technologien wie SLA oder MJP bieten zwar grosse Vorteile bei der Detailtreue, eignen sich jedoch vorrangig für optisch anspruchsvolle oder nicht funktionale Anwendungen. FDM hingegen vereint das, was im industriellen Alltag wirklich zählt: Stabilität, Zuverlässigkeit, Handhabbarkeit und Wirtschaftlichkeit ohne hohe Einstiegshürden zu haben.

Diese technologisch und betrieblich begründete Entscheidung bildet somit die Grundlage für die anstehende Auswahl eines konkreten 3D-Druckmodells. In der folgenden Marktanalyse auf Modellebene werden drei geeignete FDM-Systeme näher betrachtet und hinsichtlich ihrer Eignung für die Nachbur AG verglichen.

7 Marktanalyse – Modellebene

7.1 Ziel und Vorgehen

Auf Basis der vorangegangenen Technologieanalyse wurde Fused Deposition Modeling (FDM) als geeignetstes Druckverfahren für die Anforderungen der Nachbur AG identifiziert. Um aus dem breiten Angebot an industriellen FDM-Systemen nun eine konkret umsetzbare Lösung abzuleiten, folgt im nächsten Schritt eine detaillierte Marktanalyse auf Modellebene.

Ziel dieser Analyse ist es, drei industrietaugliche FDM-Druckermodelle zu evaluieren, die für die Anwendung im Bereich von Vorrichtungen, Prototypen und technischen Hilfsmitteln geeignet sind. Dabei sollen nicht nur die technischen Anforderungen erfüllt werden, sondern auch Aspekte wie Investitionshöhe, Wartungsaufwand, Kompatibilität mit bestehenden Systemen (z. B. Autodesk Inventor) sowie Support und Serviceverfügbarkeit in der Schweiz berücksichtigt werden.

Die Auswahl der drei betrachteten Modelle basiert auf einer Kombination aus Marktrecherche und direktem Austausch mit etablierten Schweizer Vertriebspartnern:

- **URMA AG** mit Sitz in Rapperswil ist offizieller Vertriebspartner von Markforged in der Schweiz. Das Unternehmen ist stark im Bereich Werkzeugmaschinen, Präzisionswerkzeuge und industrielle 3D-Drucklösungen positioniert. Im Rahmen eines Besuchs bei URMA wurden verschiedene Markforged-Systeme vorgestellt. Besonders überzeugte dabei der FX10, ein industrielles FDM-System mit Carbonfaser-Verstärkung, das sich durch hohe Bauteilfestigkeit, einen robusten Maschinenaufbau und eine reibungslose Integration in den betrieblichen Alltag auszeichnet.
- **Alphacam GmbH** mit Hauptsitz in Schöftland ist langjähriger Schweizer Partner von Stratasys und spezialisiert auf professionelle Additive-Manufacturing-Lösungen. Das Unternehmen bietet umfassende Beratung, Schulung und technischen Support für industrielle 3D-Drucksysteme. Im Rahmen eines Besuchs bei der Nachbur AG stellte alphacam die Stratasys F-Serie vor, wobei der F370 insbesondere durch seine einfache Bedienbarkeit, grosse Materialvielfalt und etablierte Softwarelösungen positiv auffiel.
- **CHROMOS Group AG** mit Sitz in Dielsdorf ist ein führender Schweizer Anbieter für industrielle 3D-Drucklösungen und offizieller Vertriebspartner von WASP und BigRep. Im Rahmen der Marktanalyse fand ein persönlicher Besuch bei der Nachbur AG statt, bei dem Herr Michele Cianni die Systeme WASP 4070 HDP und BigRep Studio G2 vorstellte. Dabei wurden sowohl technische Details als auch spezifische Anforderungen der Nachbur AG besprochen. Beide Modelle zeichnen sich durch ihre Eignung für grossvolumige, funktionale Bauteile aus. WASP überzeugt mit Pellet-Technologie für kostengünstiges, schnelles Drucken aus Regranulat, BigRep mit hoher Detailgenauigkeit bei klassischen Filament-Materialien.

Diese vier Modelle wurden ausgewählt, da sie sowohl technisch geeignet als auch wirtschaftlich realistisch sind und von drei etablierten Schweizer Anbietern mit verlässlicher Betreuung angeboten werden.

Mit dem WASP 4070 HDP wurde bewusst ein preislich attraktives Modell mit Pellettechnologie aufgenommen, das vor allem für kosteneffiziente, funktionale Grossbauteile geeignet ist. Der BigRep Studio G2 ergänzt die Analyse durch ein besonders grosses Bauvolumen und eignet sich für Anwendungen mit hohem Platzbedarf. Gemeinsam mit dem Stratasys F370, der durch Benutzerfreundlichkeit und Materialvielfalt punktet, und dem Markforged FX10, der höchste mechanische Belastbarkeit durch Endlofaserverstärkung bietet, deckt die Auswahl eine breite Palette an industriellen Anforderungen ab.

Im nächsten Abschnitt werden die vier Systeme einzeln vorgestellt und anhand definierter Kriterien detailliert verglichen.

7.2 Vergleich der Modelle

7.2.1 Stratasys F370

Herstellerportrait Stratasys:

Die Firma Stratasys Ltd. mit Hauptsitz in Eden Prairie (USA) und Rehovot (Israel) ist einer der weltweit führenden Hersteller im Bereich Additive Manufacturing. Seit der Gründung 1989 hat sich Stratasys auf professionelle 3D-Drucklösungen für industrielle Anwendungen spezialisiert. Das Unternehmen entwickelte die FDM-Technologie massgeblich mit und hält daran zahlreiche Patente. Heute bietet Stratasys ein breites Portfolio an Druckern, Softwarelösungen und Materialien für verschiedenste Branchen, von der Luftfahrt über die Automobilindustrie bis zur Medizintechnik.

Stratasys zeichnet sich durch:

- hohe Systemzuverlässigkeit,
- industriellen Qualitätsanspruch,
- sowie einen exzellenten weltweiten Support aus.

In der Schweiz arbeitet Stratasys mit zertifizierten Partnern wie alphacam swiss GmbH zusammen, die Beratung, Verkauf, Schulung und technischen Service lokal anbieten.

Allgemeine Beschreibung Stratasys F370:

Der Stratasys F370 ist ein industrieller 3D-Drucker der F123-Serie mit FDM-Technologie, konzipiert für den professionellen Einsatz in Entwicklung, Fertigung und Lehre. Er ist speziell für Unternehmen ausgelegt, die Wert auf wiederholbare Qualität, Zuverlässigkeit, einfache Bedienung und hohe Materialvielfalt legen. Die Maschine bietet eine vollständig geschlossene Baukammer, automatische Kalibrierung sowie intelligente Materialverwaltung und ist sowohl für Konzeptmodelle als auch funktionale Bauteile geeignet.

Technische Merkmale:

Merkmal	Spezifikation
Bauvolumen	355 x 254 x 355mm
Schichtdicken	0.127 / 0.178 / 0.254 / 0.330mm (Materialabhängig)
Genauigkeit	±0.2mm
Kalibrierung	Vollautomatisch
Steuerung	Touchscreen mit Netzwerkverbindung und Kamera
Beheizte Druckkammer	Ja bis 110 °C inkl. beheiztem Druckbett
Drucksystem	Dual-Extruder, lösliches Supportmaterial
Betriebslautstärke	Max. 46 dB beim Drucken
Maschinenmasse	1626 x 864 x 711mm
Gewicht	277kg mit Verbrauchsmaterial
Netzwerk	Ethernet & WLAN (IEEE 802.11n/g/b)
Betriebssysteme	Windows 7-10 (64-bit), ab 4 GB RAM
Leistungsaufnahme	100 – 240 V, 50/60 Hz, 7 – 15 A

Tabelle 17: Technische Merkmale Stratasys F370

Materialvielfalt:

Der F370 verarbeitet insgesamt acht verschiedene Materialien, teils mit löslichem, teils mit manuellem Stützmaterial:

Material	Beschreibung
ABS-M30	Standardmaterial für robuste Bauteile
ASA	UV-beständiges Material für Aussenanwendungen
PC-ABS	Schlagzäh und hitzebeständig
ABS-ESD7	Ableitfähiges ESD-Material für Elektronikanwendungen
ABS-CF10	Kohlefaserverstärktes ABS für steife, belastbare Teile
Diran 410 MF07	Technopolymer mit hohem Abriebwiderstand
PLA	Kostengünstiges, einfach zu druckendes Material
FDM TPU 92A	Elastomer für flexible Anwendungen

Tabelle 18: Materialvielfalt Stratasys

Hinweis: PLA und Diran werden mit manuell entfernbarem Stützmaterial verarbeitet, die restlichen Materialien mit löslichem Supportmaterial (SR-30).

Nachbearbeitung:

Für die Entfernung des löslichen Stützmaterials ist eine Auswaschanlage erforderlich. Alphacam bietet passende Modelle an. Beispiel:

- UW20 (Edelstahl, beheizt, mit Umwälzung) für CHF 4'010.–
- Weitere Anlagen bis hin zur UW90 für grössere Bauteile verfügbar
- Optional: Edelstahl-Trägersysteme und Kleinteilekörbe

Software & Workflow:

- GrabCAD Print (im Lieferumfang):
 - Direkte Druckvorbereitung aus CAD-Dateien (Inventor, SolidWorks, STEP etc.)
 - Stützstruktur- und Schichtgenerierung automatisch
 - Monitoring via App oder Browser
- GrabCAD Print Pro (optional):
 - Erweiterte Funktionen wie Bauauftragsnachverfolgung und Serienmanagement
 - Insight Software mit Tieferem Eingriff in Stützgeometrien, Werkzeugpfade, Druckpausen etc.

Bedienung & Benutzerfreundlichkeit:

- Vollautomatische Kalibrierung
- Touchdisplay mit übersichtlicher Menüführung
- Integrierte Kamera zur Prozessüberwachung
- Werkzeugschubblade, 4-fach-Materialmagazin mit Auto-Switch
- Fernüberwachung und Benachrichtigungssystem

Investitionskosten (Neugerät):

Basierend auf der Alphacam-Offerte 2025_04_02-1 (alle Preise netto, exkl. MwSt):

Position/Beschreibung	Preis (CHF)
3D-Drucker Stratasys F370 inkl. Kamera, Auto-Switch & Touchscreen	59'950.-
Start-Up Kit & Software inkl. Druckköpfe, GrabCAD, Insight	Inkl.
Material-Starterpaket, ABS + Stützmaterial + 16 Bauplattformen	Inkl.
Zubehör (Material Kits) PLA: 2'084.- / TPU: 2'367.- / CF10: 1'739.-	Optional
Schulung & Support (1 Pers.) Vorinstallation, Schulung, Vor-Ort-Service	2'340.-
Lieferung inkl. Gutschein für 20h in Alphacam-Teilefabrik	780.-
UW20-Auswaschanlage	4'010.-
Gesamtkosten (ohne optionale Spezialmaterialien)	67'080.-

Tabelle 19: Investitionskosten Stratasys F370

Support & Service in der Schweiz:

- Vertrieb und Service über alphacam swiss GmbH (Winterthur)
- Lokaler Vor-Ort-Service mit kurzen Reaktionszeiten (max. übernächster Arbeitstag)
- Schulungen vor Ort oder in Winterthur möglich
- Ausfallüberbrückung (Teilefertigung bei Maschinenstillstand)
- Ersatzteilversorgung für mindestens 2 Jahre garantiert



Abbildung 37: Stratasys F370

7.2.2 Markforged FX10

Die US-amerikanische Firma Markforged Inc. mit Sitz in Watertown, Massachusetts, wurde 2013 gegründet und ist heute ein etablierter Anbieter industrieller 3D-Drucklösungen für Verbund- und Metallwerkstoffe. Markforged verfolgt einen softwaregetriebenen Ansatz, bei dem Hardware, Software und Materialien als integrierte Plattform, die sogenannte „Digital Forge“ zusammenspielen.

Besonderheiten von Markforged:

- Fokus auf mechanisch hoch belastbare Funktionsteile
- Kombination aus Kohlefaserverstärkung (CFR) und Metall-FFF-Verfahren
- Modulare Druckarchitektur (Metall/Verbund)
- Benutzerfreundlichkeit durch intelligente Automatisierung
- Vollständig integrierte Cloud-Plattform „Eiger“

In der Schweiz wird Markforged durch die URMA AG (Rapperswil) vertreten. Diese bietet Beratung, Verkauf, Schulung und technischen Support direkt aus der Schweiz an.

Allgemeine Beschreibung Markforged FX10:

Der Markforged FX10 ist ein industrieller 3D-Drucker der neuesten Generation, ausgelegt auf den Druck von hochfesten Composite-Teilen sowie optional Metallteilen. Er baut auf den Erfahrungen mit dem X7 und Metal X auf und verbindet die Vorteile beider Systeme in einem modularen Aufbau. Die Maschine richtet sich an Anwender in der Fertigung, die belastbare Endanwendungsteile, Vorrichtungen und Funktionsprototypen mit hoher Wiederholgenauigkeit benötigen.

Der FX10 ist mit einem optischen Sensorpaket, automatischer Kalibrierung, Spulenwechsel, einem beheizten Bauraum und einer intuitiven Benutzeroberfläche ausgestattet. Optional kann er durch einen Wechsel des Drucksystems für Metallteile aufgerüstet werden.

Technische Merkmale:

Merkmal	Spezifikation
Bauvolumen	375 x 300 x 300 mm
Schichtdicken	0.05mm – 0.25mm
Genauigkeit	±0.15mm Sensorbasiert und optisch geprüft
Kalibrierung	Vollautomatisch (Laserbasiert mit Bildverarbeitung)
Beheizte Druckkammer	Ja jedoch nur bis 60 °C inkl. beheiztem Vakuum-Druckbett
Drucksystem	Dual-Druckkopf (Kunststoff & Faser) mit auto. Materialwechsel
Steuerung	Touchscreen mit Netzwerkverbindung
Betriebslautstärke	Nicht spezifiziert (typisch <50dB)
Maschinenmasse	760 x 640 x 1200mm
Gewicht	122kg
Netzwerk	Ethernet & WLAN (IEEE 802.11n/g/b)
Betriebssysteme	Webbasierte Steuerung mittels EIGER-Software (OS-unabhängig)
Leistungsaufnahme	100 – 120V (15-15 A) / 200 - 240V (6-8 A)

Tabelle 20: Technische Merkmale Markforged FX10

Materialvielfalt:

Der FX10 verarbeitet Composite-Materialien mit optionaler Endlosfaserverstärkung sowie, bei entsprechender Erweiterung, Metallfilamente.

Material	Beschreibung
Onyx	Technischer Kunststoff mit Carbonpulver, hohe Steifigkeit
Onyx ESD	Elektrisch leitfähig für ESD-Anwendungen
Onyx FR / FR-A	Flammhemmend für Luftfahrt/Industrie (mit Zertifizierung)
Carbonfaser	Endlosfaser, stark belastbar, optional FR-A
Nylon	Flexibler als Onyx
Metall (optional)	17-4PH Edelstahl, 316L Edelstahl

Tabelle 21: Materialvielfalt Markforged

Nachbearbeitung:

Für den Metalldruck sind zusätzliche Hardwaremodule sowie Nachbearbeitungseinheiten wie Wash-1 und Sinter-1/Sinter-2 erforderlich. Composite-Teile benötigen lediglich manuelles Entfernen eventueller Stützstrukturen. Metallteile müssen nach dem Druckprozess gewaschen (Entbinderung) und gesintert werden.

Beispielhafte Nachbearbeitungseinheiten (bei Metallerweiterung erforderlich):

- Wash-1: Entbinderungseinheit
- Sinter-1/Sinter-2: Sinterofen für Metallteile
- Composite-Drucke hingegen sind weitgehend „ready to use“.

Software & Workflow:

- Eiger™ – Die webbasierte Softwareplattform bildet das Herzstück der Markforged-Umgebung.
 - Cloudbasierter Slicer mit digitalem Teilelager und Benutzerverwaltung
 - Automatisierte Stützstruktur-Erstellung
 - Erweiterbar mit Funktionen zur Simulation, Optimierung und Inspektion (je nach Lizenz)
 - Optionen für Offline- oder On-Premise-Betrieb verfügbar
 - API-Zugang für Integration in bestehende IT-Infrastruktur
 - Premiumfunktionen (Digital Forge Complete Advanced):
 - Validierung mittels Simulationstool
 - Bauteilinspektion (mit Lasermikrometer)
 - Benutzerrechteverwaltung (RBAC)
 - SAML-SSO Login

Bedienung & Benutzerfreundlichkeit:

- Automatische Kalibrierung und Spulenwechsel
- Touchscreen-Oberfläche mit intuitiver Menüführung
- Vision-Modul zur Prozessüberwachung
- Lasermikrometer für präzise Schichtkontrolle
- Versiegeltes 4-fach-Spulenmagazin mit Auto-Switch
- Fernüberwachung über Eiger Cloud

Investitionskosten (Neugerät):

Basierend auf der URMA-Offerte 00268473 (netto, exkl. MwSt):

Position/Beschreibung	Preis (CHF)
3D-Drucker Markforged FX10	110'000.-
Digital Forge Complete Advanced, 1 Jahr	14'999.-
Inbetriebnahme, Schulung, Applikationssupport	1'630.-
Materialstarterpaket (Onyx + Carbonfaser)	715.-
Transport & Versicherung	500.-
Gesamtkosten	127'844.-
Rabatt auf Supportleistungen	-1'630.-
Endpreis gesamt	<u>126'214.-</u>

Tabelle 22: Investitionskosten Markforged FX10

Support & Service in der Schweiz:

- Vertrieb, Service und Schulung durch URMA AG (Rapperswil)
- Kostenloser Vor-Ort-Support im ersten Jahr inkludiert
- Benchmark-Teilefertigung zur Vorabprüfung verfügbar
- 12 Monate Garantie auf Gerät und Verschleissteile
- Zugang zur Markforged University für umfassende Schulung
- Jährliche Kalibrierung inklusive (bei Advanced Lizenz)
- Ersatzteilverfügbarkeit sichergestellt



Abbildung 38: Markforged FX10

7.2.3 WASP 4070

Die Firma WASP (World's Advanced Saving Project) mit Sitz in Massa Lombarda, Italien, entwickelt seit 2012 innovative 3D-Drucklösungen mit dem Fokus auf Nachhaltigkeit, Open-Source-Technologie und industrielle Anwendungen. Bekannt wurde WASP insbesondere durch den Einsatz von natürlichen oder recycelten Materialien sowie durch die Entwicklung von grossformatigen Drucksystemen.

Mit der 4070 HDP-Serie adressiert das Unternehmen gezielt den industriellen Einsatzbereich und bietet eine Lösung zur Verarbeitung von Kunststoffgranulat an, ein Verfahren das im Vergleich zu Filamentdruck nicht nur kosteneffizienter, sondern auch umweltfreundlicher ist.

Allgemeine Beschreibung WASP 4070 HDP:

Der WASP 4070 HDP ist ein industrieller Delta-3D-Drucker, der speziell für die Verarbeitung von thermoplastischen Granulaten entwickelt wurde. Das System eignet sich besonders für grossvolumige Bauteile aus technischen Kunststoffen und bietet durch den Direktdruck aus Granulat signifikante Einsparungen bei den Materialkosten.

Besonders hervorzuheben sind die automatische Granulat-Zuführung mit 5-Liter-Tank, das beheizte Druckbett mit Vakuumplatten-Technologie sowie eine robuste Konstruktion mit integrierter HEPA-Filterung.

Technische Merkmale:

Merkmal	Spezifikation
Bauvolumen	Ø400 x 700mm (Zylinderform)
Schichtdicken	0.2 – 0.5mm
Genauigkeit	±0.3mm
Kalibrierung	Manuell (teilweise Softwareunterstützt)
Steuerung	7" Touchscreen, LED-Statusleiste
Beheizte Druckkammer	Ja, jedoch nur bis 50 °C
Drucksystem	Pellet-Extruder, max. 350 g/h, Ø1 mm Düse
Betriebslautstärke	<55 dB (geschätzt, keine Herstellerangabe)
Maschinenmasse	850 x 770 x 1950 mm
Gewicht	95 kg (250 kg inkl. Verpackung)
Netzwerk	LAN, WLAN, USB
Betriebssysteme	Windows, MacOS, Linux
Leistungsaufnahme	Max. 3 kW / Ø 0.6 kW / 220–240 V, 50/60 Hz

Tabelle 23: Technische Merkmale WASP 4070

Materialvielfalt:

Der WASP verarbeitet eine breite Palette an thermoplastischen Granulaten, darunter:

Material	Beschreibung
PLA (recycelt)	Günstig, 100 % recycelt, geeignet für einfache, grossvolumige Bauteile
ABS	Standard-Kunststoff, robust, temperatur- und schlagbeständig
ASA	UV-beständig, witterungsfest, ideal für Anwendungen im Aussenbereich
TPU	Flexibel, gummiartig, für biegbare Funktionsteile geeignet
PP / PETG	Chemikalienbeständig, lebensmitteltauglich je nach Quelle
Pelletmaterial allgemein	Kostet ca. 10× weniger als Filament, hohe Materialauswahl, auch aus Recyclingquellen

Tabelle 24: Materialvielfalt WASP

Nachbearbeitung:

Für den WASP 4070 HDP sind keine speziellen Nachbearbeitungsgeräte erforderlich. Das System verwendet keine wasserlöslichen Stützmaterialien, weshalb Geometrien stützfrei konstruiert oder mechanisch nachbearbeitet werden müssen. Der Fokus liegt auf einfacher Handhabung und stabilen, grossvolumigen Teilen.

Beispielhafte Nachbearbeitungsschritte:

- Manuelles Entfernen von Materialresten (je nach Geometrie)
- Glätten, Fräsen oder Schleifen bei Bedarf möglich
- Bauteilentnahme durch Vakuum-Aktiv-Druckbett besonders einfach
- Keine UV-Härtung oder chemische Nachbehandlung notwendig

Composite-Drucke sind mit dem WASP 4070 HDP weitgehend „ready to use“.

Software & Workflow:

- Simplify3D® – Die lizenzierte Slicer-Software ist im Lieferumfang enthalten.
 - Unterstützung zusätzlicher Programme wie Cura und Slic3r
 - Kompatibel mit .stl, .obj und G-code-Dateien
 - Unterstützt Windows, MacOS und Linux
 - Kein Cloudsystem, keine Simulation oder Prozessvalidierung enthalten
 - Lokaler Slicing-Workflow mit Export auf SD-Karte oder per Netzwerkübertragung
 - Drucksteuerung direkt am Gerät per Touchscreen möglich

Bedienung & Benutzerfreundlichkeit:

- 7-Zoll Touchscreen mit LED-Statusleiste
- Manuelle Kalibrierung mit Softwareunterstützung
- Automatische Nachfüllung über 5-Liter-Granulattank mit Pneumatikzuführung
- Einfache Bedienoberfläche, intuitiv nutzbar
- Kein cloudbasiertes Monitoring oder Remote-Zugriff integriert

Investitionskosten (Neugerät):

Basierend auf der Chromos-Offerte VO416533 vom 10.04.2025 (netto, exkl. MwSt):

Position/Beschreibung	Preis (CHF)
3D-Drucker WASP 4070 HDP	23'100.-
Transportkosten	160.-
Endpreis gesamt	<u>23'260.-</u>

Tabelle 25: Investitionskosten WASP 4070 HDP

Weitere Positionen wie Schulung wurden in der Offerte nicht ausgewiesen und müssten individuell ergänzt werden.

Support & Service in der Schweiz:

- Vertrieb, Lieferung und Support durch CHROMOS Group AG, Dielsdorf
- Technische Grundunterstützung in der Schweiz verfügbar
- Schulungsangebote auf Anfrage (nicht standardisiert)
- Ersatzteilversorgung über das zentrale WASP-Lager in Italien
- Kein cloudbasierter Kundenservice, kein Ersatzsystem bei Ausfall vorgesehen
- Wartungspakete individuell verhandelbar



Abbildung 39: WASP 4070

7.2.4 BigRep Studio G2

Die deutsche Firma BigRep GmbH mit Sitz in Berlin ist ein etablierter Hersteller industrieller 3D-Drucklösungen mit Spezialisierung auf grossformatige FFF-Drucker. BigRep verfolgt einen konsequent auf industrielle Anwendungen ausgelegten Ansatz und ist international für seine robusten, langzeittauglichen Systeme bekannt. Die Geräte kombinieren grosse Bauvolumen mit hoher Auflösung und werden weltweit im Maschinenbau, in der Automobilindustrie sowie im Design eingesetzt.

Der BigRep Studio G2 ist speziell auf technische Materialien und präzise Grossdrucke ausgerichtet. Er überzeugt durch eine geschlossene Baukammer, hochwertige Komponenten wie Rubin-Düsen und durchdachte Features wie eine beheizte Filamentkammer.

Allgemeine Beschreibung BigRep Studio G2

Der BigRep Studio G2 ist ein grossvolumiger FFF-Drucker mit dualem Extruder und Fokus auf technikfähige Kunststoffe wie PA6/66, TPU oder PETG. Die Maschine ermöglicht präzises Drucken auf bis zu 1 Meter Länge und bietet dabei industrielle Prozesssicherheit, unter anderem durch eine aktiv beheizte Filamentkammer, eine geschlossene Baukammer und ein optionales Filtersystem.

Mit seiner kompakten Bauweise (für die Klasse) und seiner hohen Materialvielfalt ist er für viele professionelle Umgebungen geeignet, vom Prototypenbau bis zu funktionalen Vorrichtungen.

Technische Merkmale:

Merkmal	Spezifikation
Bauvolumen	1000 x 500 x 500mm
Schichtdicken	0.1 – 0.5mm
Genauigkeit	±0.3mm
Kalibrierung	Halbautomatisch mit Sensorunterstützung
Steuerung	Touchscreen, LED-Statusanzeige, induktiver Sensor
Beheizte Druckkammer	Ja, jedoch nur bis 40 °C, Beheiztes Druckbett
Drucksystem	Dual-Extruder, 2x 0.6 mm Rubin-Düsen
Betriebslautstärke	<55 dB (geschätzt, keine Herstellerangabe)
Maschinenmasse	1715 x 1170 x 1765mm
Gewicht	Ca. 500kg
Netzwerk	LAN, USB
Betriebssysteme	Windows, Linux (via BigRep BLADE Software)
Leistungsaufnahme	208–240 V, 16 A, 50/60 Hz

Tabelle 26: Technische Merkmale Bigrep Studio G2

Materialvielfalt:

Der BigRep Studio G2 verarbeitet verarbeitet eine breite Palette an Materialien, darunter:

Material	Beschreibung
PLA	Kostengünstig, einfach zu verarbeiten
PETG	Zäh, chemikalienresistent, UV-stabil
Pro HT	Technisch optimiertes PLA, hohe Temperaturbeständigkeit
PA6/66	Sehr robust, abriebfest, für funktionale Bauteile im Maschinenbau
Weitere BigRep Materialien	Zertifizierte BigRep-Materialien (Filament HI-TEMP, PLX, TPU, ASA, HI-TEMP CF, BVOH, kein Granulat)
Kompatible Materialien	Offen für die Verwendung von Materialien von Drittanbietern

Tabelle 27: Materialvielfalt BigRep

Nachbearbeitung:

Für den Studio G2 sind keine speziellen Nachbearbeitungseinheiten erforderlich. Die Entfernung von Stützstrukturen erfolgt manuell oder durch Spülung bei wasserlöslichem Supportmaterial. Die Maschine ist auf industrietypische Nachbearbeitung vorbereitet.

Beispielhafte Nachbearbeitungsschritte:

- Manuelles Entfernen der Stützstrukturen
- Mechanisches Schleifen oder Fräsen bei Bedarf
- Keine zusätzliche Aushärtung oder chemische Prozesse notwendig
- Glättung optional, abhängig vom Materialeinsatz

Software & Workflow:

- BigRep BLADE – haus eigene Slicer-Software im Lieferumfang
 - Presets für alle BigRep-Materialien
 - Einfache und intuitive Bedienung mit Live-Vorschau
 - Zeit- und Materialverbrauchsschätzung
 - Lokale Verarbeitung, keine Cloudanbindung notwendig
 - Kompatibel mit gängigen CAD-Formaten: STL, OBJ, STEP

Bedienung & Benutzerfreundlichkeit:

- Halbautomatische Nivellierung mit induktivem Sensor
- Farb-Touchscreen mit Live-Statusanzeige
- Integrierte Heizungen für Bauplatte & Filamentkammer
- Ergonomisches Design für einfache Wartung und Materialwechsel
- Kein Remote-Zugriff oder Monitoring integriert
- Geräuscharmer Betrieb durch gekapselte Mechanik

Investitionskosten (Neugerät):

Basierend auf Offerte VO416472 vom 04.04.2025 (netto, exkl. MwSt):

Position/Beschreibung	Preis (CHF)
BigRep Studio G2	50'900.-
Transportkosten	160.-
Endpreis gesamt	60'060.-

Tabelle 28: Investitionskosten BigRep Studio G2

Weitere Positionen wie Schulung wurden in der Offerte nicht ausgewiesen und müssten individuell ergänzt werden.

Support & Service in der Schweiz:

- Vertrieb und Service durch CHROMOS Group AG, Dielsdorf
- Lokaler Ansprechpartner für Lieferung, Support und Ersatzteile
- Schulungen auf Anfrage durch CHROMOS oder BigRep Deutschland
- Ersatzteilverfügbarkeit über BigRep-Lager Berlin
- Kein cloudbasierter Kundensupport oder Fernzugriff
- Supportstruktur industrietypisch, aber weniger automatisiert als bei FX10/F370



Abbildung 40: BigRep Studio G2

7.3 Gegenüberstellung der Druckermodelle

Die folgende Tabelle zeigt eine strukturierte Gegenüberstellung der vier analysierten 3D-Druckermodelle. Sie dient als Grundlage für die anschließende Bewertung und Auswahl eines geeigneten Systems für die Nachbar AG.

Anforderung	Stratasys F370	Markforged FX10	WASP 4070 HDP	BigRep Studio G2
Drucktechnologie	Fused Deposition Modeling (FDM)	Fused Filament Fabrication (FFF)	Pellet-Extrusion (FDM mit Granulat)	Fused Filament Fabrication (FFF)
Bauraum & Druckvolumen	355 × 254 × 355 mm, kompakt, geschlossen	375 × 300 × 300 mm, geschlossen, hochpräzise	Ø400 × 600 mm, zylindrisch, grossvolumig	1000 × 500 × 500 mm, sehr gross, geschlossen
Auflösung	Sehr feine Details (0.127–0.33 mm Schichten)	Sehr feine Details (0.05–0.25 mm)	Mittlere Auflösung (0.2–0.5 mm)	0.1–0.5 mm Schichten, grobe Auflösung
Präzision	±0.2 mm	±0.15 mm, sensorüberwacht	±0.3 mm	±0.3 mm (materialabhängig)
Mechanische Eigenschaften	Gut belastbar, vor allem mit CF10	Sehr hohe Festigkeit durch Endlos-faserverstärkung	Für grosse, robuste Bauteile bei geringerem Detailgrad	Stabile, grossflächige Bauteile möglich
Materialien	PLA, ABS, ASA, TPU, CF-verstärkt, ESD-Materialien	Onyx, Nylon, Carbon, ESD, Metall (optional)	Recyceltes PLA, ABS, ASA, TPU, PP, PETG (Pellet)	PLA, PETG, Pro HT, TPU, PA6/66
Druckgeschwindigkeit	Mittel bis hoch, materialspezifisch	Mittel, abhängig von Faseranteil	Hoch, bis 350 g/h Materialdurchsatz	Mittel, aber effizient bei grossen Bauteilen
Werkstückstabilität	Robust, für Funktionsbauteile geeignet	Extrem stabil bei Verbundteilen	Robust, für ungenaue Vorrichtungen & Trays gut geeignet	Zuverlässig bei gängigen Materialien
Materialkosten	Moderat bis hoch, lösliches Supportmaterial nötig	Moderat, faserverstärkte Materialien teurer	Sehr günstig, Pellets bis 10× günstiger als Filament	Moderat, keine Spezialmaterialien erforderlich
Investitionskosten	CHF 67'080.– (inkl. Schulung & Zubehör)	CHF 126'214.– (inkl. Digital Forge Advanced)	CHF 23'100.– (+ CHF 160 Lieferung)	CHF 51'060.– (inkl. Lieferung)
Bauraum & Gehäuse	Geschlossene Kammer, beheizt, automatisiert	Geschlossene Kammer, klimastabilisiert	Geschlossene Kammer, Vakuumbett, beheizt	Geschlossene Kammer, beheizte Filamentkammer
Einsatzbereich	Prototypen, Vorrichtungen, Funktionsteile	Funktionsbauteile, Werkzeuge, Vorrichtungen	Grossbauteile, Vorrichtungen, einfache Geometrien	Grossvolumige Bauteile, funktionale Anwendungen
Nachbearbeitung	Waschanlage nötig, Supportmaterial auswaschbar	Keine spezielle Nachbearbeitung nötig	Manuelle Nachbearbeitung, keine Spezialsysteme	Manuelle Stützstrukturentfernung, kein Waschsysteem
Softwarekompatibilität	GrabCAD Print, Insight – CAD-nativ, benutzerfreundlich	EIGER Cloud, API, Simulation & Inspektion integriert	Simplify3D, Cura, Slic3r – Standardformate	BigRep BLADE, lokale Verarbeitung
Wartung & Support	Alphacam, Wartungsvertrag & Support in CH	URMA AG, CH-Service & Schulung, jährliche Kalibrierung	CHROMOS AG, Support & Lieferung in CH	CHROMOS AG, Support & Schulung auf Anfrage

Tabelle 29: Gegenüberstellung der Druckermodelle

7.3.1 Gruppierung der Bewertungskriterien

Für die Bewertung der vier analysierten 3D-Druckermodelle wurden acht praxisrelevante Hauptkategorien definiert. Diese decken zentrale Anforderungen im industriellen Alltag der Nachbur AG ab, von der mechanischen Eignung bis hin zur Wartbarkeit im 24/7-Betrieb. Ziel ist eine objektive Vergleichbarkeit der Modelle hinsichtlich ihrer praktischen Nutzbarkeit, technischen Leistungsfähigkeit und langfristigen Betriebssicherheit.

1. Zuverlässigkeit & Druckprozess-Stabilität

Wie störungsfrei und konsistent läuft der Druckprozess? Beurteilt wird z. B. die Anfälligkeit auf Verstopfungen, der Wartungsaufwand, die Tauglichkeit für Dauerbetrieb sowie automatische Kalibrierfunktionen.

2. Druckvolumen & Bauraumnutzung

Bewertet werden das nutzbare Bauvolumen und die Geometriefreiheit. Auch die Effizienz bei Mehrfachteilen oder das Verhältnis zwischen Maschinenformat und effektiv nutzbarem Bauraum fließen ein.

3. Detailtreue & Massgenauigkeit

Hier stehen die erreichbare Schichtauflösung, Wiederholgenauigkeit und Masshaltigkeit im Fokus. Modelle, die präzise Vorrichtungen oder Funktionsbauteile liefern können, werden besser bewertet.

4. Materialportfolio & Funktionseignung

Wie vielfältig und funktional ist das Materialspektrum? Bewertet wird auch, wie gut die Materialien für Vorrichtungen, Greiferbacken, Messhilfen oder Prototypen geeignet sind, inklusive Verfügbarkeit und Qualität.

5. Betriebskosten & Investitionsrahmen

Berücksichtigt werden sowohl die Anschaffungskosten als auch Materialpreise und Folgekosten. Auch die Druckeffizienz bei grossen Bauteilen oder Pelletnutzung fließt mit ein.

6. Bedienbarkeit & Integration in den Betrieb

Bewertet werden Benutzerfreundlichkeit, Softwareanbindung, Automatisierungsgrad (z. B. Auto-Nachfüllung, Auto-Leveling), Bedienoberfläche sowie die Einarbeitungszeit.

7. Anwendungsbreite

Wie flexibel ist das System für die spezifischen Anwendungsfälle der Nachbur AG einsetzbar? Betrachtet wird die Eignung für Prototypen, Vorrichtungen, Trays oder funktionale Einzelteile.

8. Service, Support & Skalierbarkeit

Bewertet werden die Verfügbarkeit von Support in der Schweiz, Schulungsangebote, Reaktionszeiten bei Störungen, Ersatzteilversorgung sowie die Möglichkeit zur späteren Erweiterung (z. B. Materialien, Lizenzen, Automatisierung).

7.3.2 Präferenzmatrix Druckermodelle

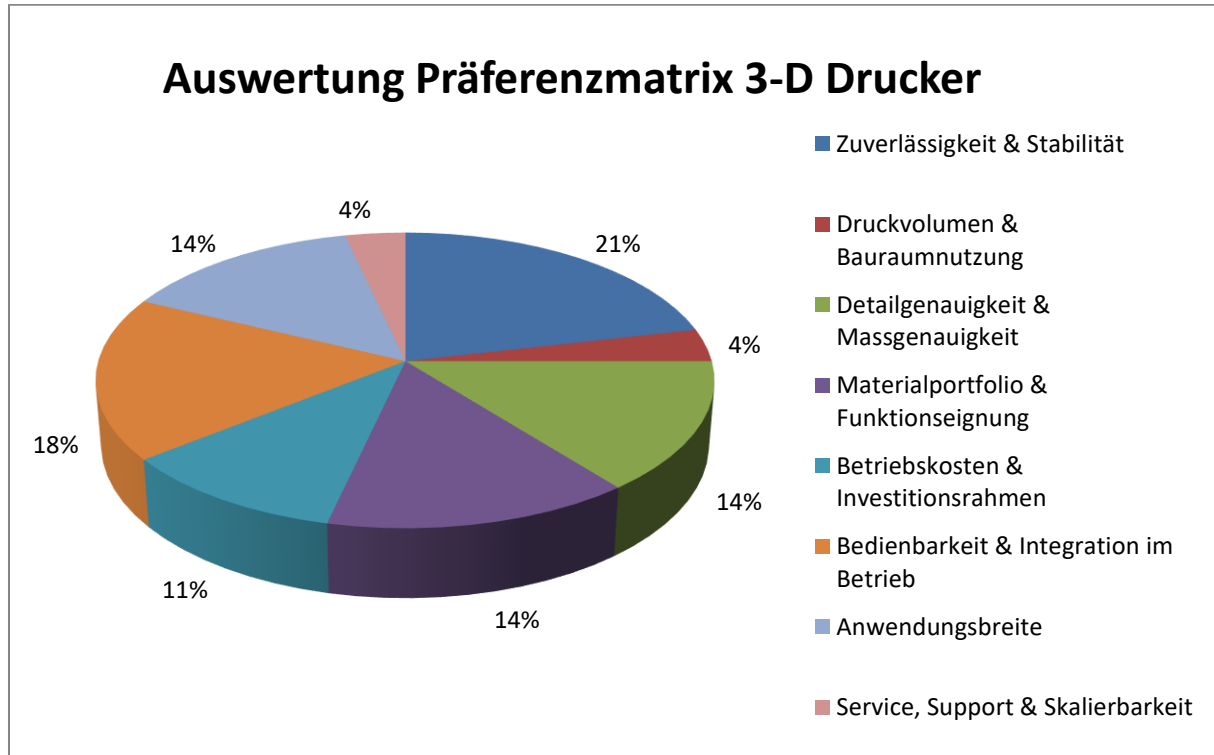


Abbildung 41: Präferenzmatrix Druckermodell

Die Auswertung der Präferenzmatrix zeigt eine differenzierte Gewichtung der Bewertungskriterien für den Modellvergleich. Den höchsten Stellenwert mit 21 % erhält die Zuverlässigkeit & Druckprozess-Stabilität, da der ausgewählte 3D-Drucker möglichst einfach zu bedienen sein, stabile Prozesse gewährleisten und reproduzierbare Ergebnisse liefern soll.

Mit 18 % wurde die Bedienbarkeit & Integration im Betrieb gewichtet, ein zentrales Kriterium, um den Schulungsaufwand gering zu halten, eine reibungslose Softwareanbindung sicherzustellen und die tägliche Nutzung im Fertigungsumfeld effizient zu gestalten.

Drei weitere Kriterien wurden mit je 14 % bewertet, die Detailtreue & Massgenauigkeit, das Materialportfolio & die Funktionseignung sowie die Anwendungsbreite. Diese Aspekte spiegeln die technische Relevanz und Vielseitigkeit der Druckermodelle im praktischen Einsatz bei der Nachbar AG wider.

Die Betriebskosten & der Investitionsrahmen wurden mit 11 % berücksichtigt und stellen sicher, dass auch wirtschaftliche Überlegungen in die Entscheidungsfindung einfließen.

Abschliessend erhielten die Kriterien Druckvolumen & Bauraumnutzung sowie Service, Support & Skalierbarkeit jeweils eine Gewichtung von 4 %. Sie bleiben Bestandteil der Gesamtbewertung, sind jedoch untergeordneter Natur, solange die grundlegenden Anforderungen erfüllt werden.

Diese Gewichtungsverteilung bildete die Grundlage für die anschliessende qualitative Bewertung und die darauf aufbauende Nutzwertanalyse der vier betrachteten Druckermodelle.

7.3.3 Qualitative Bewertung der Druckermodelle

Im Rahmen der qualitativen Bewertung werden die vier analysierten 3D-Druckermodelle systematisch anhand der acht zuvor definierten Hauptkriterien beurteilt. Dabei steht die praktische Eignung der Geräte für die Anforderungen der Nachbur AG im Mittelpunkt. Die Einschätzungen basieren auf technischen Daten, Herstellerangaben, Erfahrungswerten sowie Erkenntnissen aus Gesprächen mit den jeweiligen Anbietern.

Die Bewertung erfolgt auf einer fünfstufigen Skala von 1 bis 5 Punkten:

- 5 Punkte = sehr gut erfüllt
- 3 Punkte = ausreichend erfüllt
- 2 Punkte = eher ungenügend erfüllt
- 1 Punkt = schlecht erfüllt

Die vergebenen Punkte fliessen anschliessend gewichtet in die Nutzwertanalyse ein und bilden damit die Entscheidungsgrundlage für die Auswahl des optimalen 3D-Drucksystems für die Nachbur AG.

Kriterium 1: Zuverlässigkeit & Druckprozess-Stabilität:

Dieses Kriterium bewertet, wie robust und konsistent der Drucker unter realen Produktionsbedingungen läuft. Entscheidende Aspekte sind automatische Kalibrierfunktionen, Sensorik zur Fehlervermeidung, Toleranz gegenüber Materialschwankungen, Fähigkeit zum Dauerbetrieb (24/7), Verstopfungsanfälligkeit, Schutzmechanismen (z. B. bei offenem Gehäuse) sowie Materialführung (z. B. beheizte Trockenkammern).

Modell	Punkte	Begründung
Stratasys F370	5	Die F370 ist ein industriell bewährtes System mit hoher Prozesssicherheit. Sie verfügt über automatische Kalibrierung, ein geschlossenes System mit Filamentüberwachung und arbeitet sehr zuverlässig, selbst bei häufigem Materialwechsel oder längeren Pausen. Das Filament wird in einer passiv temperierten Kammer geführt. Verstopfungen treten kaum auf, auch bei TPU. Ideal für 24/7-Betrieb.
Markforged FX10	4	Der FX10 ist extrem präzise und stabil konstruiert, verfügt über umfassende Sensorik (Lasermikrometer, Temperatursensoren, Bauteilvermessung) und ist grundsätzlich für den Dauerbetrieb ausgelegt. Schwächen zeigt er jedoch bei sehr feinen Schichtdicken (z. B. 0.05 mm), wo es bei längeren Jobs zu Düsenverstopfungen kommen kann, besonders bei nicht ideal gelagerten Filamenten oder schlechter Trocknung. Das System bietet keine aktiv beheizte Trockenkammer wie bei Markforged Metal X.
WASP 4070 HDP	2	Der WASP arbeitet mit Pelletzufuhr, was kostentechnisch ein grosser Vorteil ist, jedoch auf Kosten der Prozessstabilität geht. Das pneumatische Fördersystem ist anfällig gegenüber Feuchtigkeit, Staub oder unregelmässiger Korngrösse. Es fehlt eine automatisierte Düsenreinigung, Kalibrierung erfolgt manuell. Für einfache Bauteile ausreichend, aber nicht für anspruchsvolle Dauerprozesse.
BigRep Studio G2	3	Der Studio G2 ist mechanisch solide aufgebaut und für lange Bauteile ausgelegt. Die Extruder mit Rubin-Düsen sind langlebig, jedoch fehlt eine aktiv beheizte Trockenkammer, Filament wird lediglich gekapselt geführt. Die Nivellierung ist nur halbautomatisch. Das System ist zuverlässig für Standarddrucke, im 24/7-Betrieb aber nicht auf dem Niveau von FX10 oder F370.

Tabelle 30: Qualitative Bewertung Zuverlässigkeit & Druckprozess-Stabilität

Kriterium 2: Druckvolumen & Bauraumnutzung

Hier wird bewertet, wie gross das nutzbare Bauvolumen eines Druckers ist, sowohl absolut (in mm³) als auch relativ zur Stellfläche. Zusätzlich fließen Form und Geometriefreiheit des Bauraums ein (z. B. zylindrisch vs. rechteckig), die Anordnungsmöglichkeiten mehrerer Teile sowie Zugänglichkeit und beheizte Umgebung. Auch die Möglichkeit, grosse Bauteile segmentiert zu drucken und nachträglich zu verbinden, wird berücksichtigt, bleibt aber lösungsabhängig und beeinflusst nicht die Punktevergabe.

Modell	Punkte	Begründung
Stratasys F370	3	355 × 254 × 355 mm – ausreichend für viele Anwendungsfälle. Rechteckiger Bauraum gut nutzbar, beheizt und stabil. Für grössere Vorrichtungen ist eine Segmentierung und spätere Verbindung notwendig.
Markforged FX10	3	375 × 300 × 300 mm – etwas grösser als F370. Rechteckiger Bauraum mit gleichmässiger Temperaturverteilung. Auch hier sind grössere Bauteile nur segmentiert realisierbar.
WASP 4070 HDP	4	Ø400 × 600 mm – grosses Volumen für hohe, rotationssymmetrische oder einzelne massive Teile. Zylindrischer Bauraum schränkt Mehrfachplatzierung etwas ein. Segmentierung grösserer Geometrien bei Bedarf möglich.
BigRep Studio G2	5	1000 × 500 × 500 mm – bietet das mit Abstand grösste Volumen im Vergleich. Ideal für grossflächige Vorrichtungen oder paralleles Drucken. Durch rechteckige Form optimal ausnutzbar.

Tabelle 31: Qualitative Bewertung Druckvolumen & Bauraumnutzung

Kriterium 3: Detailtreue & Massgenauigkeit

Bewertet wird die Fähigkeit des Druckers, feine Details sauber abzubilden sowie Masshaltigkeit und Wiederholgenauigkeit zu liefern. Entscheidend sind dabei neben der Düsengeometrie auch die mechanische Präzision der Achsenführung, die Temperaturkonstanz, der Slicer-Algorithmus und ggf. vorhandene Feedbacksysteme (z. B. Lasersensoren zur Schichtvermessung).

Modell	Punkte	Begründung
Stratasys F370	4	Sehr präzise Mechanik, feine Schichten ab 0.127 mm möglich. Wiederholgenauigkeit dank geschlossenem System und Temperaturführung hervorragend. Unterstützt lösliche Stützstrukturen, was die Masshaltigkeit komplexer Geometrien verbessert. Lasermessung fehlt, aber praxisbewährt.
Markforged FX10	5	Extrem präzise, Schichtdicken bis 0.05 mm möglich. Lasermikrometer zur Echtzeit-Schichtvermessung verbessern die Reproduzierbarkeit erheblich. Besonders geeignet für hochpräzise Vorrichtungen oder Funktionsprototypen. Masshaltigkeit bei > ±0.1 mm zuverlässig erreichbar.
WASP 4070 HDP	2	Druckt mit 1 mm Düse und 0.2–0.5 mm Schichten – ausreichend für robuste Teile, aber nicht für feine Geometrien. Keine Sensorik, keine automatische Kalibrierung. Masshaltigkeit < ±0.3 mm schwierig, insbesondere bei Geometrien mit Stützstrukturbedarf.
BigRep Studio G2	3	Mit 0.6 mm Düse und 0.1–0.5 mm Layern solide. Die Mechanik ist stabil, aber ohne aktives Messsystem. Durch das grosse Bauvolumen steigen thermische Spannungen bei langen Bauteilen, was Toleranzen beeinträchtigen kann. Ausreichend für Vorrichtungen, nicht ideal für feine Funktionsteile.

Tabelle 32: Qualitative Bewertung Detailtreue & Massgenauigkeit

Kriterium 4: Materialportfolio & Funktionseignung

In dieser Kategorie wird bewertet, wie vielfältig und technisch brauchbar das verfügbare Materialspektrum eines Druckers ist, insbesondere im Hinblick auf Funktionsteile, Vorrichtungen, Greiferbacken und Messhilfen. Entscheidend sind:

- Materialauswahl (PLA, PA, TPU, Carbon, ESD etc.)
- Temperaturbeständigkeit und mechanische Eigenschaften
- Verfügbarkeit geprüfter, industrietauglicher Materialien
- Kompatibilität mit funktionellen Anforderungen bei Nachbur (z. B. masshaltig, belastbar, rutschfest, ölbeständig)

Modell	Punkte	Begründung
Stratasys F370	4	Breites Portfolio: ABS, ASA, PLA, TPU, CF10, ESD. Materialeigenschaften sind gut dokumentiert und praxiserprobt. Die Kombination aus löslichem Support und geschlossener Kammer erlaubt stabile Funktionsteile mit guter Masshaltigkeit. Für viele Anwendungen bei Nachbur geeignet.
Markforged FX10	5	Hochwertige technische Kunststoffe (Onyx, Nylon, ESD, Karbonfaserverstärkung). Besonders hervorzuheben: Endlosfaserintegration für extreme Festigkeit, vergleichbar mit Aluminium. Ideal für Werkstückaufnahmen, Montagevorrichtungen oder Greiferbacken. Materialien sind prozesssicher und standardisiert.
WASP 4070 HDP	3	Pelletverarbeitung erlaubt flexible Materialwahl (z. B. recyceltes PLA, ABS, ASA, TPU). Günstig und nachhaltig, jedoch ohne geprüfte, wiederholbare Materialprofile. Keine definierten technischen Daten oder qualifizierte Prozesse. Eher geeignet für einfache Funktionsteile oder Trays, nicht für hochbelastete Komponenten.
BigRep Studio G2	4	Gute Auswahl an Materialien (PLA, PETG, TPU, PA6/66, Pro HT). Temperatur- und chemikalienbeständige Materialien verfügbar, jedoch nicht faserverstärkt. Ideal für grossflächige Vorrichtungen oder Hüllteile, mit Einschränkungen bei Hochleistungsteilen. Materialien gut dokumentiert und in Industrieanwendungen etabliert.

Tabelle 33: Qualitative Bewertung Materialportfolio & Funktionseignung

Kriterium 5: Betriebskosten & Investitionsrahmen

Bewertet wird die wirtschaftliche Gesamtsicht auf den jeweiligen Drucker. Berücksichtigt werden:

- Anschaffungskosten inkl. Zubehör, Support, Schulung
- Materialkosten (Preis pro kg / Liter / Spule / Pellet)
- Verbrauch & Effizienz (z. B. Stützstruktur, Restmaterialien)
- Wartungsaufwand und typische Betriebskosten (z. B. Reinigung, Kalibrierung, Ersatzteile)

Modell	Punkte	Begründung
Stratasys F370	3	Anschaffungskosten mit Zubehör ca. CHF 67'000.-. Materialpreise eher hoch (typisch CHF 200–300/kg), vordefinierte Spulenformate mit löslichem Support führen zu zusätzlichem Verbrauch. Druckqualität rechtfertigt den Preis, aber nicht wirtschaftlich für einfache Bauteile.
Markforged FX10	2	Sehr hohe Anschaffungskosten (CHF 126'000.-) inkl. Softwarelizenz und Schulung. Auch die Materialien (Onyx, Endlosfaser) sind teuer ca. CHF 200–400/kg. Dafür ergibt sich ein hoher funktionaler Nutzen, aber nur dann wirtschaftlich, wenn die Vorteile der Faserverstärkung regelmässig ausgeschöpft werden.
WASP 4070 HDP	5	Anschaffungspreis sehr tief (CHF 23'100.-), Materialkosten extrem günstig: Pellets statt Filament, Ersparnisse von bis zu 90 %. Einfaches System, keine Lizenzkosten, kein Cloud-Login. Besonders wirtschaftlich für einfache, voluminöse Bauteile oder Serienteile ohne hohe Toleranzanforderungen.
BigRep Studio G2	4	Anschaffungskosten im mittleren Bereich (CHF 51'060.-), Materialpreise moderat (~CHF 70–150/kg). Keine Lizenzkosten, keine Zusatzmodule nötig. Wirtschaftlich vor allem bei grossvolumigen Teilen, da Bauraum effizient genutzt wird und wenig Nacharbeit notwendig ist.

Tabelle 34: Qualitative Bewertung Betriebskosten & Investitionsrahmen

Kriterium 6: Bedienbarkeit & Integration im Betrieb

Dieses Kriterium bewertet, wie gut sich der jeweilige 3D-Drucker in den betrieblichen Alltag der Nachbur AG integrieren lässt. Im Zentrum stehen dabei die Benutzerfreundlichkeit der Bedienoberfläche, der Aufwand für Kalibrierung und Wartung, sowie die Softwareunterstützung im täglichen Workflow. Auch die Einarbeitungszeit für Mitarbeitende, der Materialwechsel und die allgemeine Flexibilität im Betrieb fließen in die Bewertung ein. Systeme mit automatisierten Prozessen, klar strukturierter Software und geringen Schulungsanforderungen erhalten höhere Bewertungen.

Modell	Punkte	Begründung
Stratasys F370	5	Intuitive Bedienung über Touchscreen, automatisches Leveling, GrabCAD Print mit CAD-nativer Verarbeitung. Keine spezielle Schulung notwendig. Stützmaterial entfernt sich automatisiert, was Handling enorm vereinfacht. Ideal für mehrere Benutzer im Betrieb.
Markforged FX10	4	Sehr übersichtliche Oberfläche (EIGER), automatische Spulenerkennung und Kalibrierung. Die Cloud-Anbindung ermöglicht Fernüberwachung und zentrale Verwaltung, erfordert jedoch initiale IT-Einbindung. Bedienung erfordert gewisses Grundverständnis, aber sehr stabil.
WASP 4070 HDP	2	Touchscreen vorhanden, aber Bedienlogik weniger intuitiv. Keine automatische Kalibrierung, manuelle Justierung notwendig. Pelletsystem mit Druckluftzufuhr erfordert Erfahrung im Handling und zusätzliche Infrastruktur (Kompressor, Trocknung etc.). Nur für eingearbeitetes Personal empfehlenswert.
BigRep Studio G2	3	Touchscreen vorhanden, halbautomatische Nivellierung über Sensor. Die hausinterne Software BLADE ist solide, aber deutlich simpler als EIGER oder GrabCAD. Bedienung ist praxisnah, aber nicht für ungeschulte Personen ohne Vorerfahrung sofort zugänglich. Kein Remote-Monitoring.

Tabelle 35: Qualitative Bewertung Bedienbarkeit & Integration im Betrieb

Kriterium 7: Anwendungsbreite für Nachbur AG

Die Anwendungsbreite beschreibt, wie flexibel und vielseitig der jeweilige 3D-Drucker im spezifischen Kontext der Nachbur AG eingesetzt werden kann. Je grösser die Bandbreite an nutzbaren Geometrien, Materialien und Funktionalitäten, desto höher die Bewertung. Dabei wird auch berücksichtigt, ob Bauteile mechanisch stabil, masshaltig, chemikalien- und temperaturbeständig sowie montagefähig gefertigt werden können.

Modell	Punkte	Begründung
Stratasys F370	4	Sehr vielseitig einsetzbar für Vorrichtungen, Prototypen, Greifer oder Schutzelemente. Dank löslichem Support sind auch komplexe Geometrien realisierbar. Einschränkungen bestehen bei grossflächigen oder hochbelasteten Bauteilen.
Markforged FX10	5	Ideal für funktionale und stark belastete Bauteile wie Greiferbacken oder Werkstückaufnahmen. Auch präzise Messvorrichtungen lassen sich fertigen. Besonders hervorzuheben ist die Möglichkeit zur Faserverstärkung für hochmechanische Anwendungen.
WASP 4070 HDP	3	Eignet sich gut für einfache, grossvolumige Teile wie Trays, Kacheln oder Gehäuse. Für filigrane, hochbelastete oder masskritische Anwendungen ist der Drucker nur eingeschränkt geeignet.
BigRep Studio G2	4	Bietet durch sein grosses Volumen einen klaren Vorteil bei Vorrichtungen und Gehäusen. Auch Mehrfachaufspannungen und Serienbauteile sind möglich. Für feine Funktionsdetails jedoch nicht optimal, da keine faserverstärkten Materialien verfügbar sind.

Kriterium 8: Service, Support & Skalierbarkeit

Dieses Kriterium beurteilt die Verfügbarkeit und Qualität des technischen Supports in der Schweiz sowie die Skalierbarkeit und Erweiterbarkeit der Systeme. Berücksichtigt werden unter anderem Schulungsangebote, Erreichbarkeit des Vertriebs, Reaktionszeiten bei Störungen, Ersatzteilverfügbarkeit, Garantiebedingungen sowie die Option, das System später funktional zu erweitern, beispielsweise durch zusätzliche Materialien, Lizenzen oder Anbindungen.

Modell	Punkte	Begründung
Stratasys F370	5	Vertrieb und Support durch Alphacam in der Schweiz. Technischer Support ist schnell erreichbar, Ersatzteile sind lagernd verfügbar, und Schulungen sind etabliert. Das System ist weltweit verbreitet und entsprechend gut dokumentiert.
Markforged FX10	5	URMA bietet umfassenden Schweizer Service inkl. Vor-Ort-Unterstützung, jährlicher Kalibrierung und Zugriff auf die Markforged University. Support strukturiert und reaktionsschnell. Skalierbarkeit durch Software-Upgrades und künftige Materialfreigaben gegeben.
WASP 4070 HDP	3	Vertrieb durch CHROMOS Group AG, Support grundsätzlich in der Schweiz verfügbar. Kein standardisierter Schulungsablauf, Service ist eher reaktiv. Ersatzteile werden über das WASP-Zentrallager in Italien organisiert.
BigRep Studio G2	4	Ebenfalls durch CHROMOS betreut. Schulungen sind verfügbar, Support strukturiert, aber nicht so tief integriert wie bei Stratasys oder URMA. Ersatzteilversorgung läuft über BigRep Berlin, Supportqualität abhängig vom Einzelfall.

Tabelle 36: Qualitative Bewertung Service, Support & Skalierbarkeit

Abschluss der qualitativen Bewertung

Die qualitative Bewertung zeigt deutliche Unterschiede zwischen den untersuchten Modellen, sowohl hinsichtlich technischer Leistungsfähigkeit als auch in Bezug auf Wirtschaftlichkeit, Bedienbarkeit und Serviceinfrastruktur. Während der Markforged FX10 durch seine Präzision und Materialperformance überzeugt, punktet der Stratasys F370 insbesondere durch Benutzerfreundlichkeit und Stabilität im Betrieb. Der BigRep Studio G2 bietet klare Vorteile im grossvolumigen Druckbereich, wohingegen der WASP 4070 HDP vor allem durch seine Wirtschaftlichkeit und das grosse Bauvolumen bei einfachen Anwendungen auffällt.

Die Einzelbewertungen machen deutlich, dass kein Modell in allen Kategorien führend ist. Um nun eine objektive Entscheidungsgrundlage zu schaffen, werden die vergebenen Bewertungen mit den zuvor ermittelten Gewichtungsfaktoren aus der Präferenzmatrix kombiniert. Daraus ergibt sich ein gewichteter Gesamtnutzenwert pro System.

7.3.4 Nutzwertanalyse

Auf Basis der qualitativen Bewertung erfolgt im Folgenden die Nutzwertanalyse. Dabei werden die vergebenen Punktwerte je Modell mit den gewichteten Präferenzwerten der acht Hauptkriterien multipliziert.

Die errechneten gewichteten Teilnutzen werden anschliessend aufsummiert und ermöglichen so einen direkten Vergleich der Gesamtnützlichkeit der vier betrachteten Druckermodelle. Das Modell mit dem höchsten Gesamtnutzen stellt die geeignetste Lösung für die Anforderungen der Nachbur AG dar.

Nutzwertanalyse 3-D Druckermodelle		Stratasys F370		Markforged FX10		WASP 4070 HDP		BigRep Studio 2	
		TN	GTN	TN	GTN	TN	GTN	TN	GTN
Zuverlässigkeit & Druckprozess-Stabilität	21	5	105	4	84	2	42	3	63
Druckvolumen & Bauraumnutzung	4	3	12	3	12	4	16	5	20
Detailgenauigkeit & Massgenauigkeit	14	4	56	5	70	2	28	3	42
Materialportfolio & Funktionseignung	14	4	56	5	70	3	42	4	56
Betriebskosten & Investitionsrahmen	11	3	33	2	22	5	55	4	44
Bedienbarkeit & Integration im Betrieb	18	5	90	4	72	2	36	3	54
Anwendungsbreite	14	4	56	5	70	3	42	4	56
Service, Support & Skalierbarkeit	4	5	20	5	20	3	12	4	16
Total			428		420		273		351

Abbildung 42: Nutzwertanalyse 3-D Druckermodelle

Die Nutzwertanalyse zeigt ein sehr enges Ergebnis an der Spitze: Der Stratasys F370 erzielt mit einem Gesamtnutzenwert von 4.28 den höchsten Wert und liegt damit knapp vor dem Markforged FX10, der auf 4.20 kommt. Beide Systeme erfüllen die Anforderungen der Nachbur AG auf hohem Niveau, unterscheiden sich jedoch hinsichtlich Schwerpunkten und Einsatzphilosophie.

- Der Stratasys F370 punktet insbesondere durch seine hohe Prozessstabilität, Benutzerfreundlichkeit und die einfache Integration in bestehende Abläufe. Das System ist sehr robust, benötigt wenig Betreuung und ist für typische Vorrichtungen, Prototypen und Schutzelemente bestens geeignet.
- Der Markforged FX10 überzeugt dagegen vor allem durch seine technischen Möglichkeiten, insbesondere die Endlosfaserverstärkung und die sehr hohe Massgenauigkeit. Für Anwendungen mit besonders hohen mechanischen Anforderungen bietet er einen klaren Vorteil, ist aber in der Anschaffung deutlich teurer und im Betrieb etwas wartungsintensiver.
- Mit einem Gesamtnutzenwert von 3.51 positioniert sich der BigRep Studio G2 im Mittelfeld. Er überzeugt mit seinem aussergewöhnlich grossen Bauvolumen und eignet sich besonders für grossformatige Vorrichtungen oder Trays. Einschränkungen bestehen bei der Masshaltigkeit.
- Der WASP 4070 HDP erreicht einen Gesamtnutzen von 2.73 und liegt damit auf dem letzten Platz. Seine Stärken liegen klar im Kostenbereich und im grossen Bauraum, allerdings zeigen sich Schwächen bei der Prozessstabilität, Detailgenauigkeit und Bedienbarkeit.

Da das Resultat der Nutzwertanalyse an der Spitze sehr knapp ausfällt und sowohl der Stratasys F370 als auch der Markforged FX10 hohe Gesamtnutzenwerte erzielen, wird im nächsten Schritt eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Diese soll aufzeigen, wie stabil die Rangfolge der Modelle gegenüber Veränderungen in der Gewichtung der Bewertungskriterien ist und ob kleine Verschiebungen in der Gewichtung zu einer veränderten Empfehlung führen würden.

7.3.5 Sensitivitätsanalyse

Um die Aussagekraft der Nutzwertanalyse abzusichern, wird im Folgenden eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Ziel ist es, die Stabilität der Rangfolge der Druckermodelle gegenüber Änderungen in den Gewichtungen der Bewertungskriterien zu prüfen. Da insbesondere zwischen dem Stratasys F370 und dem Markforged FX10 ein sehr enges Ergebnis besteht, ist es entscheidend zu verstehen, ob kleinere Gewichtungsänderungen zu einer anderen Gesamtempfehlung führen würden.

Im Rahmen dieser Analyse werden gezielt einzelne Schlüsselkriterien, insbesondere Zuverlässigkeit & Druckprozess-Stabilität sowie Bedienbarkeit & Integration im Betrieb, in ihrer Gewichtung variiert, während die übrigen proportional angepasst werden. Dadurch lassen sich potenzielle Auswirkungen auf das Endergebnis nachvollziehbar aufzeigen.

Wenn das für dich passt, führe ich jetzt zwei Varianten durch:

- **Variante A:** Gewichtung „Zuverlässigkeit & Stabilität“ wird von 21 % → 25 % erhöht
- **Variante B:** Gewichtung „Bedienbarkeit & Integration“ wird von 18 % → 25 % erhöht

Variante A (Zuverlässigkeit & Stabilität 25%):

Sensitivitätsanalyse Variante A		Stratasys F370		Markforged FX10		WASP 4070 HDP		BigRep Studio 2	
		TN	GTN	TN	GTN	TN	GTN	TN	GTN
Zuverlässigkeit & Druckprozess-Stabilität	25	5	125	4	100	2	50	3	75
Druckvolumen & Bauraumnutzung	3.428	3	10.28	3	10.28	4	13.71	5	17.14
Detailgenauigkeit & Massgenauigkeit	13.428	4	53.71	5	67.14	2	26.86	3	40.28
Materialportfolio & Funktionseignung	13.428	4	53.71	5	67.14	3	40.28	4	53.71
Betriebskosten & Investitionsrahmen	10.428	3	31.28	2	20.86	5	52.14	4	41.71
Bedienbarkeit & Integration im Betrieb	17.4286	5	87.14	4	69.71	2	34.86	3	52.29
Anwendungsbreite	13.428	4	53.71	5	67.14	3	40.28	4	53.71
Service, Support & Skalierbarkeit	3.428	5	17.14	5	17.14	3	10.28	4	13.71
Total	99.99		432		419		268		348

Abbildung 43: Sensitivitätsanalyse Variante A

Variante B (Bedienbarkeit & Integration 25%):

Sensitivitätsanalyse Variante B		Stratasys F370		Markforged FX10		WASP 4070 HDP		BigRep Studio 2	
		TN	GTN	TN	GTN	TN	GTN	TN	GTN
Zuverlässigkeit & Druckprozess-Stabilität	22	5	110	4	88	2	44	3	66
Druckvolumen & Bauraumnutzung	5	3	15	3	15	4	20	5	25
Detailgenauigkeit & Massgenauigkeit	15	4	60	5	75	2	30	3	45
Materialportfolio & Funktionseignung	15	4	60	5	75	3	45	4	60
Betriebskosten & Investitionsrahmen	12	3	36	2	24	5	60	4	48
Bedienbarkeit & Integration im Betrieb	25	5	125	4	100	2	50	3	75
Anwendungsbreite	15	4	60	5	75	3	45	4	60
Service, Support & Skalierbarkeit	5	5	25	5	25	3	15	4	20
Total			491		477		309		399

Abbildung 44: Sensitivitätsanalyse Variante B

Fazit der Sensitivitätsanalyse

Die Sensitivitätsanalyse bestätigt die Robustheit der Entscheidung zugunsten des Stratasys F370. In beiden Varianten, sowohl bei einer Erhöhung der Gewichtung des Kriteriums Zuverlässigkeit & Druckprozess-Stabilität (Variante A) als auch bei einer stärkeren Gewichtung der Bedienbarkeit & Integration im Betrieb (Variante B), bleibt der Stratasys F370 jeweils auf dem ersten Platz.

Diese Stabilität zeigt, dass die Entscheidung nicht durch kleine Verschiebungen in der Gewichtung der Kriterien beeinflusst wird, sondern auf einer soliden und ausgewogenen Bewertung basiert. Auch wenn der Markforged FX10 in mehreren technischen Kategorien sehr gut abschneidet, kann der Stratasys F370 durch seine insgesamt hohe Praxistauglichkeit, Benutzerfreundlichkeit und Prozesssicherheit in der Gesamtbetrachtung überzeugen.

Die Empfehlung für den Stratasys F370 wird somit auch unter variierenden Annahmen zur Gewichtung der Bewertungskriterien bestätigt und erscheint aus Sicht der Nachbur AG als die nachhaltigste und verlässlichste Lösung.

7.4 Bewertung und Schlussfolgerung

Die Nutzwertanalyse hat gezeigt, dass die drei untersuchten FDM-Systeme unterschiedliche Schwerpunkte setzen, sich jedoch alle grundsätzlich für den Einsatz bei der Nachbur AG eignen. Während der Markforged FX10 mit höchster mechanischer Belastbarkeit und technischer Raffinesse überzeugt, punktet der BigRep Studio G2 mit aussergewöhnlichem Bauvolumen und Effizienz für grossformatige Anwendungen. Der Stratasys F370 zeigt sich hingegen als ausgewogenstes Gesamtpaket, mit starker Anwendungsbreite, stabiler Prozessführung und unkomplizierter Integration in bestehende Abläufe.

Entscheidend war dabei nicht nur der Summenwert der Nutzwertanalyse, sondern auch die Frage, welches System sich unter realen Bedingungen mit vertretbarem Aufwand betreiben lässt, ohne dabei in kritischen Punkten Kompromisse einzugehen. Gerade im Kontext der geplanten Einsatzbereiche von Vorrichtungen, Messhilfen und funktionalen Prototypen, ist ein robustes gut integrierbares System mit etabliertem Supportnetzwerk einem rein technologischen Vorsprung vorzuziehen.

Die Entscheidung zugunsten des Stratasys F370 ist daher nicht das Ergebnis eines theoretischen Bewertungsrasters allein, sondern das Resultat einer gesamtheitlichen Betrachtung von Bedienbarkeit, Verlässlichkeit, Investitionssicherheit und konkreter Alltagstauglichkeit, ausgerichtet auf die Gegebenheiten und Prioritäten der Nachbur AG.

7.5 Ergebnis der Marktanalyse

Nach der detaillierten Analyse von vier industriellen FDM-Drucksystemen hat sich der Stratasys F370 als die für die Nachbur AG geeignetste Lösung herauskristallisiert. Die Entscheidung basiert nicht auf einem einzelnen Kriterium, sondern auf dem Zusammenspiel mehrerer ausschlaggebender Faktoren, die im Gesamtkontext der Anwendungen, Infrastruktur und operativen Zielsetzungen betrachtet wurden.

Im direkten Vergleich konnte der F370 insbesondere durch folgende Eigenschaften überzeugen:

- Ausgewogene technische Leistungsfähigkeit, insbesondere im Bereich Masshaltigkeit, Wiederholgenauigkeit und Stabilität
- Hohe Benutzerfreundlichkeit mit intuitiver Software (GrabCAD Print), automatischer Kalibrierung und etabliertem Schulungskonzept
- Verlässlicher Support durch den Schweizer Vertriebspartner Alphacam, inklusive Vor-Ort-Service und garantierter Ersatzteilverfügbarkeit
- Breite Materialbasis, darunter auch technische Kunststoffe wie CF-verstärktes ABS oder ESD-Materialien
- Investitionsrahmen, der in Relation zu Funktionalität und Zuverlässigkeit als wirtschaftlich tragfähig beurteilt wird

Auch wenn andere Systeme in Teilbereichen punktuell Vorteile aufweisen, etwa der FX10 bei der mechanischen Festigkeit durch Endlosfaserverstärkung oder der Studio G2 beim Bauvolumen konnte kein anderes Modell die für die Nachbur AG entscheidende Kombination aus Praxisnähe, Stabilität und Integrationstauglichkeit in gleichem Masse erfüllen.

Der Stratasys F370 ist damit nicht zwingend der technologisch anspruchsvollste Drucker in dieser Auswahl, aber derjenige, der in der realen Anwendung unter den gegebenen Rahmenbedingungen am verlässlichsten und effizientesten zum Ziel führt. Genau darin liegt sein entscheidender Vorteil.

Diese Bewertung bildet die Grundlage für die nachfolgende Kosten-Nutzen-Analyse, in der das System auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten betrachtet wird.

7.6 Besuch bei Alphacam – Praktische Erkenntnisse zum F370

Im Rahmen der Evaluierung des Stratasys F370 wurde ein Besuch beim Schweizer Vertriebspartner Alphacam AG in Winterthur durchgeführt. Ziel war es, das System unter praxisnahen Bedingungen zu testen, offene technische und betriebliche Fragen zu klären und ein repräsentatives Bauteil herzustellen. Der Besuch diente dazu, die im Kapitel 8.2.1 beschriebenen Merkmale des Systems mit der tatsächlichen Anwendungserfahrung abzugleichen.

Der Rundgang, die Inbetriebnahme des Slicers GrabCAD sowie die Ausführung eines vollständigen Druckauftrags erfolgten unter fachlicher Begleitung von Herrn Liberato, dem technischen Ansprechpartner bei Alphacam. Neben dem praktischen Arbeiten am System wurden auch Themen wie Materialhandling, Softwareanbindung, Serviceangebot und Betriebserfahrungen anderer Kunden vertieft besprochen.

Der Fokus lag insbesondere auf den Aspekten Druckqualität, Handhabung, Stützmaterial-Entfernung, Wartungsaufwand sowie realen Betriebskosten. Die gewonnenen Erkenntnisse bilden eine zentrale Grundlage für die Bewertung der Alltagstauglichkeit des Systems im Umfeld der Nachbur AG.

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse des Testdrucks, das betriebliche Feedback, die wirtschaftlichen Kennzahlen sowie das Integrationspotenzial systematisch dargestellt. Fotos, Druckparameter und Auswertungen ergänzen die Aussagen, um ein umfassendes Bild des Systems zu ermöglichen.

7.6.1 Testdruck und Druckparameter

Im Rahmen des Besuchs wurde ein für die Nachbur AG relevantes Versuchsteil gefertigt. Der Druck erfolgte in zwei Segmenten mit einer Gesamtdruckzeit von 42 Stunden. Das erste Segment benötigte 28.5 Stunden, das zweite 13.5 Stunden. Gedruckt wurde mit einer Schichtdicke von 0.127 mm, was sich in einer bemerkenswert gleichmässigen Oberfläche und einer aussergewöhnlichen Ebenheit widerspiegelte. Bereits die erste Sichtprüfung des Bauteils zeigte, dass keine zusätzliche Bearbeitung wie Fräsen erforderlich war, ein wesentliches Qualitätsmerkmal in Hinblick auf Präzision und Zeitersparnis.

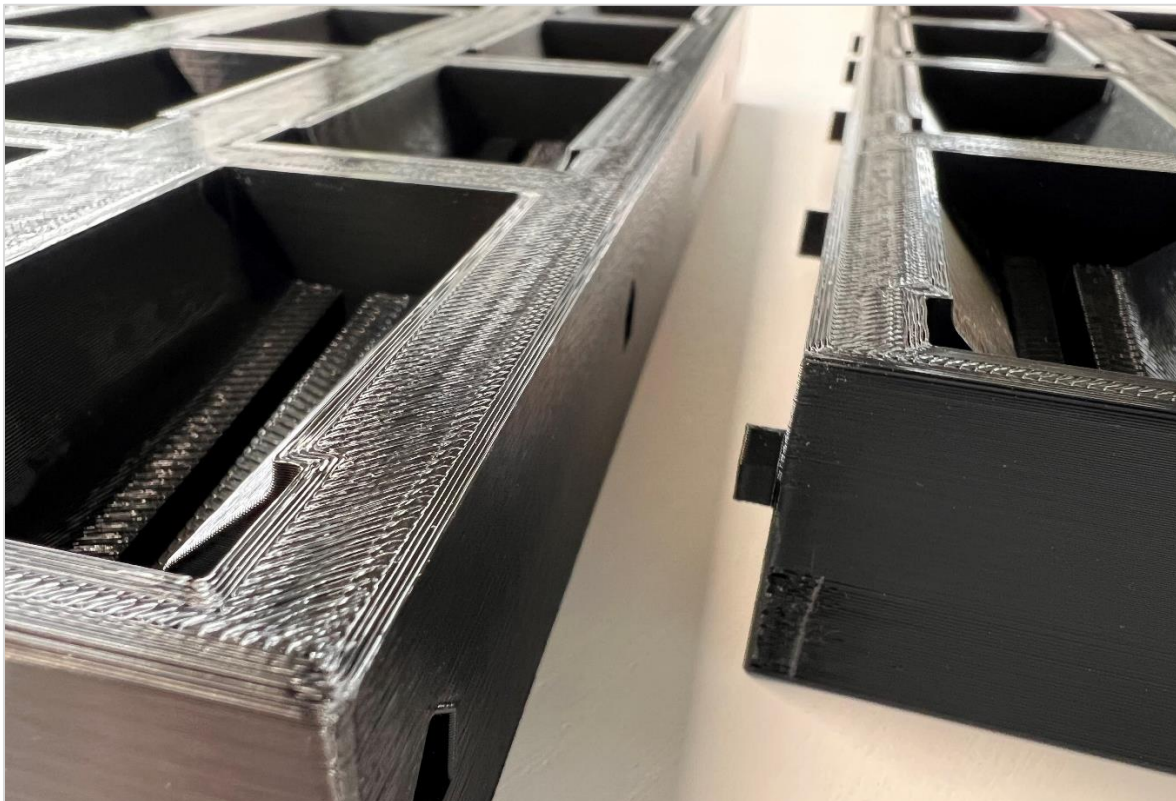


Abbildung 45: Steckberbindung Testdruck F370

Das Teil wurde mit einer Boden- und Deckstärke von jeweils 2.5 mm gedruckt, um eine eventuelle Nachbearbeitung zu ermöglichen. Das Innenvolumen war durch eine Wabenstruktur gefüllt, welche eine hohe Steifigkeit bei gleichzeitig reduziertem Materialeinsatz gewährleistet. Die Materialkosten für beide Segmente beliefen sich auf insgesamt CHF 234.–, inklusive Trägermaterial.

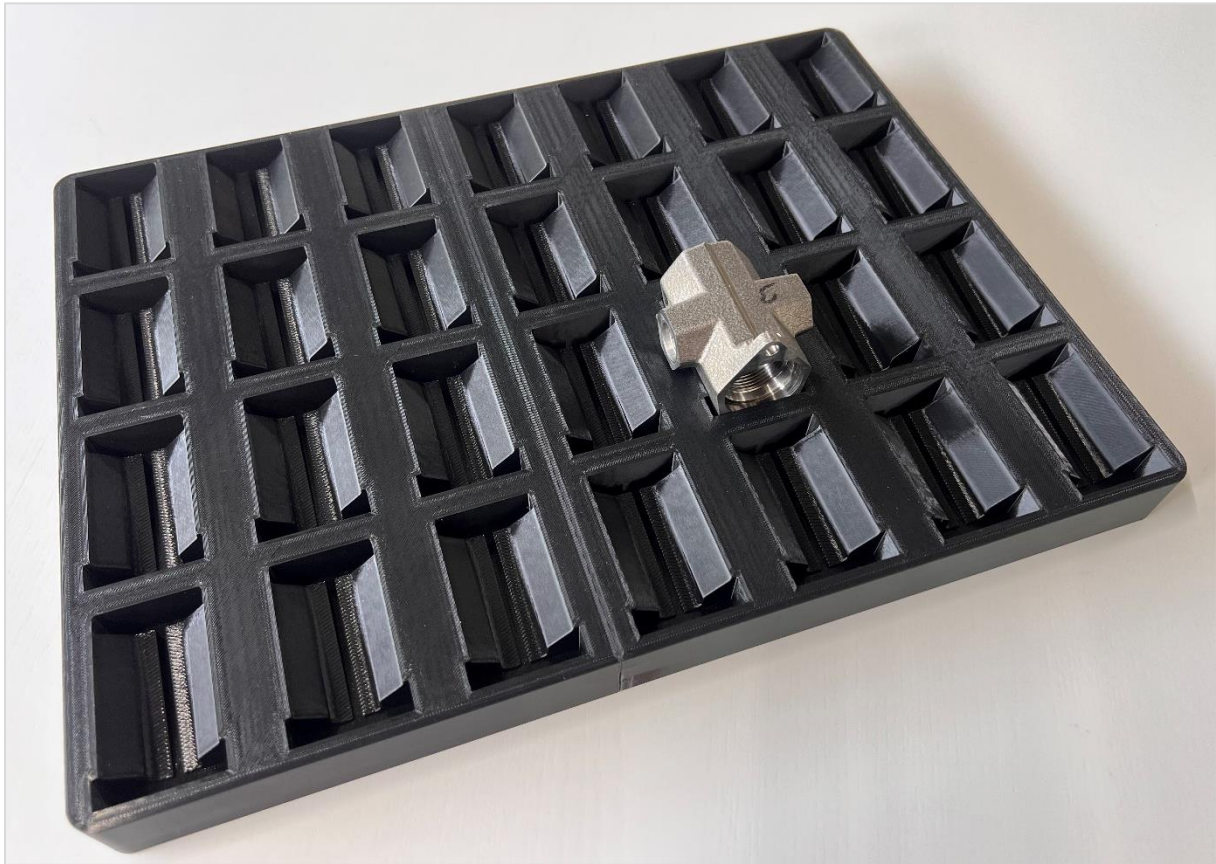


Abbildung 46: Testdruckteil Laser-Tray Actuator-Housing

Die Bedienung der Software GrabCAD Print war intuitiv. Die Platzierung der Schnitte, die Wahl der Ausrichtung sowie die Simulation der Druckzeit konnten direkt vor Ort durchgeführt werden. Auch die Auswirkungen unterschiedlicher Schichtdicken und Füllstrukturen auf Druckzeit und Stabilität wurden exemplarisch demonstriert. Die Möglichkeit, durch Anpassung der Wandstärken und Schichtdicke künftig Druckzeit und Materialkosten weiter zu optimieren, ist gegeben: Erste Einschätzungen zeigen, dass bei gleichbleibender Masshaltigkeit die Schichtdicke verdoppelt und die Deck- und Bodenstärke um je 1 mm reduziert werden könnten. Diese Massnahmen würden die Druckzeit um ca. 50% reduzieren.

7.6.2 Betrieb & Handhabung

Der Stratasys F370 präsentierte sich im praktischen Betrieb als durchdachtes und anwenderfreundliches System. Besonders auffällig war die klare Strukturierung des Bedienkonzepts: Das Gerät verfügt über vier Materialschubladen, wodurch ein unterbrechungsfreier Druck auch bei wechselnden Materialien ermöglicht wird. Der Materialwechsel selbst, etwa beim Tausch einer ABS-Kartusche, dauerte nur zwei bis drei Minuten. Das System erkennt automatisch, welches Filament geladen ist, und passt die Prozessführung entsprechend an.

Stratasys F370 Materialschublade



Abbildung 47: Stratasys F370 Materialschublade

ABS-Filamentkartusche



Abbildung 48: ABS-Filamentkartusche

Die grösste Herausforderung im Betrieb stellt gemäss Herrn Liberato das Materialhandling dar. Hauptursache für Druckfehler ist nicht etwa ein mechanisches Problem, sondern feuchtes Filament. Alphacam empfiehlt deshalb, angebrochene Rollen nach jedem Einsatz wieder in die Originalverpackung zurückzuführen oder mit einem Trocknungsgerät (z. B. Dörrex, ca. CHF 150.–) zu entfeuchten. Offene Rollen, die über zwei Tage ungeschützt lagern, können bereits spürbare Qualitätseinbussen verursachen.



Abbildung 49: Originalverpackung Filamentkartusche

Das GrabCAD Print System von Stratasys reagiert empfindlich auf ungenaue Abstimmungen zwischen Schichtdicke und Bauteilgeometrie. Insbesondere bei Höhenmassen oder sehr dünnwandigen Bauteilen kann es zu Toleranzabweichungen in Z-Richtung kommen. Ursache dafür ist die feste Schichtdicke: Ist die Gesamthöhe eines Bauteils nicht exakt durch die gewählte Schichtdicke teilbar, wird die letzte Schicht dennoch vollständig aufgetragen, auch wenn der verbleibende Höhenunterschied deutlich kleiner ist.

Ein Beispiel: Bei einer definierten Schichtdicke von 0.127 mm und einem verbleibenden Restmass von 0.05 mm wird dennoch eine komplette Schicht aufgetragen. Das führt zu einer Überhöhung von 0.077 mm gegenüber der Sollhöhe.

Solche Effekte lassen sich vermeiden, wenn Bauteile im CAD-System entsprechend angepasst und vor dem Druck in GrabCAD Print simuliert und geprüft werden. Alphacam empfiehlt, konsequent mit STEP-Dateien mit geschlossenen Konturen zu arbeiten und komplexe Geometrien frühzeitig im Slicer zu analysieren, um kritische Übergänge und Massungenauigkeiten zu erkennen und anzupassen.

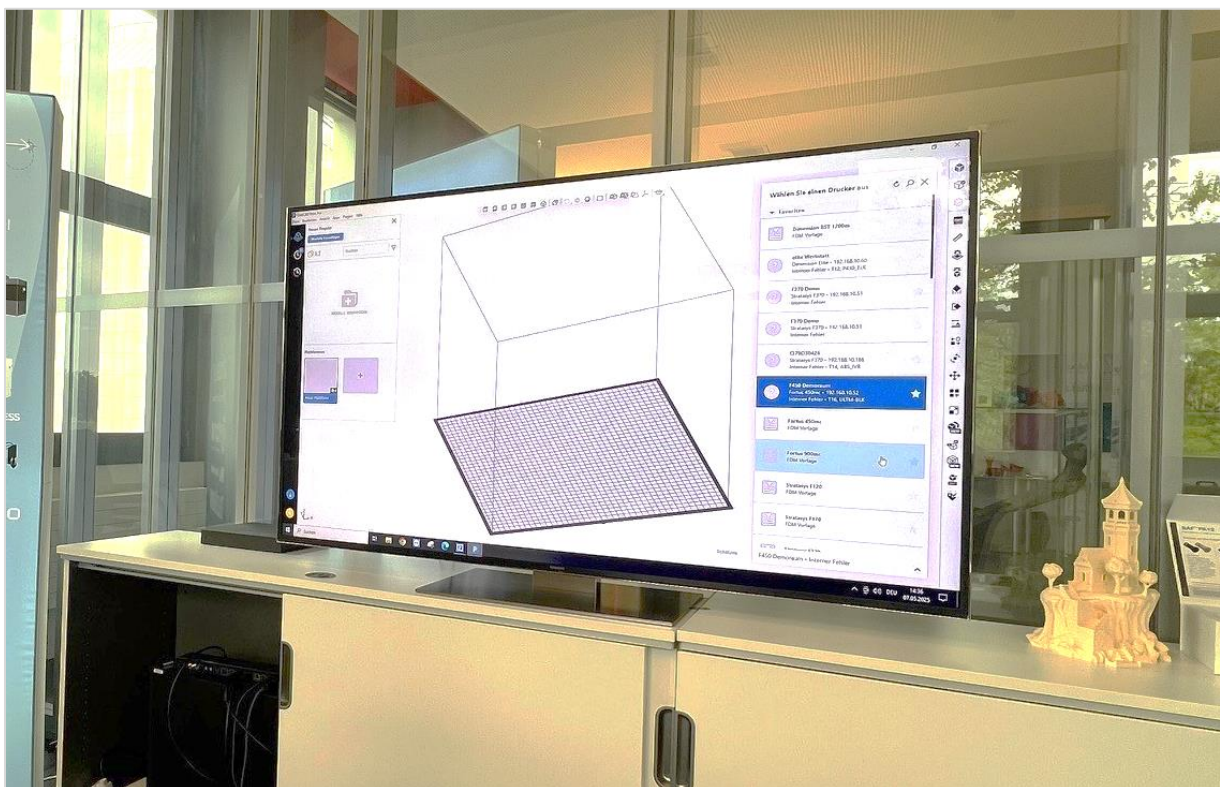


Abbildung 50: GrabCAD Software

Bezüglich der Entfernung der Stützstruktur zeigte sich das separat erhältliche Reinigungsgerät als zuverlässig, allerdings zeitintensiv. Kritisch sind Sacklöcher, in denen sich das wasserlösliche Trägermaterial unter Umständen nicht vollständig auflöst. Eine saubere Geometrieplanung sowie eine durchdachte Orientierung des Bauteils auf der Bauplattform helfen, solche Problemzonen zu vermeiden. Erfreulich ist, dass der Drucker bei Flächen mit einem Neigungswinkel von über 45° automatisch auf Stützstrukturen verzichtet.

Der F370 ist gemäss Alphacam für den Dauerbetrieb im industriellen Umfeld konzipiert. Viele Kunden setzen das System im 3-Schicht-Betrieb ein. Entsprechend robust ist die Mechanik ausgelegt. Die Druckköpfe weisen eine durchschnittliche Lebensdauer von rund 1'500 Stunden auf. Im Wartungsvertrag sind sämtliche Ersatzteile, mit Ausnahme von Düsen und Verbrauchsmaterial enthalten.

7.6.3 Service, Schulung & Integration

Ein zentrales Thema im Gespräch mit Herrn Liberato war die Verfügbarkeit von Supportleistungen sowie die Möglichkeit, den Drucker schrittweise und risikolos in den Betrieb zu integrieren. Alphacam bietet hierzu ein sogenanntes „Try & Buy“-Modell an. Dabei wird der Stratasys F370 für eine definierte Testphase bei der Nachbur AG installiert. Während dieser Zeit fallen lediglich die Materialkosten und ein Maschinenstundensatz an. Der Transport, die Inbetriebnahme sowie eine erste Instruktion sind inbegriffen. Dieses Modell erlaubt es, das System ohne Investitionsrisiko im realen Einsatz zu testen und auf dieser Basis eine fundierte Entscheidung zu treffen.

Stratasys F370

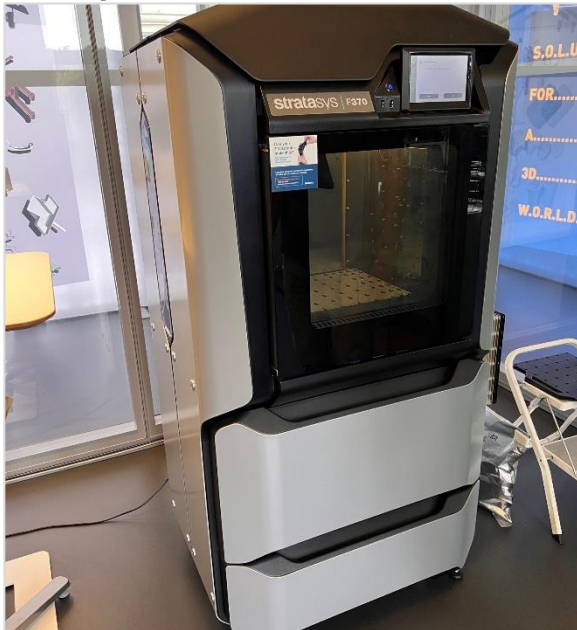


Abbildung 51: Stratasys F370

Beheizte Druckkammer



Abbildung 52: Stratasys F370 Druckkammer

Die Serviceverfügbarkeit in der Schweiz ist gut. Bei technischen Problemen bietet Alphacam Fernzugriff, telefonischen Support und bei Bedarf einen Vor-Ort-Einsatz an. Ist eine schnelle Reparatur nicht möglich, wird der Druck extern im Alphacam Applikationszentrum gefertigt, sodass Engpässe überbrückt werden können. Ersatzteile, die nicht in der Schweiz gelagert sind, treffen in der Regel innerhalb von 3–5 Arbeitstagen ein.

Für den dauerhaften Betrieb wird ein jährlicher Wartungsvertrag empfohlen. Dieser kostet rund CHF 4'000.– pro Jahr und umfasst sämtliche Wartungsarbeiten, Updates sowie einen präventiven Systemcheck. Nicht enthalten sind Düsen und Verbrauchsmaterialien. Gemäss Alphacam handelt es sich dabei jedoch um verschleissarme Komponenten, die Bauplattformen können bis zu 20 Druckzyklen verwendet werden und die Düsen kosten rund CHF 150.– pro Stück. Die Bauplattformen kosten CHF 200.– pro 20 Stück.

Die Schulung erfolgt zweistufig, direkt nach der Inbetriebnahme findet ein Schultag vor Ort statt, bei dem die Handhabung der Maschine, der Materialwechsel und der Basisbetrieb vermittelt werden. Anschliessend erfolgt eine separate Schulung zur Softwarebedienung mit GrabCAD Print. Die Teilnehmerzahl ist nicht limitiert, es können alle betroffenen Personen gleichzeitig eingearbeitet werden.

Aus Sicht der Nachbur AG ist die Integration des Systems sowohl technisch als auch organisatorisch realistisch. Der Lieferant bietet ein vollständiges Servicepaket mit schneller Verfügbarkeit, eine etablierte Schulungsstruktur und die Möglichkeit, ohne Investitionsdruck eine praxisbasierte Entscheidung zu treffen.

7.6.4 Gesamteinschätzung & Relevanz für die Nachbur AG

Der Besuch bei Alphacam und die praktische Arbeit mit dem Stratasys F370 lieferten wertvolle Einblicke in die tatsächliche Leistungsfähigkeit und Alltagstauglichkeit des Systems. Besonders überzeugend war die hohe Masshaltigkeit und Ebenheit des Testbauteils direkt ab Druck, wodurch in vielen Fällen auf eine mechanische Nachbearbeitung verzichtet werden kann. Dies entspricht exakt den Anforderungen, wie sie für Vorrichtungen und Montagehilfen bei der Nachbur AG bestehen.

Auch die Handhabung der Maschine, insbesondere der schnelle Materialwechsel, die übersichtliche Softwareführung sowie die modulare Schulungsstruktur, sprechen für eine einfache Integration in den Betriebsalltag. Der Drucker ist für den industriellen Dauerbetrieb ausgelegt, wobei typische Wartungsmassnahmen mit vertretbarem Aufwand planbar sind. Kritische Punkte wie die Empfindlichkeit gegenüber feuchtem Filament oder die Reaktion auf nicht optimal abgestimmte Schichtdicken lassen sich mit einfachen organisatorischen Massnahmen vermeiden.

Die im Gespräch vorgestellte Try & Buy-Option bietet der Nachbur AG die Möglichkeit, den Drucker real zu erproben, ohne sofort eine Investitionsentscheidung treffen zu müssen. Diese Vorgehensweise reduziert das Risiko und erhöht die Akzeptanz bei den zukünftigen Anwendern.

Insgesamt stärkt der Besuch die bisher in Kapitel 8.2.1 dargelegte Einschätzung des Stratasys F370. Der Drucker erfüllt die technischen, wirtschaftlichen und organisatorischen Anforderungen der Nachbur AG in hohem Masse. Die gewonnenen Praxisdaten und der direkte Austausch mit dem Lieferanten schaffen eine fundierte Grundlage für die bevorstehende Investitionsentscheidung.

8 Kosten-Nutzen-Analyse

Nach der technischen und betrieblichen Bewertung folgt nun eine fundierte wirtschaftliche Betrachtung. Ziel ist es, aufzuzeigen, ob sich die Investition in den Stratasys F370 unter realistischen Annahmen innerhalb eines vertretbaren Zeitrahmens für die Nachbur AG amortisiert.

8.1 Methodik der Analyse (z. B. ROI, TCO)

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit wurde eine Kombination aus Total Cost of Ownership (TCO) und Return on Investment (ROI) angewendet. Die Analyse berücksichtigt sowohl einmalige Investitionen als auch laufende Betriebskosten über einen Betrachtungszeitraum von drei Jahren.

Die Total Cost of Ownership umfasst dabei:

- Anschaffungskosten inkl. Zubehör, Software und Schulung
- Transport und Installation
- Betriebskosten (Material, Energie, Wartung)
- Schulungskosten und interner Zeitaufwand

Dem gegenübergestellt werden:

- Einsparungen durch Wegfall externer Prototypenbestellungen
- Reduktion interner Bearbeitungszeiten (Fräsen, Montage)
- Prozessvorteile durch schnellere Verfügbarkeit, reduzierte Stillstände und erhöhte Flexibilität

Alle Annahmen basieren auf realen Ist-Daten, Erfahrungswerten aus internen Projekten und konservativ geschätzten Werten aus der Marktrecherche.

8.2 Kostenstruktur (Investitions-, Betriebs- und Wartungskosten)

Die Gesamtkosten für den Einsatz des Stratasys F370 setzen sich aus der einmaligen Investition, den laufenden Betriebskosten sowie der Wartung über einen Zeitraum von drei Jahren zusammen. Grundlage der Kalkulation bilden die realen Erfahrungswerte aus dem Alphacam-Besuch.

Einmalige Kosten:

Position	Beschreibung	Betrag (CHF)
Anschaffung	Drucker F370 inkl. Zubehör, GrabCAD, Schulung, UQ20-Auswaschanlage	67'080.-

Tabelle 37: Einmalige Kosten

Laufende Betriebskosten:

Auf Basis des durchgeführten Testdrucks ergeben sich bei einer praxisnahen Nutzung folgende Materialkosten. Für die Kalkulation wurde ein Verbrauch von durchschnittlich 5 kg/Monat angenommen (Filament inkl. Stützmaterial), was den Erfahrungswerten von typischen Schweizer Kunden entspricht. Der real gemessene Materialpreis pro kg (aufgrund CHF 234.- für zwei Bauteile mit ca. 1 kg Materialeinsatz) liegt bei durchschnittlich CHF 230.-/kg.

Position	Beschreibung	Betrag (CHF)
Materialverbrauch	5 kg/Monat x 12 Monate x 230.-	13'800.-/Jahr
Betriebskosten	Materialkosten gesamt	41'400.-

Tabelle 38: Laufende Betriebskosten

Wartungskosten:

Die jährliche Wartung ab dem zweiten Betriebsjahr beläuft sich auf rund CHF 2'000.-, ergibt über den Zeitraum:

Position	Beschreibung	Betrag (CHF)
Wartungskosten	Wartungsvertrag CHF 4'000.-/Jahr x 3 Jahre	12'000.-

Tabelle 39: Wartungskosten

Gesamtkosten über 3 Jahre (TCO):

Position	Betrag (CHF)
Investition (einmalig)	67'080.-
Betriebskosten über 3 Jahre	41'400.-
Wartungskosten (ab Jahr 2)	12'000.-
Total Cost of Ownership	120'480.-

Tabelle 40: Gesamtkosten über 3 Jahre

8.3 Nutzenanalyse Kosteneinsparung

Die wirtschaftliche Bewertung des Stratasys F370 erfolgt nicht allein auf Basis seiner Anschaffungskosten, sondern insbesondere im Hinblick auf die langfristigen Einsparpotenziale und Effizienzgewinne, die sich durch den Einsatz im betrieblichen Alltag ergeben. Dabei werden sowohl quantifizierbare monetäre Effekte als auch qualitative Verbesserungen berücksichtigt, die sich mittelbar auf Produktivität, Flexibilität und Prozesssicherheit auswirken.

Reduktion externer Fertigungskosten:

Früher wurden individuelle Laserschablonen, Halterungen oder Greiferbacken extern additiv gefertigt oder intern konventionell hergestellt. Die externen Druckkosten lagen bei rund CHF 1'200.– pro Tray. Durch den internen 3D-Druck reduzieren sich die Materialkosten pro Tray auf CHF 230.–, womit eine

$30 \text{ Trays} \times \text{CHF } 970.- = \text{CHF } 29'100.- \text{ pro Jahr}$

Die tatsächliche Anzahl könnte je nach Ausbaugrad und Modellwechseln in Zukunft noch deutlich steigen.

Zeitersparnis bei Vorrichtungen & Prototypen:

Für Vorrichtungen, Messhilfen oder Halterungen, die bislang gefräst wurden, kann durch den 3D-Druck eine erhebliche Entlastung der Maschinenkapazitäten erreicht werden. Ein typisches Frästeil verursachte bis zu 3 Stunden Rüst- und Bearbeitungszeit, zzgl. interner Ressourcen für Datenaufbereitung. Beim Wechsel auf additive Fertigung ergibt sich eine potenzielle Zeitersparnis von:

$3 \text{ Teile pro Monat} \times 3 \text{ Stunden} \times \text{CHF } 120.-/\text{h} = \text{CHF } 12'960.- \text{ pro Jahr}$

Hinzu kommt, dass keine Kapazitäten auf Fertigungsanlagen gebunden werden, die Produktion erfolgt unabhängig und ohne Kollision mit Serienaufträgen.

Vermeidung von Produktionsverzögerungen:

Fehlende oder beschädigte Vorrichtungen führten in der Vergangenheit immer wieder zu verzögerten Messprozessen oder Stopps in der Vormontage, was sich direkt auf die Liefertermine auswirkte. Mit einem eigenen 3D-Drucksystem lassen sich solche Engpässe kurzfristig überbrücken, innert Stunden kann eine Ersatzlösung bereitgestellt werden. Der Nutzen zeigt sich in Form vermeidbarer Stillstände:

$5 \text{ Ausfalltage} \times \text{CHF } 1000.-/\text{Tag} = \text{CHF } 5'000.- \text{ p.a. vermeidbare Kosten}$

Schnellere Iterationen & höhere Entwicklungsdynamik:

Durch den Wegfall von Wartezeiten bei externen Bestellungen oder interner Maschinenverfügbarkeit können Konstrukteure und AVOR-Mitarbeitende Änderungen an Vorrichtungen oder Prototypen sofort umsetzen. Dies fördert nicht nur eine höhere Flexibilität im laufenden Betrieb, sondern ermöglicht auch schnellere Produktentwicklungszyklen.

Der ROI ist hier indirekt, zeigt sich aber klar in Form kürzerer Time-to-Market, besserer Ideen-Umsetzung und höherer Eigenständigkeit bei Sonderlösungen.

Interner Know-how-Aufbau & Unabhängigkeit:

Mit der Einführung eines eigenen industriellen Drucksystems wird auch ein wertvoller Kompetenzzuwachs geschaffen. Mitarbeitende bauen spezifisches Know-how im Bereich Additive Fertigung auf, die Organisation wird unabhängiger von Lieferanten und kann flexibler auf kurzfristige Anforderungen reagieren.

8.4 Entscheidungsfindung und wirtschaftliche Bewertung

8.4.1 Jährliche Kosten-Einsparung

Die nachfolgende Übersicht fasst die jährlich erzielbaren Einsparungen zusammen, die sich durch den Einsatz des Stratasys F370 im operativen Alltag der Nachbar AG ergeben. Sie bildet die Grundlage für die Berechnung des Return on Investment.

Nutzenkategorie	Einsparung pro Jahr (CHF)
Reduktion externer Fertigungen	29'100.-
Zeitersparnis durch Wegfall Fräsen	12'960.-
Vermeidung von Maschinenstillstand	5'000.-
Summe Einsparungen	47'060.-
Abzüglich Betriebskosten	-13'800.-
Abzüglich Wartungskosten	-4000.-
Nettonutzen pro Jahr	29'260.-
ROI (%)	43.6%

Tabelle 41: ROI-Modell Stratasys F370

8.4.2 Break-Even-Analyse

Die folgende Tabelle zeigt, ab welchem Zeitpunkt die kumulierten Einsparungen die Investitionskosten übersteigen. Damit wird ersichtlich, in welchem Jahr sich die Anschaffung des Systems amortisiert.

Jahr	Kumulativer Nutzen	Investition	Saldo
0	0	67'080.-	-67'080.-
1	29'260.-	67'080.-	-37'820.-
2	58'520.-	67'080.-	-8'560.-
3	87'780.-	67'080.-	20'700.-
4	117'040.-	67'080.-	49'960.-
5	146'300.-	67'080.-	79'220.-
6	175'560.-	67'080.-	108'480.-

Tabelle 42: Break-Even-Analyse

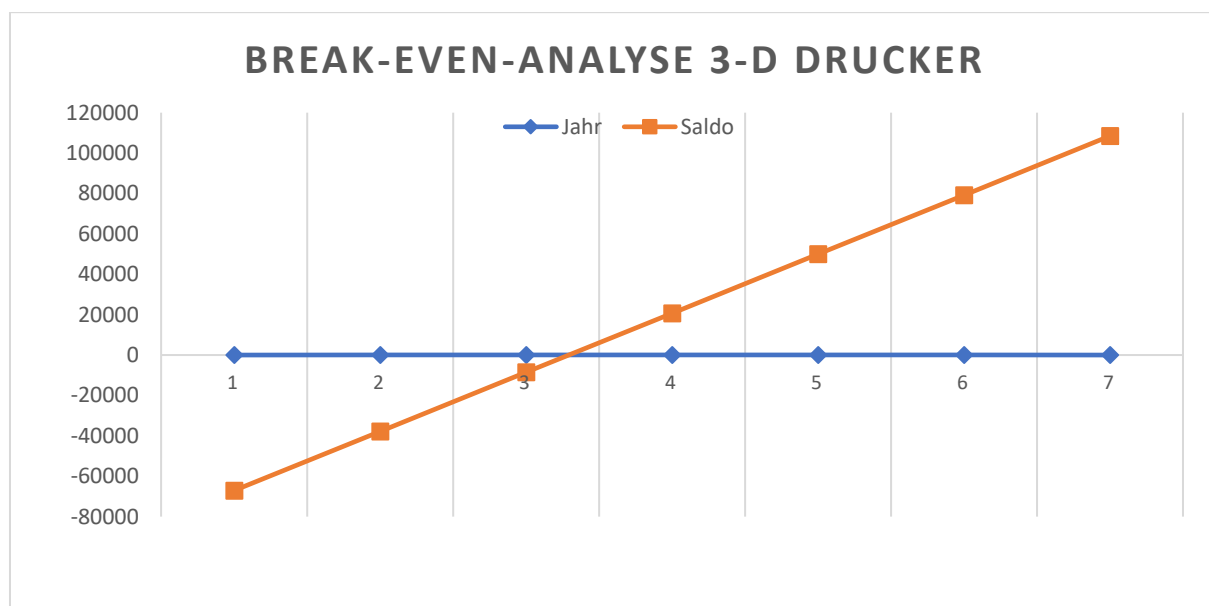


Abbildung 53: Brake-Even-Analyse Grafisch

8.5 Fazit Kosten-Nutzen-Betrachtung

Die wirtschaftliche Betrachtung belegt, dass sich die Investition in den Stratasys F370 bereits nach rund drei Jahren amortisiert, bei konservativ gerechneten Einsparungen und ohne Berücksichtigung potenzieller Skaleneffekte. Die direkten Vorteile ergeben sich vor allem durch die Reduktion externer Fertigungskosten, die Entlastung interner Ressourcen und die Beschleunigung operativer Abläufe.

Noch weitreichender ist jedoch der Nutzen, der sich nicht in Zahlen ausdrücken lässt: Der Zugriff auf einen industriellen 3D-Drucker eröffnet völlig neue Wege im betrieblichen Denken und Handeln. Probleme wie defekte Vorrichtungen, fehlende Halterungen oder temporäre Hilfsmittel lassen sich künftig eigenständig, unmittelbar und flexibel lösen, ohne Wartezeiten, ohne Abhängigkeit und ohne Umwege über externe Partner.

Diese Fähigkeit, im eigenen Haus schnell auf Anforderungen zu reagieren, fördert nicht nur die Innovationsgeschwindigkeit, sondern auch die Eigenverantwortung und Lösungskompetenz der Mitarbeitenden. Schon die Art, wie Probleme angegangen werden, verändert sich durch die Verfügbarkeit einer solchen Technologie grundlegend, von passivem Reagieren zu aktivem Umsetzen.

Der Stratasys F370 schafft somit nicht nur messbaren wirtschaftlichen Mehrwert, sondern auch einen strategischen Handlungsspielraum, der in der heutigen Fertigungswelt zunehmend erfolgsentscheidend ist.

9 Variantenfindung und Lösungsweg

Im Rahmen der Projektanalyse wurden verschiedene Lösungsansätze geprüft, um die additive Fertigung bei der Nachbur AG wirtschaftlich und funktional sinnvoll zu integrieren. Neben der Option, weiterhin auf externe Dienstleister zurückzugreifen, wurden sowohl kostengünstige Desktop-Systeme als auch industrielle 3D-Drucklösungen verschiedener Hersteller in Betracht gezogen.

9.1 Identifikation potenzieller Lösungen

Die Identifikation potenzieller Lösungswege erfolgte nicht isoliert, sondern eingebettet in den übergeordneten Projektkontext und entlang des strukturierten Vorgehens gemäss dem Wirtschaftlichkeitsanalyse-Anforderungs-Prozess (WAP). Im Zentrum stand die Fragestellung, wie sich bei der Nachbur AG künftig Vorrichtungen, Prototypen und spezielle Bauteilträger, insbesondere im Kontext der neuen Laseranlage, wirtschaftlich und flexibel herstellen lassen.

Ausgangspunkt war die Problemerkennung in der Projektinitialisierungsphase:

- Hohe Kosten für externe 3D-Druckteile (z. B. Einlegetrays mit Stückpreisen von bis zu CHF 1'000.–)
- Maschinenbelegung durch einfache Hilfsmittel wie Messvorrichtungen
- lange Durchlaufzeiten und fehlende Iterationsmöglichkeit

Vor diesem Hintergrund wurden in mehreren Schritten potenzielle Lösungsansätze erarbeitet:

- **Status quo fortführen:** Alle benötigten Vorrichtungen und Sonderbauteile weiterhin extern fertigen lassen (als Vergleichsbasis).
- **Einstieg mit kostengünstigem Desktop-Drucker:** Einstiegslösungen mit kleinem Bauraum, aber begrenzter Präzision und Prozesssicherheit.
- **Industrielle 3-D Druck-Systeme evaluieren:** Fokus auf Systeme mit robuster Mechanik, kontrollierter Materialführung und Supportstrukturen in der Schweiz.
- **Alternative Grossraum- und Granulatsysteme prüfen:** BigRep Studio G2 (FDM mit grossem Bauraum) und WASP 4070 HDP (Pelletdruck mit wirtschaftlichen Vorteilen).

Diese Varianten wurden nicht nur auf technischer Ebene gesammelt, sondern gezielt im Hinblick auf ihre praktische Anwendbarkeit in den bestehenden betrieblichen Strukturen geprüft. Wichtige Aspekte dabei waren:

- Integration in bestehende CAD-/CAM-Prozesse (Autodesk Inventor)
- Kompatibilität mit betrieblichen Anforderungen aus AVOR, Montage und Qualitätssicherung
- Verfügbarkeit von technischem Support in der Schweiz
- Schulungs- und Wartungsaufwand im realen Betrieb

Die Variantenfindung war somit nicht nur ein Marktvergleich, sondern ein systematischer Abgleich zwischen realem Bedarf, operativen Rahmenbedingungen und dem verfügbaren Lösungsangebot.

9.2 Bewertung der Varianten (Metriken und Kriterien)

Die Bewertung der identifizierten Varianten erfolgte anhand zentraler Kriterien, die sich aus den betrieblichen Anforderungen und dem angestrebten Einsatzspektrum bei der Nachbur AG ableiten. Die Kriterien wurden bewusst so gewählt, dass sie sowohl technische als auch organisatorische Aspekte berücksichtigen:

- Investitionskosten
- Prozesssicherheit
- Support & Wartung (Verfügbarkeit in der Schweiz)
- Materialvielfalt und Anwendungsbreite
- Integrationstiefe in bestehende Prozesse und Strukturen

Jede Variante wurde auf einer Skala von 0 bis 5 bewertet, wobei 5 den optimalen Erfüllungsgrad darstellt. Die Bewertungen basieren auf technischen Daten, Erfahrungswerten aus Lieferantengesprächen, Demovorführungen sowie internen Einschätzungen aus AVOR und Fertigung.

Die folgende Abbildung zeigt die Bewertungsmatrix in Form einer Heatmap. Sie macht auf einen Blick deutlich, in welchen Bereichen die jeweiligen Systeme ihre Stärken und Schwächen haben.

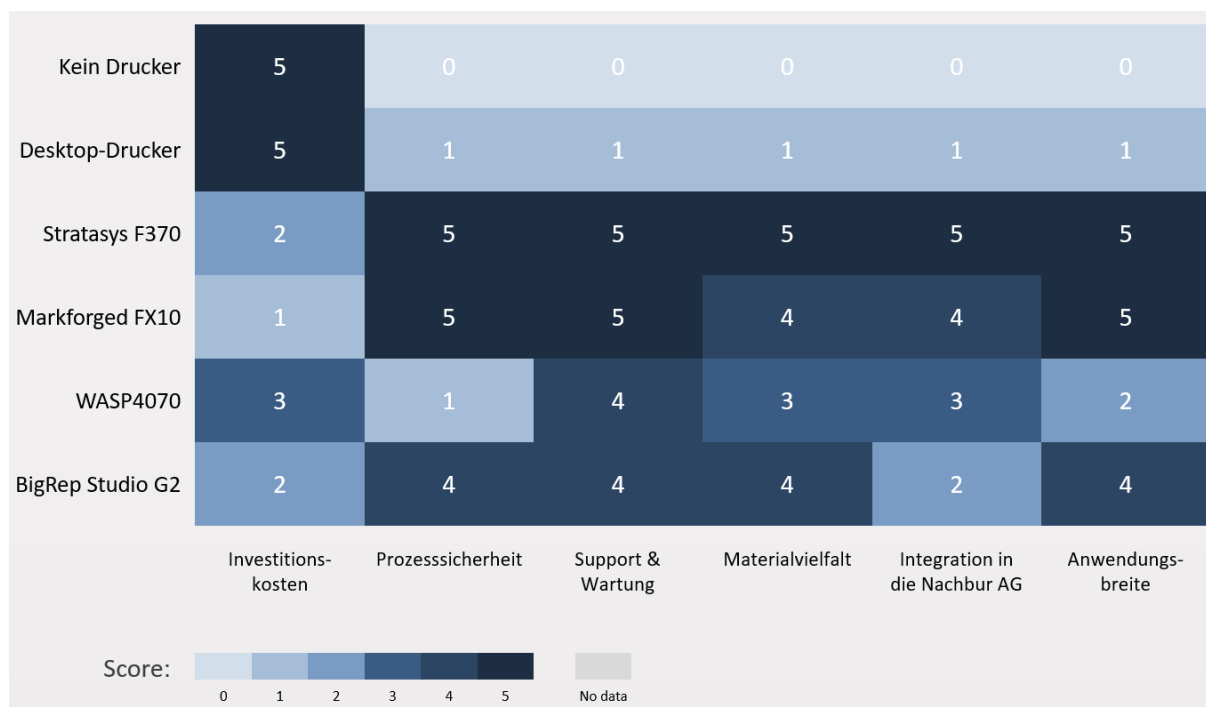


Abbildung 54: Heat-Map Drucklösungen

9.3 Begründung der finalen Lösung

Die Wahl des Stratasys F370 ist das Ergebnis eines konsequenten, praxisnahen und wirtschaftlich begründeten Auswahlprozesses. Ziel der Arbeit war es, einen fundierten Beschaffungsvorschlag für ein industrielles 3D-Drucksystem zu erarbeiten, das sowohl funktional als auch strategisch zu den Anforderungen der Nachbur AG passt. Die Entscheidung basiert nicht auf einer isolierten Bewertung einzelner Merkmale, sondern auf dem Zusammenspiel aller Erkenntnisse, die im Verlauf dieses Projekts gewonnen wurden.

Im Zentrum standen dabei von Anfang an industrielle Systeme, die zuverlässig in den bestehenden Fertigungs- und Entwicklungsprozess integriert werden können. Im Rahmen der Marktanalyse wurden gezielt mehrere etablierte FDM-Lösungen, darunter Systeme von Stratasys, Markforged, BigRep und WASP technisch, organisatorisch und wirtschaftlich miteinander verglichen. Die Bewertung erfolgte anhand klar definierter und gewichteteter Kriterien, die auf den tatsächlichen Anforderungen der Nachbur AG basieren: Prozesssicherheit, Bedienbarkeit, Materialvielfalt, Integrationsfähigkeit, Supportstruktur sowie Investitions- und Betriebskosten.

Der Stratasys F370 hat sich dabei nicht nur in der theoretischen Analyse, sondern auch in der praktischen Erprobung als überzeugendste Lösung erwiesen. Im Austausch mit dem Anbieter Alphacam wurden Bauteile wie Vorrichtungstrays und Hilfselemente gefertigt und im Betrieb begutachtet. Die Resultate bestätigten die technische Reife des Systems: Masshaltigkeit, Reproduzierbarkeit und Materialeigenschaften erfüllten die Anforderungen vollständig. Hinzu kommt die einfache und stabile Softwareumgebung (GrabCAD Print), die eine nahtlose Anbindung an bestehende CAD-Workflows ermöglicht.

Auch wirtschaftlich konnte das System überzeugen: Die durchgerechnete Kosten-Nutzen-Analyse zeigt, dass sich die Investition innerhalb von drei Jahren amortisiert, bei konservativer Annahme. Besonders hohe Einsparpotenziale ergeben sich im Bereich der Vorrichtungsfertigung, etwa für die neue Laseranlage, sowie durch die Verkürzung von Entwicklungszyklen und die Entlastung interner Ressourcen.

Was schlussendlich den Ausschlag zugunsten des Stratasys F370 gegeben hat, ist das ausgewogene Gesamtbild:

- Technologisch etabliert
- wirtschaftlich tragfähig
- praxiserprobt und mit einem starken lokalen Supportnetzwerk

Damit erfüllt das System nicht nur die formulierten Anforderungen, sondern schafft darüber hinaus neue Handlungsspielräume, sei es bei kurzfristigen Problemlösungen, im Vorrichtungsbau oder bei der eigenständigen Umsetzung von Verbesserungsideen.

10 Implementierungsplan

Mit der Wahl eines geeigneten Druckermodells stellt sich nun die Frage nach der konkreten Umsetzung. In diesem Kapitel wird aufgezeigt, wie die Einführung des Systems bei der Nachbur AG organisatorisch, zeitlich und ressourcentechnisch geplant ist.

10.1 Planung der Beschaffung und Installation

10.1.1 Erstellung des technischen Pflichtenhefts

Vor der endgültigen Beschaffung des 3D-Drucksystems wurde ein detailliertes technisches Pflichtenheft ausgearbeitet. Es dient als zentrale Dokumentationsgrundlage für sämtliche Anforderungen an den Stratasys F370 sowie dessen betriebliche Integration bei der Nachbur AG. Ziel war es, alle funktionalen, technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen vor der Bestellung klar zu definieren und mit dem Anbieter abzustimmen.

Das Pflichtenheft umfasst unter anderem:

1. die definierten Maschineneigenschaften (z. B. Bauraum, Auflösung, unterstützte Materialien),
2. Anforderungen an Schnittstellen und Softwarekompatibilität (z. B. mit Autodesk Inventor),
3. betriebliche Vorgaben zur Infrastruktur am vorgesehenen Standort (z. B. Stromversorgung, Platzbedarf, Arbeitsumgebung),
4. die vereinbarten Leistungen des Anbieters wie Lieferung, Installation, Schulung und Wartung,
5. sowie definierte Lieferfristen, Abnahme- und Inbetriebnahmekriterien.

Erstellt wurde das Dokument durch den Projektleiter in enger Abstimmung mit den betroffenen Fachbereichen (Produktion, Technik, Einkauf). Es bildete die Grundlage für die finale Angebotsverhandlung und die Beschaffungsentscheidung.

Das vollständige Pflichtenheft ist im Anhang dieser Arbeit dokumentiert.

10.1.2 Geplanter Beschaffungsablauf

Die tatsächliche Beschaffung des empfohlenen 3D-Drucksystems fällt nicht in den Umfang dieser Diplomarbeit, ist jedoch für das Geschäftsjahr 2026 vorgesehen. Ziel ist es, eine vollständige Entscheidungsgrundlage zu schaffen, die eine zeitnahe Umsetzung im Anschluss an die Budgetfreigabe durch die Geschäftsleitung im November 2025 ermöglicht.

Nach der Freigabe wäre vorgesehen, das bestehende Angebot mit der Alphacam GmbH nochmals zu aktualisieren und inhaltlich mit dem Pflichtenheft abzugleichen. Anschliessend würden die technischen und kaufmännischen Aspekte intern geprüft und abgestimmt. Die formelle Beauftragung würde durch den Einkauf erfolgen, inklusive vertraglicher Regelung aller relevanten Punkte wie Liefertermin, Leistungsumfang, Zahlungsmodalitäten und Garantien.

Der Lieferant soll dabei frühzeitig in die weitere Projektplanung eingebunden werden, um die Inbetriebnahme effizient vorzubereiten. Die geplante Vorgehensweise orientiert sich an den bestehenden internen Abläufen der Nachbur AG und wurde auf Basis der bisherigen Kontakte mit potenziellen Anbietern realistisch ausgearbeitet.

10.1.3 Infrastrukturanforderungen und Installationsplanung

Für die erfolgreiche Einführung des industriellen 3D-Drucksystems wurde eine vorausschauende Planung der infrastrukturellen Voraussetzungen durchgeführt. Der gewählte Standort befindet sich im Untergeschoss der Nachbar AG, konkret in jenem Bereich, in dem sich bereits die Laserbeschriftungsanlage befindet. Diese räumliche Nähe ist bewusst gewählt worden, da beide Technologien hohe Anforderungen an einen sauberen und strukturierten Arbeitsplatz stellen und ähnliche Umgebungsbedingungen benötigen.

Der vorgesehene Aufstellort erfüllt sämtliche grundlegenden Anforderungen an Platzverhältnisse, Zugänglichkeit, Infrastruktur und klimatische Bedingungen. Die bestehende Infrastruktur in diesem Bereich erlaubt eine reibungslose Integration der neuen Technologie ohne grössere Umbauarbeiten.

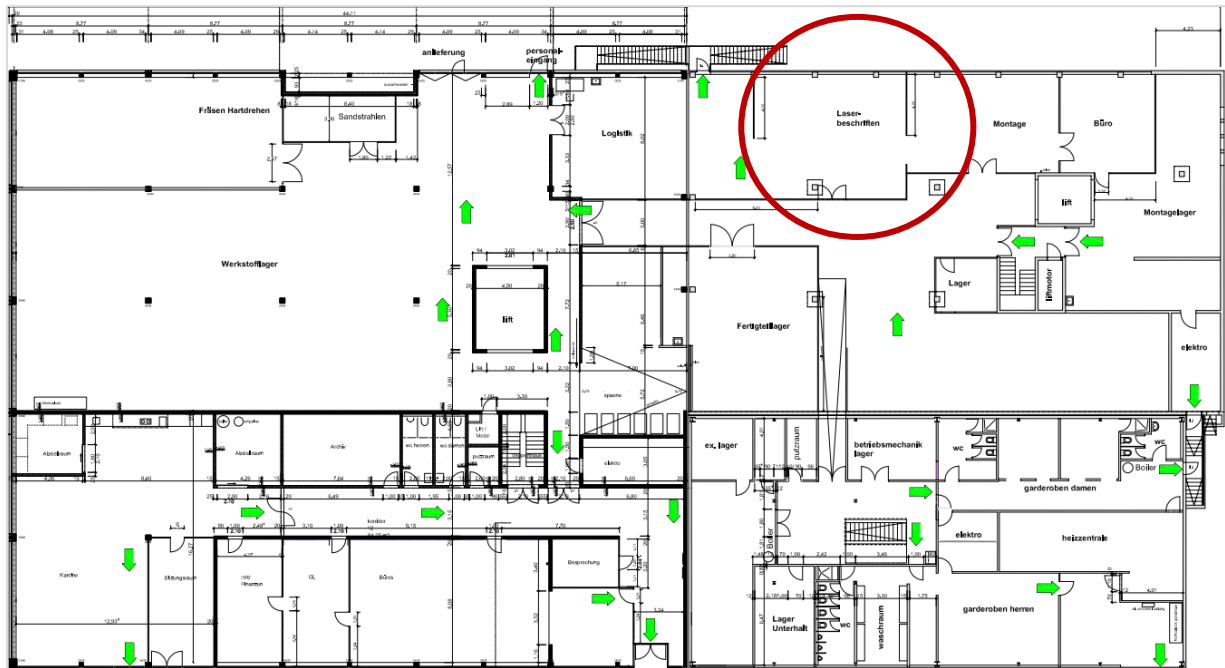


Abbildung 55: Grundriss Nachbar AG – UG

Die erste Abbildung zeigt den betroffenen Gebäudebereich im Überblick. Der geplante Stellplatz für den 3D-Drucker ist rot markiert und befindet sich direkt angrenzend an die bestehende Laserbeschriftungsstation. Diese Nähe ermöglicht es, Synergien zu nutzen, beispielsweise durch die gemeinsame Verwendung von Absauganlagen oder die Einrichtung eines zentralen Bereichs für Nachbearbeitung.

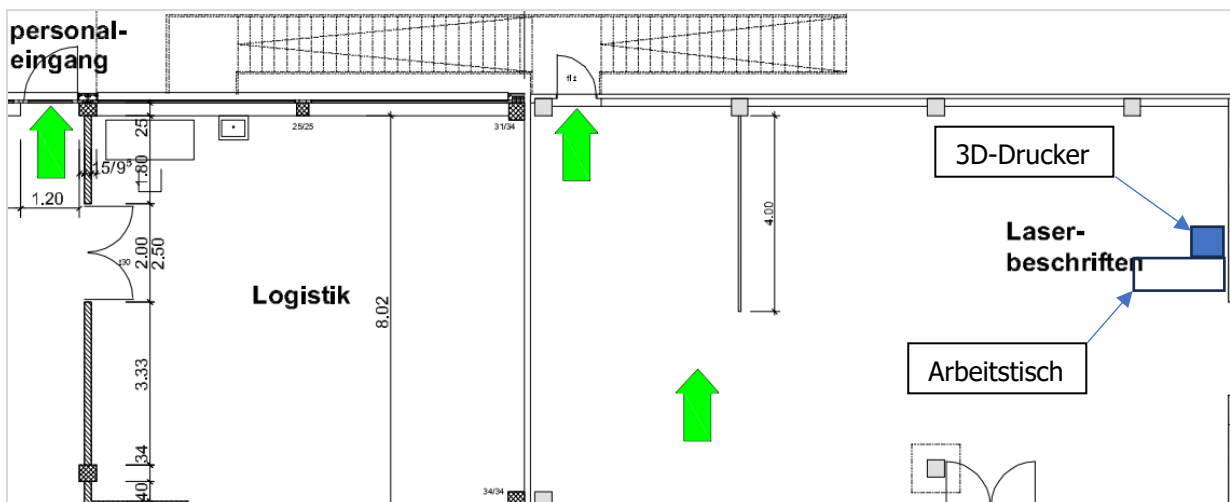


Abbildung 56: Stellplatz 3-D Drucker

In der zweiten Abbildung ist der exakte Standort des Druckers im Raum dargestellt. Die Positionierung berücksichtigt Arbeitswege, Wartungszugang sowie Sicherheitsabstände. Auch ein kleiner Arbeitsplatz für einfache Nachbearbeitungsschritte, etwa das Entfernen von Stützstrukturen oder das Reinigen von Bauteilen, ist in unmittelbarer Nähe eingeplant.

Für die technische Umsetzung sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

1. **Stabiler, ebener Untergrund:** Der Stellplatz muss tragfähig und vibrationsarm sein, um die Betriebssicherheit der Anlage zu gewährleisten.
2. **Elektrische Versorgung:** Ein Stromanschluss nach den technischen Vorgaben des gewählten Modells ist vorzusehen (Details dazu siehe Kapitel 8).
3. **Ausreichende Raumlüftung:** Je nach verarbeitetem Material (z. B. bei technischen Kunststoffen) ist eine geeignete Lüftung oder gegebenenfalls eine Punktabsaugung nötig.
4. **Anschliessender Arbeitsplatz:** Für einfache manuelle Nachbearbeitungen soll ein Tisch mit Grundausstattung direkt beim Gerät bereitstehen.
5. **Netzwerkanbindung:** Die Einbindung in das vorhandene Firmennetzwerk ist notwendig, um die CAD-Daten aus dem Engineering direkt an das System zu senden und den Betrieb über die bestehende IT-Infrastruktur zu gewährleisten.

Die eigentliche Installation des 3D-Drucksystems wird durch den jeweiligen Anbieter übernommen. Diese umfasst die Anlieferung, die fachgerechte Aufstellung vor Ort, einen ausführlichen Funktionstest sowie die Begleitung der Erstinbetriebnahme. Abgeschlossen wird die Projektphase mit einer technischen Einweisung durch den Hersteller, in welcher die Mitarbeitenden mit der Bedienung und Wartung vertraut gemacht werden.

10.2 Zeitlicher Ablauf

10.2.1 Definition zentraler Meilensteine

Um die Einführung des neuen 3D-Drucksystems strukturiert und effizient zu gestalten, wurde ein Zeitplan mit klar definierten Meilensteinen entwickelt. Dieser orientiert sich an der realistischen Zielsetzung, das Projekt nach der geplanten Budgetfreigabe im November 2025 ab Januar 2026 umzusetzen.

Die Meilensteine decken sämtliche relevanten Projektphasen ab, von der Beschaffungsentscheidung über die Infrastrukturvorbereitung bis hin zur technischen Inbetriebnahme und dem Übergang in den Regelbetrieb. Sie schaffen Transparenz für alle Beteiligten und dienen zugleich als Grundlage für die Ressourcen- und Terminplanung.

Die folgende Übersicht zeigt die zentralen Meilensteine und den dazugehörigen Zeitraum:

Meilenstein	Geplanter Zeitraum
Budgetfreigabe durch Geschäftsleitung	November 2025
Finale Bestellung	Dezember 2025
Infrastruktur & Arbeitsplatz bereit	Januar 2026 – Februar 2026
Drucker geliefert, in Betrieb genommen und Personal geschult	Februar 2026 – März 2026
Übergang in den Regelbetrieb	Ab April 2026

Tabelle 43: Meilensteine und Zeiträume

Die konkreten Kalenderwochen und Termine werden nach Bestelleingang mit dem Anbieter abgestimmt und im Projektverlauf präzisiert.

10.2.2 Visualisierung im GANTT-Diagramm

Die geplante Einführung des 3D-Drucksystems erstreckt sich über mehrere Monate und wurde so geplant, dass sie sich nahtlos in die bestehenden internen Prozesse der Nachbur AG integrieren lässt. Sowohl technische als auch organisatorische Anforderungen wurden berücksichtigt, ebenso wie bewusst eingeplante Pufferzeiten zur Absicherung gegen mögliche Verzögerungen.

Das Gantt-Diagramm bildet den gesamten Projektverlauf visuell ab, von der Projektfreigabe über die Schulung bis hin zur Übergabe in den operativen Betrieb. Die Umsetzung gliedert sich in folgende Hauptphasen:

Die Umsetzung gliedert sich in folgende Hauptphasen:

1. Projektfreigabe & Vorbereitung (Nov.–Dez. 2025):

Nach der Budgetfreigabe durch die Geschäftsleitung im November 2025 wird der finale Angebotsvergleich durchgeführt. Im Dezember erfolgt die Abstimmung der Detailanforderungen mit dem Anbieter sowie die Vorbereitung der Beschaffungsunterlagen für die interne Bestellung.

2. Beschaffung & Infrastrukturvorbereitung (Jan. 2026):

Nach der formellen Bestellung beginnt die Vorbereitung des Aufstellorts. Dazu gehören Stromanschluss, Netzwerkzugang, Stellplatz und Nachbearbeitungsbereich. Parallel werden erste organisatorische Schritte für die spätere Einführung getroffen.

3. Lieferung, Inbetriebnahme & Schulung (Feb. 2026 – März 2026):

Der Drucker wird geliefert, aufgestellt und durch den Anbieter in Betrieb genommen. Ein Funktionstest und die technische Abnahme bilden den Abschluss dieser Phase. Der Lieferant wird eng in die Umsetzung eingebunden, um einen reibungslosen Ablauf sicherzustellen. In dieser Phase findet ebenfalls die Einweisung des Bedienpersonals statt.

4. Pilotbetrieb & erste interne Aufträge (März 2026 – April 2026):

In dieser Phase findet die Einweisung des Bedienpersonals statt. Zusätzlich sollen erste interne Testaufträge durchgeführt werden, um Materialverhalten, Prozessparameter und Nachbearbeitung zu validieren.

5. Regelbetrieb & Übergabe (ab Ende April 2026):

Nach erfolgreichem Testbetrieb wird der Drucker offiziell in den Regelbetrieb überführt. Ab diesem Zeitpunkt steht er für Prototypen, Vorrichtungen und seriennahe Anwendungen zur Verfügung.

Das Gantt-Diagramm in der nachfolgenden Darstellung zeigt alle Phasen und Meilensteine in ihrer zeitlichen Abfolge und dient als visuelle Grundlage für die interne Projektkoordination und Fortschrittskontrolle.

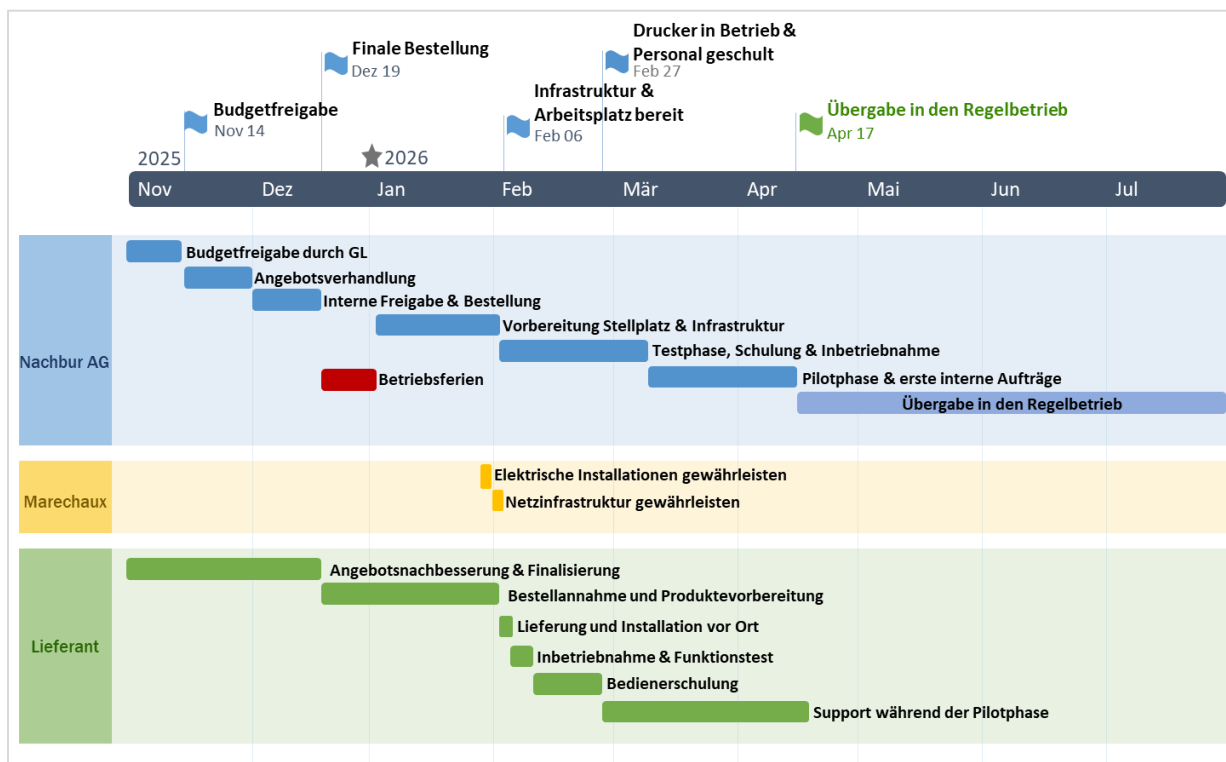


Abbildung 57: GANTT-Diagramm mit Meilensteinen

10.3 Ressourcen- und Verantwortlichkeitszuordnung

10.3.1 Zuständigkeiten intern

Die Einführung des 3D-Drucksystems bei der Nachbur AG ist als bereichsübergreifendes Projekt konzipiert, das eine enge Koordination zwischen internen Abteilungen sowie externen Partnern erfordert. Die Verantwortung für die Projektleitung, Koordination und interne Umsetzung liegt bei der Nachbur AG. Die Zuständigkeiten wurden klar definiert und über alle Projektphasen hinweg aufgeteilt, um einen effizienten Ablauf sicherzustellen.

Innerhalb der Nachbur AG übernimmt die Geschäftsleitung die strategische Steuerung durch die formelle Budgetfreigabe. Im Anschluss daran erfolgt die detaillierte Ausarbeitung des Pflichtenhefts und der Angebotsvergleich durch den Projektleiter, gefolgt von der internen Bestellung.

Während der Umsetzungsphase liegt der Fokus auf der Bereitstellung der notwendigen Infrastruktur: Die Abteilung Logistik kümmert sich um die Vorbereitung des Stellplatzes, die Verfügbarkeit von Betriebsmitteln und den Arbeitsplatz für die Nachbearbeitung. Parallel stellt die IT-Abteilung den Zugang zum Firmennetzwerk und die Verfügbarkeit der relevanten CAD-Daten sicher.

Nach Inbetriebnahme des Systems wird das Bedienpersonal aktiv eingebunden, insbesondere im Rahmen der Schulung und der Testphase. Die Übergabe in den produktiven Regelbetrieb erfolgt durch den Projektverantwortlichen der Nachbur AG in enger Abstimmung mit den operativen Nutzern.

10.3.2 Rolle des Anbieters / externe Unterstützung

Die Alphacam AG spielt eine zentrale Rolle bei der technischen Umsetzung des Projekts. Neben der Angebotsnachbesserung und der Vertragsfinalisierung übernimmt Sie die gesamte operative Verantwortung für die Lieferung, fachgerechte Installation sowie die Inbetriebnahme des 3D-Druckers. Zusätzlich wird durch die Alphacam AG eine technische Schulung des Bedienpersonals durchgeführt, welche Voraussetzung für den sicheren Betrieb der Anlage ist.

Während der anschliessenden Pilotphase steht der Anbieter unterstützend zur Verfügung, um Rückfragen zu klären, Prozesse zu validieren und einen stabilen Betrieb zu gewährleisten. Dieser begleitete Übergang in den Echtbetrieb reduziert das Risiko technischer Fehlfunktionen und stellt eine effiziente Integration des Systems sicher.

Zusätzlich wurde das Unternehmen Marechaux als externer Partner für alle elektrotechnischen Belange beauftragt. Marechaux verantwortet sowohl die Installation der Stromversorgung als auch die Netzwerk- und IT-Schnittstellen. Darüber hinaus ist Marechaux zuständig für die Prüfung des Raumklimas, insbesondere im Hinblick auf Temperatur, Luftzirkulation und potenzielle Emissionen durch technische Kunststoffe.

Durch diese klare Rollenverteilung zwischen internen Ressourcen und externer Unterstützung wird sichergestellt, dass alle Aspekte der Projektumsetzung kompetent und fristgerecht bearbeitet werden können.

11 Schulungsplan

Neben der technischen Implementierung ist der gezielte Kompetenzaufbau bei den Mitarbeitenden entscheidend für den Erfolg. Der Schulungsplan verfolgt das Ziel, alle relevanten Personen zu befähigen, den Stratasys F370 sicher, effizient und selbstständig zu nutzen, inklusive Datenaufbereitung, Verständnis der Prozessparameter, Materialverhalten und Wartung.

11.1 Inhalte der Schulung

Die Schulung wird in modulare Themenbereiche unterteilt, um gezielt auf die verschiedenen Zielgruppen einzugehen. Im Fokus stehen folgende Inhalte:

- Grundbedienung des Stratasys F370: Einschalten, Einrichten, Überwachen des Druckvorgangs, Sicherheitsaspekte
- Software GrabCAD Print: Aufbereitung von CAD-Daten, Ausrichtung, Stützstrukturen, Materialwahl, Druckprofile
- Materialhandling: Lagerung, Einlegen und Wechsel von Materialien (z. B. ABS-CF10, ESD-Materialien)
- Wartung und Pflege: Regelmässige Instandhaltung, Kalibrierung, Umgang mit Fehlermeldungen
- Nachbearbeitung und Entnahme: Umgang mit Supportmaterial, Reinigungsprozess (z. B. UW20-Auswaschanlage)
- Qualitätsprüfung: Masshaltigkeit, Toleranzvergleiche, Dokumentation der Ergebnisse

11.2 Methodik und Zeitplanung

Die Schulungen erfolgen in enger Zusammenarbeit mit dem Anbieter Alphacam und werden durch interne Wissensvermittlung ergänzt:

Die Schulung erfolgt gestaffelt in mehreren Phasen, abgestimmt auf den realen Implementierungszeitraum. Ziel ist es, das System zunächst durch erfahrene Mitarbeitende sicher zu beherrschen, bevor der produktive Einsatz in der Fläche beginnt. Die Schulung startet mit einer technischen Basiseinführung durch Alphacam und wird anschliessend durch interne Weiterbildungsmassnahmen ergänzt.

Phase 1: Basisschulung durch Alphacam

Zu Beginn der Inbetriebnahme wird durch Alphacam eine eintägige Schulung durchgeführt, welche die grundlegende Bedienung des Stratasys F370 sowie den Umgang mit der Software GrabCAD Print und der UW20-Auswaschanlage umfasst. Inhaltlich werden alle systemrelevanten Grundlagen wie Datenhandling, Druckprozess, Filamentwechsel und Wartung behandelt.

Phase 2: Aufbau von internem Know-how

Direkt im Anschluss wird durch Daniel Zimmermann, als künftiger Key-User, vertiefendes Wissen im Tagesgeschäft aufgebaut. In dieser Phase werden reale Vorrichtungen und Anwendungsteile gedruckt, um praktische Erfahrungen zu sammeln. Parallel dazu werden betriebsinterne Schulungsunterlagen erstellt, die den spezifischen Anforderungen der Nachbur AG gerecht werden.

Phase 3: Interne Schulung der Bediener

Basierend auf den gesammelten Erfahrungen und der dokumentierten Handhabung werden die relevanten Bediener (z. B. Sebastian Köhn) gezielt geschult. Der Fokus liegt hierbei auf der praktischen Handhabung im Alltag: Auswahl des Druckprogramms, Überwachung des Prozesses, Entnahme und Nachbearbeitung, Fehlererkennung sowie einfache Wartung.

Zeitlicher Ablauf:

Woche	Massnahme	Verantwortlich
KW7 (2026)	Basisschulung durch Alphacam	Alphacam
KW7-KW8	Interne Vertiefung, Erstellung der Schulungsunterlagen	Daniel Zimmermann
KW9	Schulung Bediener anhand realer Anwendungen	Daniel Zimmermann
Ab KW10	Eigenständiger Betrieb durch geschulte Personen	Alle geschulten Personen

Tabelle 44: Zeitlicher Ablauf Schulungsplan

Die gestufte Einführung ermöglicht es, nicht nur technisches Wissen zu vermitteln, sondern auch betriebsnahe Lösungen für konkrete Anforderungen zu entwickeln. Dadurch wird sichergestellt, dass das System nicht nur verstanden, sondern sinnvoll und nachhaltig eingesetzt wird.

11.3 Teilnehmerliste und Erfolgskriterien

Teilnehmende Mitarbeitende:

Name	Rolle	Schulungsfokus
Daniel Zimmermann	Projektleitung / Key-User	Gesamtsystem, Datenaufbereitung, Wartung, interne Schulung
Dragan Rikic	Konstrukteur	CAD-Dateien, Slicer-Einstellungen, Stützstruktur, Exportieren von Daten
Benedikt Berchtold	Abteilungsverantwortlicher	Gesamtüberblick, Einbindung in Abteilung, Prozessverantwortung, Wartungsplanung
Sebastian Köhn	Maschinenbediener	Programm anwählen, Druck starten, Teile entnehmen, Nachbearbeitung

Tabelle 45: Teilnehmende Mitarbeitende

Erfolgskriterien

Nach Abschluss der Schulung sind die Teilnehmenden in der Lage:

- CAD-Daten korrekt für den Druck aufzubereiten, inklusive Auswahl geeigneter Einstellungen im Slicer GrabCAD Print
- Druckprogramme selbstständig auszuwählen, anzupassen und zu starten
- Filamente fachgerecht zu wechseln und zu verwalten
- Druckteile sicher zu entnehmen und das Supportmaterial effizient zu entfernen
- Routinemässige Wartungsarbeiten durchzuführen und das System instand zu halten
- einfache Fehlerbilder selbstständig zu erkennen und korrekt darauf zu reagieren

Wissenssicherung und Nachweis

Zur Sicherstellung des Wissenserhalts wird eine interne Schulungsdokumentation erstellt, welche alle relevanten Arbeitsabläufe, Checklisten und häufige Fehlerbilder umfasst. Die Schulungsteilnahmen werden protokolliert und schriftlich bestätigt, sodass ein qualitätsgesicherter Nachweis im Rahmen interner Standards (z. B. für Audits) vorliegt.

Weitergabe und Multiplikation des Wissens

Nach erfolgreichem Abschluss der Ersts Schulung sollen insbesondere Daniel Zimmermann und Dragan Rikic als Multiplikatoren wirken und zukünftige Mitarbeitende oder weitere Anwendungsbereiche intern instruieren.

Evaluation und Weiterentwicklung

Drei Monate nach Einführung wird eine interne Feedbackrunde mit den geschulten Mitarbeitenden durchgeführt. Ziel ist es, mögliche Herausforderungen zu identifizieren, zusätzliche Schulungsbedarfe zu klären und Best Practices zu dokumentieren. Auf dieser Basis kann die Anwendung weiter optimiert und in weitere Bereiche übertragen werden.

12 Ausblick und Zielerreichung

12.1 Herausforderungen und Lösungsfindung

Die Ausarbeitung dieses Beschaffungsvorschlags war von Beginn an mit zahlreichen Herausforderungen verbunden, sowohl fachlicher als auch methodischer Art. Der gesamte Bereich der additiven Fertigung stellte eine völlig neue Thematik dar, dies technologisch, prozesstechnisch und begrifflich.

12.1.1 Anforderungen richtig erfassen – aber realistisch halten

Herausforderung:

Zu Beginn der Arbeit bestand die Schwierigkeit darin, ein vollständiges, aber praxisnahes Pflichtenheft zu formulieren. Die Gefahr bestand darin, entweder zu abstrakt (zu generisch) oder zu technisch überzogen zu formulieren, was zu einer theoretischen, aber nicht praktikablen Anforderungsliste geführt hätte.

Lösungsweg:

- Enger Austausch mit den Abteilungen AVOR, Konstruktion und Fertigung
- Analyse realer Anwendungsfälle (z. B. Tray-Erstellung für die Laseranlage)
- Iterative Verdichtung der Anforderungen auf das Wesentliche
- Integration technischer Mindestanforderungen (z. B. CAD-Kompatibilität, Materialvielfalt), aber bewusster Verzicht auf Spezialfälle

Ergebnis:

Ein klar priorisiertes, betriebsspezifisches Pflichtenheft, das als belastbare Grundlage für die Anbietersuche und Wirtschaftlichkeitsanalyse diente.

12.1.2 Einstieg in eine neue Technologiewelt

Herausforderung:

Zu Beginn der Arbeit bestand **keinerlei technisches oder praktisches Know-how** im Bereich industrieller 3D-Druck, weder auf Seite der Projektleitung noch im Unternehmen selbst. Begrifflichkeiten, Verfahren, Möglichkeiten und Grenzen waren weitgehend unbekannt.

Lösungsweg:

- Einarbeitung in alle gängigen 3D-Drucktechnologien (FDM, SLA, SLS, MJF, MJP etc.)
- Aufbau eines Technologieüberblicks mit Definition der jeweiligen Stärken, Schwächen und Anwendungsbereiche
- Gespräche mit Anbietern, Besuch von Vorführungen (z. B. Alphacam, URMA, 3D-EDU)
- Rückführung auf die Anforderungen der Nachbur AG → Auswahl geeigneter Verfahren

Ergebnis:

Ein fundierter, herstellerneutraler Technologievergleich mit nachvollziehbarer Eingrenzung auf das FDM-Verfahren als passende Lösung für den Vorrichtungs- und Prototypenbau bei der Nachbur AG. Die methodische Breite dieser Phase hat wesentlich zum Verständnis der Technologie und zur Qualität der finalen Entscheidung beigetragen.

12.1.3 Umgang mit stark unterschiedlichen Systemansätzen

Herausforderung:

Die untersuchten Systeme (Stratasys, Markforged, BigRep, WASP) unterschieden sich teils fundamental in Technologie, Bedienkonzept, Materiallogik und Zielausrichtung. Ein direkter Vergleich war auf den ersten Blick kaum möglich.

Lösungsweg:

- Einführung eines einheitlichen Kriterienrasters zur Vergleichbarkeit
- Gewichtung der Kriterien gemäss betrieblichen Prioritäten (z. B. Bedienerfreundlichkeit > High-End-Funktion)
- Fokus auf reale Anwendung statt Marketing-Features
- Besuche und Gespräche mit Lieferanten (z. B. Alphacam, URMA), um Systeme live zu sehen und spezifische Stärken/Schwächen zu erkennen

Ergebnis:

Eine vergleichbare, nachvollziehbare Bewertungsbasis, welche technische Unterschiede sichtbar und bewertbar machte, Grundlage für die Nutzwertanalyse.

12.1.4 Verlässliche Wirtschaftlichkeitsrechnung aufstellen

Herausforderung:

Die Wirtschaftlichkeitsbewertung stand vor zwei Hürden:

- Viele Einsparpotenziale (z. B. kürzere Iterationen, Verfügbarkeiten) sind schwer quantifizierbar
- Vergleichszahlen für bisherige externe Leistungen lagen nicht vollständig digital vor

Lösungsweg:

- Rückgriff auf dokumentierte reale Fälle (z. B. Traykosten, Fräszeiten, Maschinenstillstände)
- Einbezug von Erfahrungswerten der Fertigung und AVOR
- Erstellung einer konservativen, dreijährigen TCO-/ROI-Rechnung mit mehreren Szenarien
- Klarer Fokus auf quantifizierbare Vorteile (z. B. Anzahl externer Fertigungen, interner Rüstaufwand)

Ergebnis:

Ein nachvollziehbares, solides Finanzmodell mit Break-even-Rechnung, das auch bei skeptischer Betrachtung tragfähig bleibt.

12.1.5 Technische Reife und Bedienbarkeit sicherstellen

Herausforderung:

Ein industrieller Drucker muss zuverlässig bedienbar sein, auch durch Personen, die nicht täglich mit CAD oder AM-Systemen arbeiten. Eine zu komplexe Lösung hätte zu Abhängigkeiten geführt und die Einführung gefährdet.

Lösungsweg:

- Testdrucke mit realen Teilen über Alphacam veranlasst
- Prüfung der Oberflächengüte, Masshaltigkeit und Nachbearbeitbarkeit
- Evaluation der Software GrabCAD Print hinsichtlich Bedienkomfort
- Einbindung der Zielgruppe frühzeitig in die Betrachtung (z. B. mit Sebastian Köhn)

Ergebnis:

Die Wahl des F370 ermöglicht eine niederschwellige Bedienung bei gleichzeitig hoher Prozesssicherheit. Die Anforderungen der Bedienenden konnten in der Schulung gezielt berücksichtigt werden.

12.1.6 Strukturierte Schulung für unterschiedliche Rollen sicherstellen

Herausforderung:

Nicht alle Mitarbeitenden haben dieselben Anforderungen oder Vorkenntnisse. Es bestand die Herausforderung, ein Schulungskonzept zu entwerfen, das sowohl für Konstrukteure als auch für Maschinenbediener geeignet ist.

Lösungsweg:

- Schulung modular aufgebaut: Alphacam-Grundkurs → interne Vertiefung → bedienerspezifische Praxisanleitung
- Erstellung interner Checklisten und Anleitungen durch Daniel Zimmermann
- Definition von Erfolgskriterien pro Rolle

Ergebnis:

Ein abgestimmter Schulungsplan, der zielgruppenspezifisch und realitätsnah umgesetzt wird, mit klarer Rollenzuweisung, Verantwortlichkeiten und Wissenserhalt.

12.2 Bewertung der Zielerreichung anhand der Erfolgskriterien

Die Zielerreichung wird im Folgenden Punkt für Punkt geprüft. Grundlage ist das im Pflichtenheft definierte Zielsystem in Verbindung mit den Erfolgskriterien der Diplomarbeitsrichtlinien. Dabei wird jedes Ziel nicht nur formal beurteilt, sondern auch inhaltlich begründet.

Ziel	Erreicht?	Begründung/Erklärung
Vollständiger Beschaffungsvorschlag liegt vor.	Ja	Die Arbeit enthält eine vollständige Marktanalyse, Entscheidungsgrundlage, Kosten-Nutzen-Betrachtung, Schulungs- und Implementierungsplan.
Technologische Fertigungstiefe wurde erweitert.	Ja	Durch die vorgesehene Einführung eines industriellen 3D-Drucksystems wird ein völlig neuer Fertigungsbereich intern abgedeckt.
Fertigungsflexibilität verbessert.	Ja	Die Eigenfertigung von Vorrichtungen, Trays und Hilfselementen macht kurzfristige Anpassungen möglich. Szenarien wurden realitätsnah durchgerechnet.
Implementierungsplan ausgearbeitet.	Ja	Kapitel 11 beschreibt zeitlich, personell und organisatorisch die Einführung des Systems in mehreren Phasen.
Entscheidungsgrundlage nachvollziehbar.	Ja	Die Nutzwertanalyse, Kosten-/Nutzenrechnung und technische Bewertung wurden klar strukturiert, visualisiert und begründet.
Vergleich von mindestens drei Druckern.	Ja	Stratasys F370, Markforged FX10, BigRep Studio G2 und WASP 4070 HDP wurden detailliert verglichen.
Vollständiger Anforderungskatalog erstellt.	Ja	Kapitel 5 enthält einen vollständig ausgearbeiteten Katalog, abgestimmt mit realen Anwendungen.
Einsparung von CHF 35'000 p.a. intern.	Modellhaft	Die Einsparung wurde auf Basis realer Fälle konservativ auf CHF 32'300.– p.a. geschätzt. Das Ziel wurde knapp verfehlt, die Methodik ist nachvollziehbar und belastbar.
Reduktion Stillstandszeiten um 80 h.	Modellhaft	Die erwartete Reduktion basiert auf dokumentierten Engpässen durch fehlende Vorrichtungen. Die 80 Stunden wurden nicht exakt nachgewiesen, aber plausibel abgeschätzt.
Schulungskonzept definiert, ≥3 Personen geschult.	Ja	Schulungskonzept (Kap. 12) ist vollständig, vier konkrete Personen mit Rollenzuweisung sind definiert. Durchführung folgt ausserhalb des Projekts.
Reduktion externer Wartezeiten um 85 %.	Ja Modellhaft	Externe Lieferzeiten vs. geplante interne Druckzeiten wurden gegenübergestellt, Ziel nachvollziehbar modelliert.
Erhöhung Messkapazität um 10 %.	Teilweise	Das Potenzial wurde anhand von Trays mit Mehrfachaufspannungen dargestellt, jedoch ohne exakte Mengennachweise. Logisch plausibel, aber noch hypothetisch.

Tabelle 46: Zielerreichung

12.3 Gesamtbewertung der Zielerreichung

Die in dieser Arbeit definierten zwölf Hauptziele wurden zu einem grossen Teil vollständig erfüllt. Insbesondere die technologischen, organisatorischen und wirtschaftlichen Kernziele konnten nachweislich erreicht werden. Die verbleibenden Zielgrössen, beispielsweise im Bereich der konkreten Einsparungsbeträge oder Zeiteffekte wurden auf Basis fundierter, realitätsnaher Modellrechnungen plausibel dargestellt.

Dabei wurde bewusst mit konservativen Annahmen gearbeitet, um die Tragfähigkeit der Ergebnisse auch bei abweichender betrieblicher Umsetzung zu gewährleisten. Alle Aussagen basieren auf nachvollziehbaren Berechnungen, dokumentierten Ist-Prozessen oder echten Anwendungsfällen aus dem Unternehmensalltag.

Die Gesamtleistung der Arbeit zeigt, dass es gelungen ist, eine praxisorientierte, nachvollziehbare und strategisch relevante Entscheidungsgrundlage für die Einführung eines industriellen 3D-Drucksystems bei der Nachbur AG zu schaffen. Die Ziele wurden nicht nur methodisch sauber abgearbeitet, sondern mit hoher inhaltlicher Tiefe und klarer Ausrichtung auf den praktischen Nutzen für das Unternehmen verfolgt.

12.4 Zukunft & Umsetzung

Die Ergebnisse dieser Arbeit dienen nicht nur als theoretisches Konzept, sondern sollen konkret in den internen Entscheidungsprozess der Nachbur AG eingebunden werden. Die offizielle Vorstellung des Beschaffungsvorschlags erfolgt im Rahmen der Budgetbesprechung im November 2025 durch die Projektleitung.

Im Rahmen dieser Sitzung werden die folgenden Inhalte präsentiert:

- Technologische Bewertung und empfohlene Lösung (Stratasys F370)
- Investitionsvolumen inkl. TCO-/ROI-Betrachtung
- Konkrete betriebliche Einsatzszenarien
- Schulungs- und Implementierungsplan
- Erwarteter Nutzen und strategische Perspektiven

Ziel der Präsentation ist es, auf Basis dieser Arbeit eine fundierte Entscheidungsgrundlage für eine mögliche Investition im Geschäftsjahr 2026 zu schaffen. Die Diplomarbeit stellt dabei nicht den Abschluss, sondern den Startpunkt für die tatsächliche Umsetzung dar.

Der weitere Verlauf hängt von Investitionsentscheid der Geschäftsleitung ab. Im Fall einer Freigabe kann das Projekt gemäss dem ausgearbeiteten Implementierungsplan (Kap. 11) umgesetzt und die Schulung im ersten Quartal 2026 durchgeführt werden.

Die vorliegende Arbeit bildet damit eine zentrale Entscheidungs- und Planungsgrundlage für die Einführung des industriellen 3D-Drucks bei der Nachbur AG und liefert alle dafür relevanten Elemente: von der Technologieanalyse über die Wirtschaftlichkeitsrechnung bis zur konkreten betriebsbezogenen Umsetzungsstrategie.

13 Reflexion und Lessons Learned

13.1 Herausforderungen und Lösungen

Die Durchführung dieses Projekts war mit einer Reihe von Herausforderungen verbunden, die sowohl technischer als auch methodischer Natur waren. Besonders prägend war die Tatsache, dass zu Beginn weder ich noch mein Unternehmen über vertiefte Erfahrung im Bereich der industriellen additiven Fertigung verfügten. Der Zugang zum Thema musste daher systematisch, praxisnah und zugleich realistisch gestaltet werden.

13.1.1 Fehlendes Grundlagenwissen im Bereich 3D-Druck

Die erste Hürde bestand darin, die verschiedenen Drucktechnologien wie FDM, SLS, SLA, MJF und MJP überhaupt zu verstehen, deren Vor- und Nachteile einzuordnen und ihre Eignung für den industriellen Einsatz realistisch zu bewerten. Diese Herausforderung konnte durch strukturierte Recherchen, technische Unterlagen der Hersteller und vor allem durch den intensiven Austausch mit erfahrenen Anbietern gemeistert werden. Die Lieferantengespräche, praktische Vorführungen und die Möglichkeit, Musterteile zu erhalten und vor Ort zu analysieren, waren dabei besonders wertvoll.

13.1.2 Anforderungen technisch und betrieblich umsetzbar definieren

Ein weiteres zentrales Thema war die Erarbeitung des Anforderungskatalogs. Es galt, die betrieblichen Bedürfnisse, insbesondere im Vorrichtungsbau, bei Messhilfen und bei Prototypen so zu definieren, dass sie technisch fundiert und gleichzeitig in der industriellen Praxis umsetzbar bleiben. Durch die enge Zusammenarbeit mit der Arbeitsvorbereitung, der Konstruktion und den künftigen Bedienern entstand ein ausgewogenes Anforderungsprofil, das sowohl technisch ambitioniert als auch realitätsnah ist.

13.1.3 Vergleichbarkeit sehr unterschiedlicher Systeme herstellen

Eine besondere Herausforderung war der direkte Vergleich der Druckermodelle. Die Systeme von Stratasys, Markforged, BigRep und WASP unterscheiden sich in grundlegenden Aspekten wie Materialhandling, Preisgestaltung, Softwareanbindung oder Servicekonzept. Eine objektive Bewertung war nur durch die Entwicklung einer standardisierten Methodik mit Kriteriengewichtung und Nutzwertanalyse möglich.

13.1.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse mit begrenzten Ausgangsdaten

Auch die wirtschaftliche Bewertung war anspruchsvoll. Viele Einsparpotenziale wie Zeitgewinn in der Arbeitsvorbereitung, reduzierte Maschinenstillstände oder beschleunigte Umsetzungen von Ideen lassen sich nur schwer exakt beziffern. Deshalb wurde eine konservative Kalkulation auf Basis realer Anwendungsfälle und interner Erfahrungswerte gewählt. Damit konnte eine tragfähige und nachvollziehbare Wirtschaftlichkeitsrechnung aufgestellt werden.

13.1.5 Integration des Systems in die bestehende Infrastruktur

Neben der Wahl des passenden Druckverfahrens mussten auch technische und organisatorische Voraussetzungen geschaffen werden, um das System betrieblich zu integrieren. Die Anforderungen an Stromversorgung, Raumklima, Datenanbindung, Schulung und Bedienkonzept wurden im Dialog mit der IT, der Gebäudetechnik, den operativen Nutzern und dem Lieferanten sorgfältig abgestimmt.

13.2 Persönliche Erkenntnisse und Optimierungsvorschläge

Obwohl ich in meiner bisherigen Laufbahn bereits zahlreiche Projekte im Bereich Beschaffung und Investitionen verantwortet habe, teilweise mit grösserem finanziellem und organisatorischem Umfang, war dieses Projekt in mehrfacher Hinsicht besonders. Es hat mir vorgezeigt, wie umfangreich sich ein Projekt anfühlt, wenn es nicht nur technische und wirtschaftliche Fragestellungen betrifft, sondern auch das eigene Fachwissen auf die Probe stellt und erweitert.

Der Bereich der additiven Fertigung war für mich zu Beginn der Arbeit weitgehend unbekannt. Begriffe wie Lasersintern, Filamentführung oder Stereolithografie hatten für mich keinen konkreten Bezug zur Praxis. Umso beeindruckender war es, in die Vielfalt der Verfahren und ihre konkreten Einsatzmöglichkeiten einzutauchen. Ich hätte zu Beginn nicht gedacht, wie breit das Spektrum an verfügbaren Technologien ist und wie viel Potenzial sich darin für industrielle Anwendungen verbirgt. Die Erkenntnis, dass sich beispielsweise Bauteile mit Endnutzeigenschaften aus Kunstharz oder faserverstärkte Vorrichtungen direkt vor Ort herstellen lassen, hat mein Verständnis für moderne Fertigung umfassend erweitert.

Gleichzeitig habe ich gemerkt, wie wichtig es ist, offen in ein Projekt zu starten. Mein technisches Wissen aus der CNC-Welt war kein Nachteil, aber auch keine direkte Abkürzung. Ich musste lernen, viele Themen neu zu denken, mir Begriffe und Zusammenhänge selbstständig zu erschliessen und aktiv den Austausch mit Experten zu suchen.

Ein weiterer persönlicher Lernpunkt war der Umgang mit Unschärfe in der Bewertung. Anders als bei klassischen Maschinenprojekten, bei denen Taktzeiten, Stückkosten oder Auslastungen meist klar berechenbar sind, bewegt man sich bei der Einführung eines neuen Verfahrens in einem Umfeld mit vielen Unbekannten. Die Herausforderung war es, dennoch belastbare Entscheidungen zu treffen, gestützt auf nachvollziehbare Annahmen, Rückmeldungen der Fachbereiche und realitätsnahe Szenarien.

Rückblickend würde ich bei zukünftigen Projekten dieser Art den Fokus noch stärker auf reale Testteile und Simulationen legen. Ein frühzeitiger Abgleich zwischen Theorie und Praxis, etwa durch das gezielte Drucken von Vorrichtungsteilen hilft, Argumente zu schärfen und Skeptiker zu überzeugen.

Zusammenfassend hat mich diese Diplomarbeit nicht nur fachlich weitergebracht, sondern auch meine Bereitschaft gefördert, mich auf unbekanntes Terrain einzulassen und darin eigenständig Orientierung zu finden.

14 Persönliches Schlusswort

14.1 Dank an Unterstützer

Ich erinnere mich noch gut an den Moment, als ich das erste Mal mit einem industriellen 3D-Drucker konfrontiert wurde. Ich hatte keine Ahnung, was ein Stützstrukturmaterial macht, wie viele Verfahren es eigentlich gibt oder wie man aus Kunststoffteilen tatsächlich funktionale Vorrichtungen herstellen kann. Was damals wie eine fremde Welt wirkte, wurde durch viele Gespräche, Erklärungen und Unterstützung Schritt für Schritt greifbar.

Ein grosses Dankeschön geht an Josef Räber, meinen Diplomlehrer, der mir bei Fragen immer schnell und unkompliziert weiterhalf. Besonders geschätzt habe ich seine direkte, lösungsorientierte Art ohne grosse Umwege, immer mit Blick auf das Wesentliche. Seine Rückmeldungen haben mir geholfen, die Arbeit strukturiert und praxisnah aufzubauen, ohne mich im Detail zu verlieren.

Ein weiterer zentraler Begleiter war Benedikt Berchtold, mein Fachexperte. Durch seine Erfahrung und sein Verständnis für die Praxis wurde die Arbeit konkreter, fundierter und vor allem realitätsnah. Gespräche mit ihm waren keine Pflichttermine, sondern echte Hilfestellungen.

Mein besonderer Dank gilt auch Michel Viandante, meinem Vorgesetzten. Dass ich dieses Projekt durchführen durfte, war nicht selbstverständlich. Umso mehr schätze ich sein Vertrauen, seine Offenheit gegenüber neuen Ideen und die Möglichkeit, die Arbeit eigenverantwortlich und selbstbestimmt umzusetzen. Ohne diese Freiheit wäre das Projekt nie in dieser Tiefe möglich gewesen.

Auch bei den vielen Mitarbeitenden der Nachbur AG, die sich Zeit genommen, Fragen beantwortet, Rückmeldungen gegeben oder einfach offen mit mir diskutiert haben, möchte ich mich herzlich bedanken. Es war nie schwierig, jemanden für ein Gespräch zu finden und das zeigt, wie wichtig Zusammenarbeit und gegenseitige Unterstützung in unserem Unternehmen sind.

Und zu guter Letzt danke ich meinem privaten Umfeld. Für die ruhigen Abende, an denen ich mich zurückziehen konnte. Für das Verständnis, wenn ich mal wieder zu lange am Laptop sass. Und für den Rückhalt, der einem erst bewusst wird, wenn er plötzlich so entscheidend ist.

14.2 Persönliches Schlusswort & Reflexion

Dieses Projekt war für mich in mehrfacher Hinsicht besonders. Nicht, weil es das erste grosse Projekt meiner Laufbahn war, ich durfte bereits komplexere Investitionen und umfangreichere Vorhaben begleiten. Besonders war es, weil ich hier ein Thema bearbeitet habe, von dem ich zu Beginn so gut wie nichts wusste.

Der Einstieg in die Welt des industriellen 3D-Drucks war wie der Blick in einen Werkzeugkasten, dessen Inhalt man nicht kennt. Anfangs wusste ich kaum, was möglich ist, was sinnvoll ist und was reines Marketing. Mit jeder Quelle, mit jedem Gespräch und mit jedem Musterteil wurde das Bild klarer. Und je tiefer ich einstieg, desto mehr erkannte ich das Potenzial dieser Technologien, aber auch ihre Grenzen.

Ich habe gelernt, mit Unsicherheit umzugehen, gezielt Fragen zu stellen und Fachwissen strukturiert aufzubauen. Vor allem aber habe ich gelernt, wie man mit gesundem Menschenverstand, technischem Interesse und einem offenen Ohr auch komplexe Themen greifbar machen kann.

Die Arbeit hat mir einmal mehr gezeigt, wie wichtig Klarheit, Struktur und Kommunikation in einem Projekt sind. Ich nehme aus diesem Prozess nicht nur Fachwissen über additive Fertigung mit, sondern auch die Bestätigung, dass ich mich selbstständig in neue Themen einarbeiten und tragfähige Entscheidungen vorbereiten kann.

Besonders freue ich mich darüber, dass das erarbeitete Konzept nicht nur auf dem Papier überzeugt. Die interne Präsentation ist für den kommenden November geplant und die Chancen stehen sehr gut, dass der Vorschlag in dieser Form umgesetzt wird. Damit leistet diese Arbeit nicht nur einen akademischen Beitrag, sondern schafft echten, nachhaltigen Nutzen für das Unternehmen.

14.3 Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Diplomarbeit mit dem Titel:

„Beschaffungsvorschlag eines industriellen 3D-Druckers – Detaillierte Marktanalyse, Kosten-Nutzen-Abwägung und Implementierungsplanung zur Erweiterung der Fertigungskapazitäten der Nachbur AG“

selbstständig und ohne unerlaubte Hilfe Dritter verfasst habe. Sämtliche verwendeten Quellen, einschliesslich digitaler Hilfsmittel sowie Informationen aus Gesprächen mit Lieferanten und Fachpersonen wurden vollständig angegeben und als solche kenntlich gemacht.

Ich versichere, dass ich keine anderen als die in der Arbeit genannten Hilfsmittel verwendet habe und dass diese Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form bislang weder veröffentlicht noch im Rahmen eines anderen Prüfungsverfahrens eingereicht wurde.

Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Konsequenzen nach sich ziehen und zum Nichtbestehen der Diplomarbeit führen kann.

Ort, Datum: Holderbank, 26.05.2025

Name, Vorname: Zimmermann, Daniel

Unterschrift: 

15 Anhang

15.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zielgruppen & Kunden der Nachbar AG	13
Abbildung 2: Power-Interest-Matrix	17
Abbildung 3: Projektstrukturplan	20
Abbildung 4: GANTT-Diagramm 1 Soll/Ist	22
Abbildung 5: GANTT-Diagramm 2 Soll/Ist	22
Abbildung 6: CAD-Darstellung Zylinderverschlusschraube	25
Abbildung 7: Messbahnen Zeiss Calypso Zylinderverschlusschraube	25
Abbildung 8: Messvorrichtung Housing-Actuator	26
Abbildung 9: Haltevorrichtung für Messtaster Zeiss	26
Abbildung 10: Mehrfachaufspannung Wenzel	27
Abbildung 11: Mehrfachaufspannung Zeiss	27
Abbildung 12: Entnahmekachel mit Teil	28
Abbildung 13: Entnahmekachel	28
Abbildung 14: Greifer Teilehandling Okuma	29
Abbildung 15: Greifer Teilehandling Citizen	29
Abbildung 16: Tray Housing-Actuator Front	30
Abbildung 17: Tray Housing-Actuator Rückseite	30
Abbildung 18: Zentriervorrichtung zum Einpressen	31
Abbildung 19: Einlegevorrichtung zum Entmagnetisieren von Teilen	31
Abbildung 20: Prototyp Abdeckung Precursor Body	32
Abbildung 21: Funktionsweise MJF 3D-Drucker	37
Abbildung 22: Gelenkbauteil MJF	39
Abbildung 23: Greiferbacken MJF	39
Abbildung 24: Funktionsweise SLA 3D-Drucker	40
Abbildung 25: Zylinderverschlusschraube SLA	42
Abbildung 26: Gecko SLA	42
Abbildung 27: Funktionsweise MJP-3D Drucker	43
Abbildung 28: Zahnbürste MJP	45
Abbildung 29: Times Square MJP	45
Abbildung 30: Funktionsweise FDM 3D-Drucker	46
Abbildung 31: Spannbacke Faserverstärkt FDM	48
Abbildung 32: Absaugevorrichtung FDM	48
Abbildung 33: Funktionsweise SLS 3D-Drucker	49
Abbildung 34: Miniatur-Buch SLS	51
Abbildung 35: Steckverbindung SLS	51
Abbildung 36: Resultate Präferenzmatrix Drucktechnologien	54
Abbildung 37: Stratasys F370	61
Abbildung 38: Markforged FX10	64
Abbildung 39: WASP 4070	67
Abbildung 40: BigRep Studio G2	70
Abbildung 41: Präferenzmatrix Druckermodele	73
Abbildung 42: Nutzwertanalyse 3-D Druckermodele	79
Abbildung 43: Sensitivitätsanalyse Variante A	80
Abbildung 44: Sensitivitätsanalyse Variante B	80
Abbildung 45: Steckverbindung Testdruck F370	83
Abbildung 46: Testdruckteil Laser-Tray Actuator-Housing	84
Abbildung 47: Stratasys F370 Materialschubladen	85
Abbildung 48: ABS-Filamentkartusche	85
Abbildung 49: Originalverpackung Filamentkartusche	85
Abbildung 50: GrabCAD Software	86
Abbildung 51: Stratasys F370	87

Abbildung 52: Stratasys F370 Druckkammer	87
Abbildung 51: Brake-Even-Analyse Grafisch	92
Abbildung 52: Heat-Map Drucklösungen	95
Abbildung 53: Grundriss Nachbur AG – UG.....	98
Abbildung 54: Stellplatz 3-D Drucker	98
Abbildung 55: GANTT-Diagramm mit Meilensteinen	101

15.2 Abkürzungslegende

Abkürzung Bedeutung

AM	Additive Manufacturing (Additive Fertigung)
AVOR	Arbeitsvorbereitung
CAD	Computer-Aided Design (Rechnergestütztes Design)
CAM	Computer-Aided Manufacturing (Rechnergestützte Fertigung)
CNC	Computerized Numerical Control (Numerische Steuerung)
DNC	Direct Numerical Control (Direkte numerische Steuerung)
ESD	Electrostatic Discharge (Elektrostatische Entladung)
FDM	Fused Deposition Modeling (Schmelzschichtverfahren)
FFF	Fused Filament Fabrication (Synonym für FDM)
GL	Geschäftsleitung
HF	Höhere Fachschule
ISO	International Organization for Standardization (Internationale Normungsorganisation)
IT	Informationstechnologie
KMG	Koordinatenmessgerät
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
MJF	Multi Jet Fusion (3D-Druckverfahren von HP)
MJP	Multi Jet Printing (3D-Druckverfahren)
ROI	Return on Investment (Investitionsrendite)
SAC	Schweizer Alpen-Club
SLA	Stereolithografie (3D-Druckverfahren)
SLS	Selektives Lasersintern (3D-Druckverfahren)
SPC	Statistical Process Control (Statistische Prozesskontrolle)
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats (Stärke, Schwäche, Chance, Risiko)
TCO	Total Cost of Ownership (Gesamtbetriebskosten)
UG	Untergeschoss

15.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kapitel & Inhalt der Diplomarbeit	12
Tabelle 2: Zielscheibe	15
Tabelle 3: Stakeholder-Tabelle	17
Tabelle 4: Massnahmenplan Stakeholderanalyse	19
Tabelle 5: Projektablaufplan & Meilensteine	21
Tabelle 6: SWOT-Analyse.....	23
Tabelle 7: Technische Kriterien & Anforderungen	24
Tabelle 8: Hersteller & Drucktechnologie.....	35
Tabelle 9: Anforderungen & Bewertungen MJF	39
Tabelle 10: Anforderungen & Bewertungen SLA	42
Tabelle 11: Anforderungen & Bewertungen MJP	45
Tabelle 12: Anforderungen & Bewertungen FDM	48
Tabelle 13: Anforderungen & Bewertungen SLS	51
Tabelle 14: Anforderungskatalog Drucktechnologien.....	52
Tabelle 15: Qualitative Bewertungsmatrix der Drucktechnologien	55
Tabelle 16: Nutzwertanalyse Drucktechnologien	56
Tabelle 17: Technische Merkmale Stratasys F370	59
Tabelle 18: Materialvielfalt Stratasys.....	60
Tabelle 19: Investitionskosten Stratasys F370	61
Tabelle 20: Technische Merkmale Markforged FX10	62
Tabelle 21: Materialvielfalt Markforged	63
Tabelle 22: Investitionskosten Markforged FX10.....	64
Tabelle 23: Technische Merkmale WASP 4070	65
Tabelle 24: Materialvielfalt WASP	66
Tabelle 25: Investitionskosten WASP 4070 HDP	67
Tabelle 26: Technische Merkmale Bigrep Studio G2	68
Tabelle 27: Materialvielfalt BigRep	68
Tabelle 28: Investitionskosten BigRep Studio G2	70
Tabelle 29: Gegenüberstellung der Druckermodelle	71
Tabelle 30: Qualitative Bewertung Zuverlässigkeit & Druckprozess-Stabilität	74
Tabelle 31: Qualitative Bewertung Druckvolumen & Bauraumnutzung	75
Tabelle 32: Qualitative Bewertung Detailtreue & Massgenauigkeit	75
Tabelle 33: Qualitative Bewertung Materialportfolio & Funktionseignung	76
Tabelle 34: Qualitative Bewertung Betriebskosten & Investitionsrahmen	76
Tabelle 35: Qualitative Bewertung Bedienbarkeit & Integration im Betrieb	77
Tabelle 36: Qualitative Bewertung Service, Support & Skalierbarkeit.....	78
Tabelle 37: Einmalige Kosten	90
Tabelle 38: Laufende Betriebskosten	90
Tabelle 39: Wartungskosten.....	90
Tabelle 40: Gesamtkosten über 3 Jahre	90
Tabelle 41: ROI-Modell Stratasys F370	92
Tabelle 42: Break-Even-Analyse	92
Tabelle 43: Meilensteine und Zeiträume.....	100
Tabelle 44: Zeitlicher Ablauf Schulungsplan.....	104
Tabelle 45: Teilnehmende Mitarbeitende.....	104
Tabelle 46: Zielerreichung.....	108

15.4 Literatur und Quellenverzeichnis

15.4.1 Fachliteratur / Printquellen

- Gebhardt, A.; Hötter, J. (2016): Additive Fertigungsverfahren. Additive Manufacturing und 3D-Drucken für Prototyping – Tooling – Produktion. 3. Auflage, München: Hanser Verlag.
- Koch, J. (2021): 3D-Druck für die Praxis: Verfahren, Anwendungen, Maschinen. Berlin: Beuth Verlag.

15.4.2 Onlinequellen

- Protec3D GmbH (2024): Vergleich additiver Fertigungsverfahren. <https://www.protec3d.de/verfahrensvergleich>, abgerufen am 10.03.2025.
- 3DSYSTEMS (2024): MultiJet Printing Technology Overview. <https://www.3dsystems.com/mjp>, abgerufen am 15.03.2025.
- Formlabs Inc. (2024): Stereolithography Explained. <https://formlabs.com>, abgerufen am 17.03.2025.
- EOS GmbH (2024): SLS Solutions for Industry. <https://www.eos.info>, abgerufen am 16.03.2025.
- Markforged Inc. (2024): FX10 Datasheet und Materialübersicht. <https://www.markforged.com>, abgerufen am 12.04.2025.
- Stratasys Ltd. (2024): F370 Overview und GrabCAD Print. <https://www.stratasys.com>, abgerufen am 13.04.2025.
- BigRep GmbH (2024): Produktinformationen Studio G2. <https://www.bigrep.com>, abgerufen am 14.04.2025.

15.4.3 Interne Quellen / Unternehmensdokumente

- Nachbur AG (2025): Interne Besprechungsnotizen zur Bedarfsanalyse 3D-Druck.
- Nachbur AG (2025): Infrastrukturpläne Untergeschoss und Stellplatzplanung.
- Nachbur AG (2025): Technisches Pflichtenheft zur 3D-Drucker-Beschaffung.
- Nachbur AG (2025): KVP-Statistiken und Anwendungsbeispiele Prototypenfertigung.

15.4.4 Gespräche / Lieferantenkontakte

- Alphacam AG (2025): Beratungsgespräch zum Stratasys F370 inkl. Angebotsunterlagen, Schulungskonzept und Softwareintegration.
- URMA AG (2025): Vorführung SLS- und FDM-Systeme im Rahmen eines Vor-Ort-Besuchs.
- 3D-EDU / Claudio Gygax (2025): Onlinebesprechung SLA-Technologie und Einsendung von Musterteilen.
- BigRep GmbH (2025): Beratung und Angebot zum Studio G2 per Videocall und E-Mail-Korrespondenz.
- WASP / Delta WASP 4070 HDP (2025): Austausch zu Industrie-FDM-Anwendungen über Webdemo und technisches Datenblatt.

15.5 Erklärung zur Verwendung digitaler Hilfsmittel

Im Rahmen der Erstellung dieser Diplomarbeit wurden digitale Werkzeuge zur Schreib- und Rechercheunterstützung eingesetzt. Insbesondere kamen künstliche Intelligenzen wie OpenAI ChatGPT und xAI Grok zum Einsatz. Die Nutzung dieser Tools beschränkte sich auf Formulierungshilfen, sprachliche Überarbeitungen, Strukturvorschläge sowie die Reflexion von Inhalten.

Alle inhaltlichen Bewertungen, fachlichen Ausarbeitungen, Recherchen, Analysen und Schlussfolgerungen beruhen vollständig auf meiner eigenen Leistung. Die genannten Hilfsmittel dienten ausschliesslich der Unterstützung im Schreibprozess und wurden nicht zur Generierung oder Erarbeitung fachlicher Inhalte verwendet.

Alle verwendeten Quellen sind sorgfältig recherchiert, nachvollziehbar dokumentiert und im Literaturverzeichnis aufgeführt. Die Eigenständigkeit dieser Arbeit bleibt in vollem Umfang gewahrt. Die Nutzung digitaler Hilfsmittel stellt keine Verletzung der Eigenständigkeitserklärung oder der Urheberrechte dar.

15.6 Offerten der Angebotenen 3D-Drucker

15.6.1 Offerte und technische Daten des Stratasys F370

Kann bei Daniel Zimmermann angefordert werden.

15.6.2 Offerte und technische Daten des BigRep Studio 2

Kann bei Daniel Zimmermann angefordert werden.

15.6.3 Offerte und technische Daten des WASP4070

Kann bei Daniel Zimmermann angefordert werden.

15.6.4 Offerte und technische Daten des Markforged FX10

Kann bei Daniel Zimmermann angefordert werden.

15.7 Zusätzliche Diagramme und Analysen

Kann bei Daniel Zimmermann angefordert werden.

15.8 Pflichten- und Lastenheft

Siehe nächste Seite.

Pflichtenheft

Projekt Nr.: 105003

Beschaffungsvorschlag und Implementierung eines industriellen 3D-Druckers bei der Nachbur AG

Diplomand:

Name: Daniel Zimmermann
Klasse: O-TUP-22-S-a
Studienrichtung: Techniker HF Unternehmensprozesse

Auftraggeber:

Nachbur AG
Industriestrasse 248
CH-4718 Holderbank

Betreuung:

Diplomlehrer: Josef Räber
Fachexperte: Benedikt Berchtold

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	2
1 Kurzvorstellung der Firma Nachbur AG	3
1.1 Tätigkeiten der Nachbur AG	3
1.2 Hauptprodukte und Dienstleistungen der Nachbur AG.....	3
1.3 Zielgruppen und Kunden der Firma.....	3
2 Begründung der Notwendigkeit eines 3D-Druckers	4
2.1 Konkrete Problemstellung	4
2.2 Erwartete Vorteile durch die Implementierung.....	4
3 Fachexperte.....	5
3.1 Angaben zum Fachexperten	5
3.2 Rolle in der Diplomarbeit.....	5
4 Zielsetzung & Erfolgskriterien.....	6
4.1 Richtziel	6
4.2 Detaillierte Ziele	6
4.3 Zielsetzung – Qualitative vs. Quantitative Ziele.....	7
5 Technische Anforderungen	8
6 Projektstruktur & Meilensteine	9
7 Erwartete Ergebnisse	10
8 Firmenvorgaben & Methodik	11
8.1 Firmenvorgabe für die Beschaffung	11
8.2 Methodik zur Evaluierung & Auswahl	12
9 Struktur der Dokumentation	13
9.1 Anforderungen an die Abgabe	13
9.1.1 Abgabeform:	13
9.1.2 Dateiname:	13
9.1.3 Deadline:	13
9.1.4 Präsentation:	13
10 Auftragsverteilung & Genehmigung des Pflichtenhefts	14
10.1 Genehmigung des Pflichtenhefts.....	14
11 Anhang.....	15
11.1 Tabellenverzeichnis	15
11.2 Abkürzungslegende	15
11.3 Disclaimer	15

1 Kurzvorstellung der Firma Nachbur AG

1.1 Tätigkeiten der Nachbur AG

Die Nachbur AG ist ein Präzisionsfertigungsunternehmen, das sich auf CNC-Drehen und die Herstellung hochpräziser Bauteile spezialisiert hat. Das Unternehmen beschäftigt rund 95 Mitarbeiter, die in verschiedenen Bereichen der Fertigung, Qualitätssicherung und Administration tätig sind. Die Nachbur AG kombiniert jahrzehntelange Erfahrung mit modernster Fertigungstechnologie, um Kunden aus anspruchsvollen Industrien mit hochwertigen Drehteilen und Baugruppen zu versorgen.

1.2 Hauptprodukte und Dienstleistungen der Nachbur AG

Die Nachbur AG produziert Präzisionsdrehteile und Baugruppen für unterschiedliche Branchen. Das Unternehmen bietet komplette Fertigungslösungen, inklusive Drehen, Fräsen, Schleifen und Baugruppenmontage. Neben der spannenden Fertigung wird grosser Wert auf Oberflächenbehandlungen, Qualitätskontrolle und Montageprozesse gelegt.

1.3 Zielgruppen und Kunden der Firma

Zu den Kunden gehören Unternehmen aus Branchen welche höchste Anforderungen an Präzision, Materialqualität und Prozesssicherheit haben.

Diese Branchen umfassen:

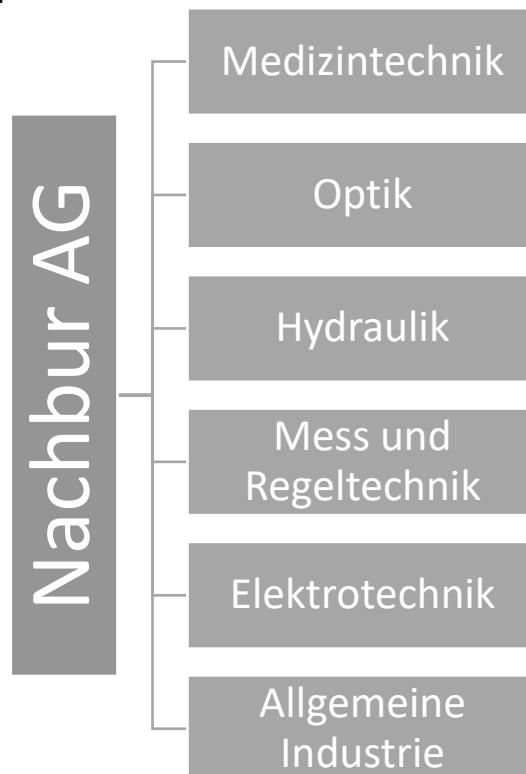


Tabelle 1: Zielgruppen & Kunden der Nachbur AG

2 Begründung der Notwendigkeit eines 3D-Druckers

2.1 Konkrete Problemstellung

Aktuell fertigt Nachbur AG einige Bauteile und Vorrichtungen intern aus Aluminium, während andere Teile extern im 3D-Druckverfahren bestellt werden. Die interne Fertigung ist jedoch mit hohem Aufwand verbunden:

- Aluminiumfrästeile sind teuer in der Herstellung, da sie Maschinenkapazitäten belegen, hohe Materialkosten verursachen und zeitaufwändig sind.
- Aluminium ist für manche Anwendungen nicht ideal, da es aufgrund seiner Härte Abdrücke hinterlassen kann, insbesondere bei empfindlichen Mess- oder Greiferanwendungen.
- Die externe Fertigung von 3D-Druck-Teilen führt zu langen Wartezeiten, höheren Kosten und einer geringeren Flexibilität.

Ein eigener 3D-Drucker würde es ermöglichen, intern viele Vorrichtungen, Messhilfen und Greifer schnell und kosteneffizient herzustellen, ohne dabei Maschinenressourcen zu blockieren oder teures Rohmaterial zu verwenden.

Das Thema ist für die Nachbur AG von praktischer wie auch strategischer Bedeutung, da die additive Fertigung ein völlig neues Produktionsfeld eröffnet, das die traditionelle Zerspanung ideal ergänzt. Der Einsatz eines 3D-Druckers würde nicht nur bestehende Prozesse verbessern, sondern auch neue Möglichkeiten für die Produktentwicklung und Fertigungseffizienz bieten.

2.2 Erwartete Vorteile durch die Implementierung

Durch die Einführung eines industriellen 3D-Druckers erwartet Nachbur AG mehrere entscheidende Vorteile:

1. **Kürzere Lieferzeiten:** Eigene Fertigung von Vorrichtungen und Prototypen reduziert die Abhängigkeit von externen Zulieferern.
2. **Kosteneinsparung:** Weniger externe Bestellungen führen zu direkten Einsparungen bei Produktionskosten.
3. **Höhere Flexibilität:** Anpassungen und Änderungen können intern schnell umgesetzt werden, ohne lange externe Abstimmungen.
4. **Erweiterung der Fertigungstiefe:** Das Unternehmen kann neue Dienstleistungen anbieten, die bisher nicht möglich waren.
5. **Kapazitätssteigerung:** Automatisierte Messungen und optimierte Vorrichtungen erhöhen die Auslastung der vorhandenen Maschinen.
6. **Wettbewerbsvorteil:** Die Fähigkeit, innovative Fertigungstechnologien wie den 3D-Druck zu nutzen, stärkt die Marktposition von Nachbur AG.

3 Fachexperte

Für die technische und fachliche Begleitung der Diplomarbeit steht Benedikt Berchtold als Fachexperte zur Verfügung. Er ist Leiter Logistik & IT sowie Mitglied der Geschäftsleitung der Nachbur AG. Durch seine langjährige Erfahrung in der Konstruktion, Prozessoptimierung und digitalen Systemintegration bringt er wertvolle Kenntnisse in die Evaluierung des 3D-Druckers ein. Seine praktische Expertise in der Metallbearbeitung und sein umfassendes Verständnis für technische Prozesse machen ihn zu einem wichtigen Ansprechpartner für die Umsetzung des Projekts.

3.1 Angaben zum Fachexperten

- **Name:** Benedikt Berchtold
- **Position:** Leiter Logistik & IT, Mitglied der Geschäftsleitung
- **Unternehmen:** Nachbur AG

3.2 Rolle in der Diplomarbeit

Benedikt Berchtold unterstützt die Diplomarbeit mit seiner technischen Erfahrung und stellt sicher, dass die entwickelten Lösungen praxisnah und umsetzbar sind. Seine Aufgaben umfassen:

1. Technische Anforderungen und Konstruktionsaspekte

Er hilft bei der Definition der technischen Anforderungen, insbesondere in Bezug auf die Materialeigenschaften, Präzision und konstruktiven Möglichkeiten des 3D-Druckers. Durch seine Erfahrung in der Konstruktion und Qualitätsprüfung kann er beurteilen, welche Anforderungen ein additiver Fertigungsprozess erfüllen muss, um für die Nachbur AG wirtschaftlich und technisch sinnvoll zu sein.

2. Validierung des Pflichtenhefts

Als Fachexperte überprüft er das Pflichtenheft und stellt sicher, dass alle relevanten Kriterien für die Auswahl eines geeigneten 3D-Druckers klar definiert sind. Dazu gehört insbesondere die Passung der Drucktechnologie zu den bestehenden Fertigungsprozessen, aber auch Aspekte wie Genauigkeit, Materialwahl und Nachbearbeitung.

3. Bewertung der Ergebnisse

Während der Diplomarbeit bewertet er die erarbeiteten Lösungen und Beschaffungsvorschläge anhand der definierten Erfolgskriterien. Sein Fokus liegt darauf, ob der 3D-Drucker in die bestehenden Produktionsabläufe integriert werden kann, welche Vorteile sich für die Prozesskette ergeben und wie sich die Technologie wirtschaftlich rechnet.

4. Fachliche Unterstützung & strategische Abstimmung

Er steht als technischer Ansprechpartner zur Verfügung und bringt seine Erfahrung ein, um sicherzustellen, dass das Projekt nicht nur technisch fundiert ist, sondern auch in die langfristige Produktionsstrategie der Nachbur AG passt.

4 Zielsetzung & Erfolgskriterien

4.1 Richtziel

Das Ziel der Diplomarbeit ist die Erstellung eines Beschaffungsvorschlags und Implementierungsplans für einen industriellen 3D-Drucker, der die Anforderungen der Nachbur AG erfüllt. Der Fokus liegt darauf, durch den Einsatz der additiven Fertigung Kosten zu senken, Produktionsprozesse zu optimieren und die Fertigungstiefe des Unternehmens zu erweitern.

4.2 Detaillierte Ziele

1. Anforderungskatalog erstellen

- Definition aller technischen, wirtschaftlichen und betrieblichen Anforderungen an den 3D-Drucker.
- Identifikation der gewünschten Materialien und Druckverfahren.

2. Marktanalyse durchführen

- Vergleich und Bewertung der gängigen 3D-Druckverfahren
- Vergleich von mindestens drei geeigneten industriellen 3D-Drucksystemen.
- Bewertung nach Kriterien wie Kosten, Druckqualität, Materialvielfalt, Betriebskosten und Integration in bestehende Prozesse.

3. Kosten-Nutzen-Analyse & Wirtschaftlichkeitsprüfung

- Berechnung der Einsparpotenziale gegenüber der aktuellen internen und externen Fertigung.
- Vergleich der Investition mit den zu erwartenden Einsparungen über einen Zeitraum von mindestens drei Jahren.

4. Implementierungsplan erarbeiten

- Planung der Einführung des 3D-Druckers in den Produktionsprozess.
- Definition von Meilensteinen, Verantwortlichkeiten und Schulungskonzepten für Mitarbeiter.

5. Empfehlung für das geeignetste System

- Auswertung der Analyseergebnisse und Ableitung einer konkreten Handlungsempfehlung.
- Erstellung eines detaillierten Lastenhefts, um eine fundierte Kaufentscheidung zu ermöglichen.

4.3 Zielsetzung – Qualitative vs. Quantitative Ziele

Qualitative Ziele	Quantitative Ziele
Technologische Erweiterung der Fertigungstiefe durch die Einführung der additiven Fertigung.	Vergleich von mindestens drei geeigneten industriellen 3D-Druckern in der Marktanalyse.
Reduktion der Abhängigkeit von externen Dienstleistern durch interne Fertigung von Bauteilen.	Kosteneinsparung in der Produktion durch eigene Herstellung von Vorrichtungen, mindestens 35'000 CHF pro Jahr (wird in der Analyse berechnet).
Flexibilität in der Fertigung steigern, z. B. durch schnellere Prototypenerstellung und Vorrichtungsbau.	Zeitersparnis in der Produktion durch reduzierte Wartezeiten bei externen Bestellungen, voraussichtlich um 85 %.
Bessere Anpassung von Vorrichtungen und Greifern an spezifische Anforderungen durch In-House-Produktion.	Erstellung eines vollständigen Anforderungskatalogs für den optimalen 3D-Drucker.
Reduzierung von Maschinenstillständen, indem Erstmuster bereits vor der Produktion auf der 3D-Messmaschine vermessen werden.	Einsparung von 80 Stunden pro Jahr durch Vorab-Messungen auf der 3D-Messmaschine anstelle von Erstmusterprüfungen in der Produktion.
Erweiterung des internen Know-hows im Bereich 3D-Druck und additive Fertigung.	Schulungskonzept für Mitarbeiter mit klar definierten Inhalten und mindestens 3 geschulten Personen.
Optimierung der Messprozesse durch den 3D-Druck von Messhilfen für Zeiss- und Wenzel-Maschinen.	Erhöhung der Messkapazität, insbesondere für Messungen über Nacht durch Mehrfachaufspannungen, um 10%.

Tabelle 2: Qualitative vs. Quantitative Ziele

5 Technische Anforderungen

Um die geplanten Anwendungen effizient umzusetzen, muss der 3D-Drucker bestimmte technische Spezifikationen erfüllen. Besonders entscheidend sind eine hohe Präzision, mechanische Stabilität der Druckteile und ein ausreichendes Bauvolumen, da viele der zu fertigenden Bauteile grossflächig oder mechanisch stark beansprucht werden. Ein geschlossener Bauraum ist notwendig, um äussere Einflüsse zu minimieren und gleichbleibende Druckbedingungen sicherzustellen.

Ein weiterer zentraler Punkt ist die Kompatibilität mit Autodesk CAD und STEP-Dateien, um eine reibungslose Integration in bestehende Entwicklungs- und Fertigungsprozesse zu gewährleisten.

Die folgende Tabelle fasst die wichtigsten technischen Anforderungen zusammen:

Kategorien	Anforderung
Drucktechnologie	SLS bevorzugt, evtl. SLA, MJF oder FDM als Alternative, abhängig von Bauteilgeometrie & mechanischen Anforderungen.
Bauraum & Druckvolumen	Mindestens 400 x 300 x 400 mm, um grössere Vorrichtungen und Mehrfachaufspannungen realisieren zu können.
Auflösung & Präzision	Sehr feine Details, minimale Massabweichung, besonders wichtig für Messvorrichtungen & Mehrfachaufspannungen.
Mechanische Eigenschaften	Hohe Festigkeit & Dimensionsstabilität, kein Verzug über längere Zeiträume, belastbar für Greif- & Haltevorrichtungen.
Materialien	Beständig gegen Öl, Kühlschmierstoffe & leichte Chemikalien. Muss zudem mechanischer Beanspruchung standhalten.
Geschwindigkeit	Mittlere bis hohe Druckgeschwindigkeit, um auch grössere Vorrichtungen innerhalb eines Werktags drucken zu können.
Werkstückträgergewicht	Muss Bauteile bis ca. 3-5 kg verarbeiten können, um stabile Vorrichtungen und Greiferkomponenten zu fertigen.
Materialkosten	Kosten pro Kilogramm Material müssen wirtschaftlich vertretbar sein, bevorzugt Pulver oder Filamente mit hoher Verfügbarkeit und konstanten Eigenschaften.
Kosten	Vertretbare Investitionskosten abhängig von der Druckertechnologie, mit einer geplanten Amortisierung innerhalb von 3-4 Jahren.
Bauraum & Gehäuse	Geschlossener Bauraum, um Staub & Warping zu vermeiden und konstante Druckbedingungen zu gewährleisten.
Materialien	Beheizte Bauplatte, automatische Druckbettnivellierung, Vibrationsstabilität
Einsatzbereich	Messvorrichtungen, Greiferbacken, Trays für Laserbeschriftung, Prototypen & Montagevorrichtungen, einsetzbar in einer industriellen Umgebung.

Tabelle 3: Technische Kriterien & Anforderungen

6 Projektstruktur & Meilensteine

Phase	Meilenstein	Zeitraum / Deadline
1. Vorbereitung & Pflichtenheft	Erstellung des Pflichtenhefts	Bis 17.03.2025
	Abgabe des Pflichtenhefts an den Diplomlehrer	17.03.2025
	Abnahme & Besprechung des Pflichtenhefts mit dem Diplomlehrer	31.03.2025
2. Start der Diplomarbeit & Recherchephase	Offizieller Start der Diplomarbeit	01.04.2025
	Detaillierte Marktanalyse	01.04 – 10.04.2025
	1. Besprechung mit dem Diplomlehrer zur Zielvalidierung	10.04.2025
3. Evaluierung & Konzeptphase	Auswahl & Bewertung passender Drucktechnologien	11.04 – 21.04.2025
	Wirtschaftlichkeitsanalyse	11.04 – 21.04.2025
	Erstellung eines Lastenhefts für Druckersystem	15.04 – 22.04.2025
	2. Besprechung mit dem Diplomlehrer (Standortbestimmung & Dokumentationsstruktur)	09.05.2025
4. Umsetzung & Testphase	Erste Testdrucke mit ausgewählten Materialien	12.05 – 17.05.2025
	Evaluierung der Testdrucke	18.05 – 21.05.2025
	Abschluss der Dokumentation & Vorbereitung der Abgabe	22.05 – 25.05.2025
5. Abgabe & Präsentation	Abgabe der vollständigen Diplomarbeit	26.05.2025
	Erstellung der Onlinepublikation	26.05 – 06.06.2025
	Deadline für Onlinepublikation	07.06.2025
	Präsentation der Diplomarbeit	KW 24 (10.06 – 14.06.2025)

Tabelle 4: Projektstruktur und Meilensteine

7 Erwartete Ergebnisse

Die erwarteten Ergebnisse der Diplomarbeit ergeben sich direkt aus den zuvor definierten Zielen und Erfolgskriterien. Sie stellen sicher, dass alle relevanten Aspekte der Analyse, Auswahl und Implementierung eines geeigneten 3D-Druckers umfassend bearbeitet werden.

Die folgenden Punkte beschreiben die konkreten Ergebnisse und Dokumente, die im Verlauf der Arbeit erarbeitet werden. Sie dienen sowohl als Nachweis für die Erfüllung der Zielsetzungen als auch als Grundlage für eine fundierte Entscheidung zur Beschaffung des 3D-Druckers.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die erwarteten Ergebnisse im Zusammenhang mit den definierten Zielen:

Ziel	Erwartetes Ergebnis
Anforderungskatalog erstellen	Dokumentierter Anforderungskatalog mit technischen, wirtschaftlichen und betrieblichen Anforderungen, abgestimmt mit der Geschäftsleitung.
Marktanalyse durchführen	Vergleichsanalyse der verschiedenen Drucktechnologien und von mindestens drei industriellen 3D-Drucksystemen, bewertet nach Kosten, Druckqualität, Materialvielfalt, Betriebskosten und Integrationsfähigkeit.
Kosten-Nutzen-Analyse & Wirtschaftlichkeitsprüfung	Berechnung der Einsparpotenziale durch eigene Fertigung im Vergleich zur bisherigen internen & externen Beschaffung. Kosten-Nutzen-Rechnung über mindestens drei Jahre.
Implementierungsplan erarbeiten	Detaillierter Implementierungsplan, inkl. Meilensteine, Verantwortlichkeiten und Schulungskonzept für Mitarbeiter zur Nutzung des 3D-Druckers.
Empfehlung für das geeignetste System	Detailliertes Lastenheft mit spezifizierten Anforderungen für den Beschaffungsprozess. Konkrete Handlungsempfehlung basierend auf den Analyseergebnissen.
Erfolgskriterien erfüllen	Alle definierten Kriterien nachweislich erfüllt: Abgestimmter Anforderungskatalog, vollständige Marktanalyse, Kosten-Nutzen-Analyse mit klarer Wirtschaftlichkeit, definierter Implementierungsplan, nachvollziehbare Empfehlung, erste Umsetzungsschritte eingeleitet.

Tabelle 5: Ziele & Erwartete Ergebnisse

8 Firmenvorgaben & Methodik

8.1 Firmenvorgabe für die Beschaffung

Die Nachbur AG verfolgt bei der Beschaffung neuer Maschinen und Technologien eine strukturierte und wirtschaftlich fundierte Vorgehensweise. Neben den technischen und wirtschaftlichen Anforderungen spielt insbesondere die strategische Ausrichtung eine entscheidende Rolle.

Die Investition in einen industriellen 3D-Drucker wird nicht nur als kurzfristige Prozessoptimierung betrachtet, sondern als zukunftsweisende Massnahme, um die Fertigungstiefe zu erweitern und die Wettbewerbsfähigkeit langfristig zu sichern.

Um diese strategischen Ziele zu erreichen, gelten für die Beschaffung folgende unternehmensinterne Vorgaben:

- Technische Anforderungen müssen klar definiert sein, insbesondere in Bezug auf Materialien, Präzision, Druckvolumen und Softwareintegration.
- Mehrere Anbieter müssen verglichen werden, um eine optimale Balance zwischen Kosten, Qualität, Zuverlässigkeit und Service zu gewährleisten.
- Eine Wirtschaftlichkeitsanalyse ist erforderlich, um sicherzustellen, dass die Investition langfristig wirtschaftlich tragfähig ist.
- Die finale Entscheidung trifft die Geschäftsleitung, basierend auf einer fundierten Empfehlung des Projektleiters.

Diese Vorgaben garantieren, dass der gewählte 3D-Drucker nicht nur kurzfristige Verbesserungen bringt, sondern auch langfristig als strategisches Fertigungstool zur Weiterentwicklung des Unternehmens beiträgt.

8.2 Methodik zur Evaluierung & Auswahl

Die Evaluierung und Auswahl des geeigneten 3D-Druckers erfolgt anhand einer systematischen Vorgehensweise. Dabei werden technische, wirtschaftliche und betriebliche Kriterien bewertet, um die bestmögliche Lösung für die Nachbur AG zu finden.

Die Diplomarbeit folgt dabei einem mehrstufigen Bewertungsprozess:

- 1. Erstellung eines Anforderungskatalogs:**
Definition der technischen, wirtschaftlichen und strategischen Anforderungen.
Abstimmung mit der Geschäftsleitung und dem Fachexperten zur Validierung der Anforderungen.
- 2. Marktanalyse & Anbietervergleich:**
Recherche und Vergleich von mindestens drei industriellen 3D-Drucksystemen.
Bewertung nach Kriterien wie Druckqualität, Materialvielfalt, Betriebskosten, Integration & Serviceleistungen.
- 3. Kosten-Nutzen-Analyse:**
Berechnung der Einsparpotenziale im Vergleich zur aktuellen internen & externen Fertigung.
Wirtschaftlichkeitsbetrachtung über mindestens drei Jahre (ROI-Berechnung).
- 4. Bewertungsmatrix & Entscheidungsfindung:**
Erstellung einer punktbasierten Entscheidungsbewertung für die Drucksysteme.
Berücksichtigung von technischen, wirtschaftlichen und strategischen Faktoren.
Ableitung einer konkreten Empfehlung für das optimale System.
- 5. Erstellung eines Implementierungsplans:**
Definition der notwendigen Schritte für die Einführung des 3D-Druckers.
Planung von Mitarbeiterschulungen und Prozessanpassungen zur optimalen Integration.

Durch diese strukturierte Methodik wird sichergestellt, dass die beste Wahl für die Nachbur AG getroffen wird, die sowohl die Fertigungsanforderungen erfüllt als auch wirtschaftlich sinnvoll ist.

9 Struktur der Dokumentation

Die Diplomarbeit wird nach den vorgegebenen Richtlinien der TEKO aufgebaut und umfasst folgende Abschnitte:

1. Deckblatt & Inhaltsverzeichnis
2. Management Summary (Kurzfassung der Arbeit & wichtigste Erkenntnisse)
3. Einleitung & Zielsetzung
4. Technische Anforderungen & Marktanalyse
5. Kosten-Nutzen-Analyse & Evaluierung
6. Implementierungsplan & Handlungsempfehlung
7. Fazit & Ausblick
8. Anhang (Pflichtenheft, Quellen, zusätzliche Daten)

9.1 Anforderungen an die Abgabe

9.1.1 Abgabeform:

- 1 PDF-Datei per E-Mail an das TEKO-Sekretariat
- 1 PDF-Datei per E-Mail an den Diplomlehrer
- Optional: 1 gebundenes Exemplar für den Diplomlehrer (falls verlangt)

9.1.2 Dateiname:

- Format: DA_2025_Nachname_Vorname_Thema.pdf

9.1.3 Deadline:

- Späteste Abgabe der Diplomarbeit: 26. Mai 2025
- Onlinepublikation bis spätestens: 7. Juni 2025

9.1.4 Präsentation:

- Die Diplomarbeit wird in KW 24 (10. – 14. Juni 2025) präsentiert
- Dauer: 15 Minuten Präsentation + Fragen der Experten
- Vorstellung der Onlinepublikation ist Bestandteil der Präsentation

10 Auftragsverteilung & Genehmigung des Pflichtenhefts

Dieses Pflichtenheft beschreibt die Anforderungen, Ziele und Rahmenbedingungen für die Diplomarbeit mit dem Titel:

"Beschaffungsvorschlag und Implementierung eines industriellen 3D-Druckers bei der Nachbur AG"

Die Arbeit wird im Auftrag der Nachbur AG durchgeführt und durch die Geschäftsleitung sowie den Fachexperten begleitet. Die folgende Tabelle zeigt die Aufteilung der Verantwortlichkeiten:

Rolle	Name	Funktion
Auftraggeber	Michel Viandante	Technischer Leiter, Mitglied der Geschäftsleitung
Fachexperte	Benedikt Berchtold	Leiter Logistik & IT, Mitglied der Geschäftsleitung
Diplomand	Daniel Zimmermann	Student HF Unternehmensprozesse
Diplomlehrer	Joe Räber	TEKO Olten

Tabelle 6: Rollen, Namen & Funktionen

10.1 Genehmigung des Pflichtenhefts

Mit den folgenden Unterschriften wird dieses Pflichtenheft genehmigt und als Grundlage für die Diplomarbeit anerkannt.

Ort: Holderbank

Datum: 17.03.2025

Rolle	Name	Unterschrift
Auftraggeber	Michel Viandante	
Fachexperte	Benedikt Berchtold	
Diplomand	Daniel Zimmermann	
Diplomlehrer	Joe Räber	

Tabelle 7: Unterschriften aller beteiligten

11 Anhang

11.1 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zielgruppen & Kunden der Nachbur AG	3
Tabelle 2: Qualitative vs. Quantitative Ziele	7
Tabelle 3: Technische Kriterien & Anforderungen	8
Tabelle 4: Projektstruktur und Meilensteine	9
Tabelle 5: Ziele & Erwartete Ergebnisse	10
Tabelle 6: Rollen, Namen & Funktionen	14
Tabelle 7: Unterschriften aller beteiligten	14
Tabelle 8: Abkürzungslegende	15

11.2 Abkürzungslegende

Abkürzung	Erklärung
3D-Druck	Dreidimensionales Drucken – additive Fertigungstechnologie
GL	Geschäftsleitung
HF	Höhere Fachschule
ROI	Return on Investment – Wirtschaftlichkeitskennzahl zur Rentabilitätsbewertung
TEKO	Technische Kaufmännische Berufsschule
SLS	Selektives Lasersintern
SLA	Stereolithography
MJP	Multi Jet Printing
MJF	Multi Jet Fusion
FDM	Fused Deposition Modeling

Tabelle 8: Abkürzungslegende

11.3 Disclaimer

Die Inhalte dieser Arbeit basieren auf eigener Analyse, internen Informationen der Nachbur AG sowie Unterlagen der TEKO. Alle verwendeten Daten und Erkenntnisse stammen aus diesen Quellen. Zur sprachlichen Optimierung und Rechtschreibprüfung wurde unterstützend künstliche Intelligenz (KI) eingesetzt, jedoch ohne inhaltliche Änderungen oder externe Einflussnahme auf die fachlichen Inhalte.

Lastenheft

Projekt Nr.: 0105003

Beschaffung und Implementierung eines industriellen
3D-Druckers bei der Nachbur AG

Lieferantenkreis:

Hersteller und Anbieter industrieller 3D-Drucker mit technischer Unterstützung und Schulungsangebot.

Auftraggeber:

Nachbur AG
Industriestrasse 248
CH-4718 Holderbank

Projektleiter:

Daniel Zimmermann



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	2
1 Konzept und Rahmenbedingungen	3
1.1 Ziele und Nutzen des Anwenders.....	3
1.2 Rahmenbedingungen.....	3
2 Technische Anforderungen	4
2.1 Anforderungskatalog	4
2.2 Prozesse & Anwendungen in der Nachbur AG.....	5
2.2.1 Prototypen zum Einfahren der 3-D Messmaschinen (Zeiss & Wenzel).....	5
2.2.2 Messvorrichtungen für 3D-Messmaschinen (Zeiss & Wenzel)	6
2.2.3 Mehrfachaufspannungen für 3D-Messmaschinen (Zeiss & Wenzel)	7
2.2.4 Kacheln für autonomes Teilehandling	8
2.2.5 Greiferbacken für CNC-Drehmaschinen	9
2.2.6 Trays für die Laserbeschriftung	10
2.2.7 Montagevorrichtungen	11
2.2.8 Prototypen & Allgemeine Fertigungsteile	12
2.3 Betrieb und Wartung	13
2.4 Liefer- und Vertragsbedingungen	13
3 Abnahmebedingungen	14
3.1 Klasse 1: Kritische Mängel – Keine Abnahme möglich	14
3.2 Klasse 2: Wesentliche Mängel – Abnahme mit Auflagen	14

1 Konzept und Rahmenbedingungen

1.1 Ziele und Nutzen des Anwenders

Die Nachbur AG beabsichtigt die Beschaffung eines industriellen 3D-Druckers zur Herstellung von Prototypen, Vorrichtungen und Fertigungshilfsmitteln. Ziel ist es, die Produktionsprozesse effizienter zu gestalten, die Abhängigkeit von externen Zulieferern zu reduzieren und die Fertigungstiefe zu erweitern.

Durch den Einsatz eines geeigneten 3D-Druckers sollen insbesondere folgende Vorteile erzielt werden:

- Kostensenkung durch Reduktion externer Fertigungsaufträge und effizientere Nutzung interner Ressourcen.
- Flexibilitätssteigerung durch eine schnelle Anpassung und Umsetzung von Konstruktionsänderungen.
- Prozessoptimierung durch die interne Herstellung von Messvorrichtungen, Greifern und weiteren Betriebsmitteln.
- Zeitersparnis durch kürzere Produktionszeiten und Wegfall logistischer Abhängigkeiten.
- Technologische Erweiterung der Fertigungskapazitäten um additive Fertigungstechnologien, um innovative Lösungen schneller realisieren zu können.

Dieses Lastenheft definiert die technischen, wirtschaftlichen und betrieblichen Anforderungen, die von potenziellen Lieferanten erfüllt werden müssen. Es bildet die Grundlage für die Angebotsbewertung und die Auswahl des optimalen Drucksystems.

1.2 Rahmenbedingungen

Die Beschaffung des industriellen 3D-Druckers erfolgt als gezielte Investition zur Optimierung der Fertigungsprozesse bei der Nachbur AG. Die nachfolgenden Rahmenbedingungen definieren die grundlegenden Anforderungen an das System und die Implementierung:

- **Einsatzumgebung:** Der 3D-Drucker wird in einer industriellen Umgebung betrieben und muss für einen Dauerbetrieb unter Produktionsbedingungen geeignet sein.
- **Platzbedarf:** Die verfügbare Stellfläche ist begrenzt. Das System muss entweder kompakt sein oder eine modulare Erweiterungsmöglichkeit bieten.
- **Kompatibilität mit bestehender Software:** Der Drucker muss vollständig mit Autodesk Inventor kompatibel sein und CAD-Dateiformate wie STEP und STL verarbeiten können.
- **Druckmaterialien:** Die verwendbaren Materialien müssen mechanisch stabil sein und eine hohe Maßhaltigkeit bieten. Zudem müssen sie beständig gegen Öle, Kühlschmierstoffe und Chemikalien sein, da viele Bauteile in direktem Kontakt mit Produktionsprozessen stehen.
- **Wirtschaftlichkeit:** Die Kosten für Anschaffung, Verbrauchsmaterialien und Wartung müssen wirtschaftlich tragbar sein. Die Amortisation des Systems sollte innerhalb von 3–4 Jahren erfolgen.
- **Service und Wartung:** Der Lieferant muss einen zuverlässigen Wartungs- und Reparaturservice anbieten. Ersatzteile müssen innerhalb von 48 Stunden verfügbar sein, um Stillstandzeiten zu minimieren.
- **Zukunftssicherheit:** Das System sollte erweiterbar sein und technologische Weiterentwicklungen berücksichtigen, um auch langfristig nutzbar zu bleiben.

Diese Rahmenbedingungen bilden die Grundlage für die technischen und wirtschaftlichen Anforderungen im weiteren Verlauf des Lastenhefts.

2 Technische Anforderungen

Die Auswahl des 3D-Druckers erfolgt basierend auf den spezifischen Anforderungen der Nachbur AG. Der Drucker muss für den industriellen Einsatz geeignet sein und eine hohe Maßhaltigkeit sowie mechanische Stabilität gewährleisten.

2.1 Anforderungskatalog

Die folgende Tabelle fasst die wichtigsten technischen Anforderungen zusammen:

Kategorien	Anforderung
Drucktechnologie	FDM bevorzugt, evtl. SLA, MJF, MJP oder SLS als Alternative, abhängig von Bauteilgeometrie & mechanischen Anforderungen.
Bauraum & Druckvolumen	Mindestens 400 x 300 x 400 mm, um größere Vorrichtungen und Mehrfachaufspannungen realisieren zu können.
Auflösung & Präzision	Sehr feine Details, maximale Maßabweichung $\pm 0.15\text{mm}$, besonders wichtig für Messvorrichtungen & Mehrfachaufspannungen.
Mechanische Eigenschaften	Hohe Festigkeit & Dimensionsstabilität, kein Verzug über längere Zeiträume, belastbar für Greif- & Haltevorrichtungen.
Materialien	Beständig gegen Öl, Kühlschmierstoffe & leichte Chemikalien. Muss zudem mechanischer Beanspruchung standhalten.
Geschwindigkeit	Mittlere bis hohe Druckgeschwindigkeit, um auch größere Vorrichtungen innerhalb eines Werktags drucken zu können.
Werkstückträgergewicht	Muss Bauteile bis ca. 3-5 kg verarbeiten können, um stabile Vorrichtungen und Greiferkomponenten zu fertigen.
Materialkosten	Kosten pro Kilogramm Material müssen wirtschaftlich vertretbar sein, bevorzugt Pulver oder Filamente mit hoher Verfügbarkeit und konstanten Eigenschaften.
Kosten	Vertretbare Investitionskosten abhängig von der Druckertechnologie, mit einer geplanten Amortisierung innerhalb von 3-4 Jahren.
Bauraum & Gehäuse	Geschlossener Bauraum, um Staub & Warping zu vermeiden und konstante Druckbedingungen zu gewährleisten.
Materialien	Beheizte Bauplatte, automatische Druckbettnivellierung, Vibrationsstabilität
Einsatzbereich	Messvorrichtungen, Greiferbacken, Trays für Laserbeschriftung, Prototypen & Montagevorrichtungen, einsetzbar in einer industriellen Umgebung.

Tabelle 1: Anforderungskatalog

2.2 Prozesse & Anwendungen in der Nachbur AG

2.2.1 Prototypen zum Einfahren der 3-D Messmaschinen (Zeiss & Wenzel)

Die 3D-gedruckten Prototypen und Neuteile dienen dazu, neue Bauteile vor der eigentlichen Serienfertigung auf den Zeiss- und Wenzel-Koordinatenmessmaschinen (KMGs) einzufahren. Diese Modelle sind exakte Nachbildungen der später zu fertigenden Teile und ermöglichen es, Messprogramme im Voraus zu erstellen und zu testen, bevor die ersten echten Bauteile aus der Produktion eintreffen.

Funktion & Einsatzzweck:

1. Voreinstellen und Optimieren der Messprogramme, bevor die ersten Bauteile aus der Fertigung kommen, um wertvolle Maschinenzeit zu sparen.
2. Vermeidung von Produktionsverzögerungen, da Messstrategien bereits getestet wurden, bevor echte Bauteile verfügbar sind.
3. Reduzierung von Ausschuss, da potenzielle Messprobleme erkannt und behoben werden, bevor die Serienproduktion startet.
4. Optimierung der Tasterbahnen & Messreihenfolge, um den Messprozess effizienter zu gestalten.

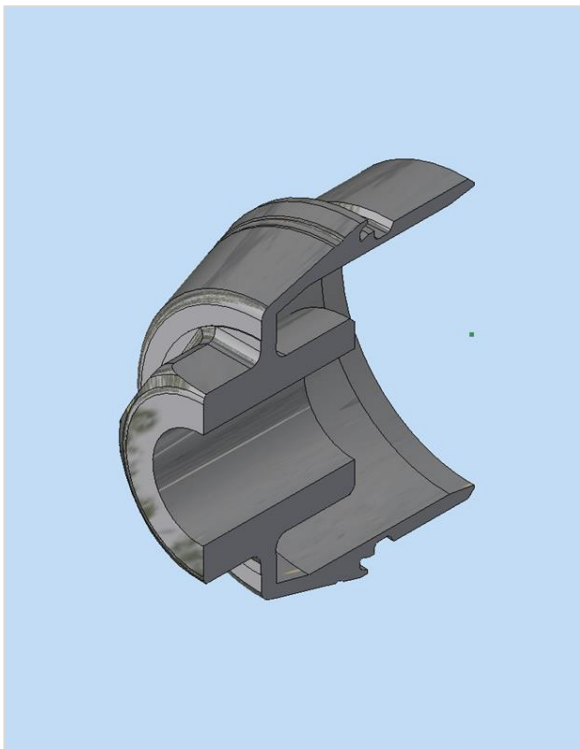


Abbildung 1: CAD-Darstellung
Zylinderverschlusschraube

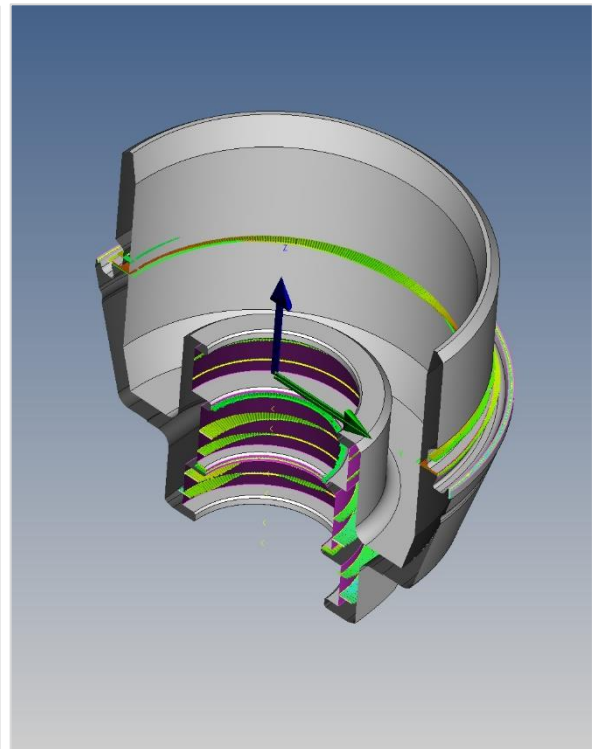


Abbildung 2: Messbahnen Zeiss Calypso
Zylinderverschlusschraube

2.2.2 Messvorrichtungen für 3D-Messmaschinen (Zeiss & Wenzel)

Die Messvorrichtungen sind individuell angepasste Halterungen, die Werkstücke exakt positionieren und für wiederholbare, hochpräzise Messungen auf den Zeiss- und Wenzel-Koordinatenmessmaschinen (KMGs) sorgen. Diese Vorrichtungen werden je nach Bauteilgeometrie gefertigt, um Messfehler durch falsche Positionierung zu vermeiden.

Funktion & Einsatzzweck:

1. Stabile Fixierung des Werkstücks, um während der Messung Bewegungen und Lageabweichungen zu verhindern.
2. Vermeidung von Messfehlern, da das Werkstück exakt ausgerichtet ist und die Messtaster präzise ansetzen können.
3. Mehrfachaufspannungen ermöglichen parallele Messungen, z. B. von Serienteilen oder für automatisierte Nachmessungen.



Abbildung 3: Messvorrichtung Housing-Actuator



Abbildung 4: Haltevorrichtung für Messtaster Zeiss

2.2.3 Mehrfachaufspannungen für 3D-Messmaschinen (Zeiss & Wenzel)

Mehrfachaufspannungen sind individuell angefertigte Halterungen, die es ermöglichen, mehrere Werkstücke nacheinander auf den Zeiss- und Wenzel-Koordinatenmessmaschinen zu positionieren. Diese Vorrichtungen sind modular aufgebaut, sodass verschiedene Bauteilgrößen aufgenommen werden können.

Funktion & Einsatzzweck:

1. Erhöhung der Messkapazität, da man mehrere Bauteile hintereinander messen kann, ohne manuelles Umrüsten.
2. Reduzierung der Messzeiten, besonders bei Serienmessungen oder autonomen Messungen über Nacht.
3. Effizientere Nutzung der Messmaschinen über Nacht, da eine größere Anzahl an Teilen in einem Durchgang geprüft werden.
4. Zeitersparnis für das Bedienpersonal, da weniger Eingriffe und Umspannvorgänge notwendig sind.



Abbildung 5: Mehrfachaufspannung Wenzel



Abbildung 6: Mehrfachaufspannung Zeiss

2.2.4 Kacheln für autonomes Teilehandling

Die 3D-gedruckten Kacheln sind speziell geformte Werkstückaufnahmen, die auf einem Rundtisch angebracht werden. Sie dienen dazu, empfindliche Bauteile aus einem Förderband zu übernehmen und geordnet zu separieren, um Beschädigungen zu vermeiden. Die Kacheln sind exakt auf die Form der Werkstücke angepasst, sodass sie sicher fixiert sind und keine unkontrollierte Bewegung oder Kollisionen entstehen.

Funktion & Einsatzzweck:

1. Verhindert Beschädigungen empfindlicher Teile, indem sie aus dem Förderband in eine passgenaue Aufnahme überführt werden.
2. Ermöglicht geordnetes, automatisiertes Teilehandling, z. B. für nachfolgende Prozesse wie Messen, Verpacken oder Weiterbearbeiten.
3. Flexibilität durch 3D-Druck, da die Kacheln einfach an neue Werkstückgeometrien angepasst und schnell ersetzt werden können.
4. Rückverfolgbarkeit nach autonomem Betrieb, da die Kachelpositionen definiert sind und dadurch SPC-Messungen (Statistical Process Control) erleichtert werden.



Abbildung 7: Entnahmekachel mit Teil



Abbildung 8: Entnahmekachel

2.2.5 Greiferbacken für CNC-Drehmaschinen

Die Greiferbacken sind austauschbare Greifelemente, die in CNC-Drehmaschinen zur schonenden und präzisen Entnahme von Bauteilen aus der Spindel verwendet werden. Sie werden an bestehenden Greifern montiert und individuell an die jeweilige Werkstückgeometrie angepasst.

In vielen Fällen haben die Greiferbacken eine Prismenform, um rotationssymmetrische Teile sicher zu greifen. Bei komplexeren Bauteilgeometrien sind spezielle, maßgeschneiderte Greifprofile erforderlich, die durch 3D-Druck schnell und kosteneffizient realisiert werden können.

Funktion & Einsatzzweck:

1. Individuelle Anpassung an unterschiedliche Werkstückformen, um eine sichere und schonende Entnahme aus der CNC-Drehmaschine zu ermöglichen.
2. Ersatz für gefräste oder konventionell gefertigte Greiferbacken, wodurch Maschinenkapazitäten entlastet und Materialkosten reduziert werden.
3. Vermeidung von Oberflächenbeschädigungen, indem das Greifmaterial so gewählt wird, dass keine Spanmarken auf empfindlichen Teilen entstehen.
4. Flexibilität durch schnelle Neuanfertigung, falls sich Bauteilgeometrien ändern oder spezielle Formen benötigt werden.
5. Geringeres Gewicht als herkömmliche Metallbacken, was die Dynamik von Handling-Systemen verbessert und den Verschleiß reduziert.

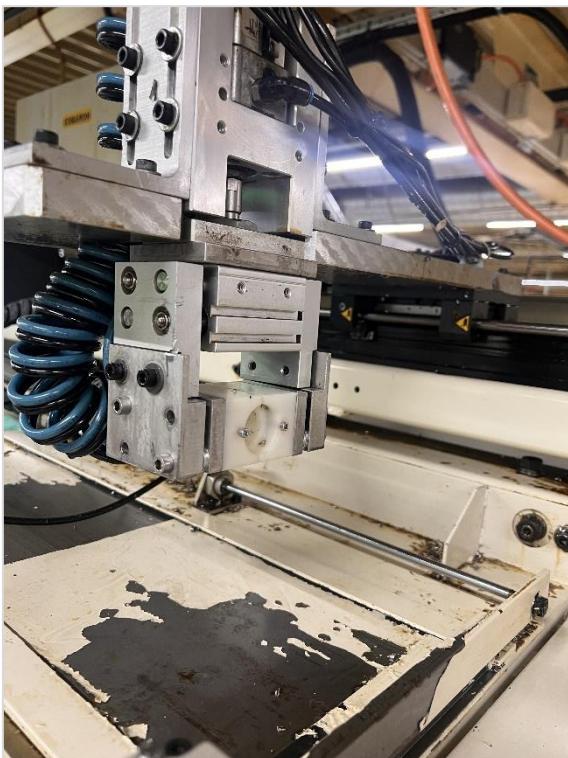


Abbildung 9: Greifer Teilehandling Okuma



Abbildung 10: Greifer Teilehandling Citizen

2.2.6 Trays für die Laserbeschriftung

Die 3D-gedruckten Trays sind speziell angefertigte Werkstückaufnahmen, die es ermöglichen, mehrere Bauteile gleichzeitig exakt zu positionieren, damit die Laserbeschriftungsanlage sie nacheinander automatisch beschriften kann. Die Trays sind so konstruiert, dass die Bauteile sicher in der vorgesehenen Position fixiert werden und während des Laservorgangs nicht verrutschen.

Funktion & Einsatzzweck:

1. Ermöglicht das automatische Beschriften mehrerer Werkstücke hintereinander, ohne dass manuelle Eingriffe zwischen den einzelnen Laservorgängen erforderlich sind.
2. Präzise Fixierung der Bauteile, um eine gleichmäßige und wiederholbare Lasergravur sicherzustellen.
3. Optimierung des Durchsatzes, da mehrere Teile gleichzeitig eingelegt werden können, wodurch Stillstandszeiten minimiert werden.
4. Flexibilität durch 3D-Druck, da Trays schnell und kosteneffizient an neue Bauteilgeometrien angepasst werden können.



Abbildung 11: Tray Housing-Actuator Front



Abbildung 12: Tray Housing-Actuator Rückseite

2.2.7 Montagevorrichtungen

Montagevorrichtungen sind essenzielle Hilfsmittel in der Fertigung, um Bauteile während des Montageprozesses präzise zu positionieren, zu fixieren oder auszurichten. In vielen Fällen müssen diese Vorrichtungen speziell für ein bestimmtes Bauteil entwickelt werden, was mit konventionellen Fertigungsmethoden aufwendig und teuer sein kann.

Durch den 3D-Druck bietet sich eine optimale Lösung, um maßgeschneiderte Montagevorrichtungen schnell und kosteneffizient herzustellen. Anpassungen an die Bauteilgeometrie können flexibel vorgenommen werden, wodurch Prototypen und Serienvorrichtungen innerhalb kurzer Zeit gefertigt werden können.

Funktion & Einsatzzweck:

1. Sichere Fixierung von Bauteilen, um Positionsabweichungen während des Montageprozesses zu vermeiden.
2. Optimierung der Prozesssicherheit, indem eine wiederholbare und standardisierte Positionierung sichergestellt wird.
3. Zeitersparnis in der Montage, da manuelle Anpassungen und wiederholte Justierungen entfallen.
4. Reduzierung von Ausschuss und Nacharbeit, da präzise fixierte Bauteile weniger anfällig für Fehler oder Beschädigungen sind.
5. Flexibilität durch 3D-Druck, da Vorrichtungen individuell an neue Bauteile, Produktionsanforderungen oder Prozessoptimierungen angepasst werden können.

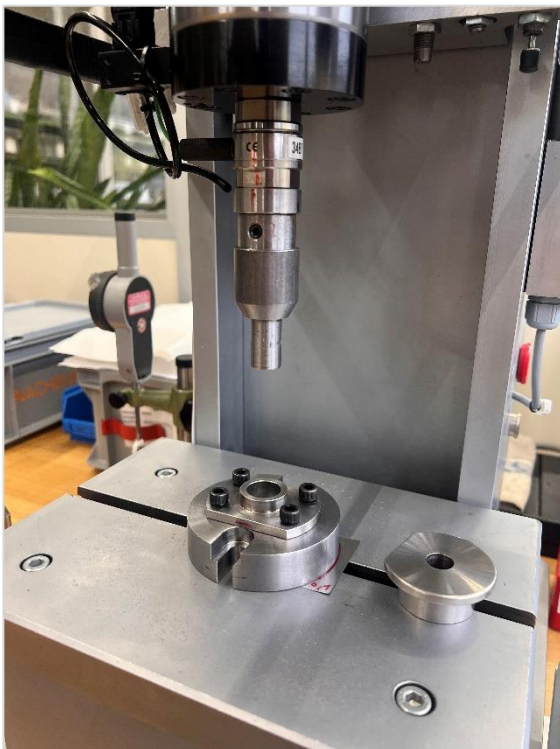


Abbildung 13: Zentriervorrichtung zum Einpressen



Abbildung 14: Einlegevorrichtung zum Entmagnetisieren von Teilen

2.2.8 Prototypen & Allgemeine Fertigungsteile

Neben spezialisierten Anwendungen wie Mess- und Montagevorrichtungen bietet der 3D-Druck eine Vielzahl weiterer Einsatzmöglichkeiten in der Fertigung. Mit einem industriellen 3D-Drucker können Prototypen, funktionale Testmodelle sowie individuelle Fertigungshilfen schnell und kosteneffizient hergestellt werden.

Gerade in einem Umfeld, in dem Flexibilität und schnelle Anpassungen gefragt sind, ermöglicht der 3D-Druck eine unkomplizierte Umsetzung neuer Konzepte, Geometrien oder Prozessoptimierungen. Dies reduziert lange Wartezeiten auf externe Fertigungspartner und schafft eine unmittelbare Verfügbarkeit von benötigten Teilen direkt im Unternehmen.

Funktion & Einsatzzweck:

1. Schnelle Verfügbarkeit von Prototypen, um Designs zu validieren und Anpassungen vor der Serienproduktion vorzunehmen.
2. Kosteneinsparung in der Entwicklung, da Iterationen direkt vor Ort gefertigt werden können, ohne externe Produktionswege.
3. Erweiterung der internen Fertigungsmöglichkeiten, indem individuelle Hilfsmittel und Betriebsmittel flexibel hergestellt werden.
4. Reduzierung von Wartezeiten auf Ersatzteile, indem defekte oder nicht mehr erhältliche Komponenten durch eigene 3D-Drucklösungen ersetzt werden.
5. Kreativer Spielraum für Prozessoptimierungen, da innovative Lösungen schnell und ohne hohen Kostenaufwand umgesetzt werden können.

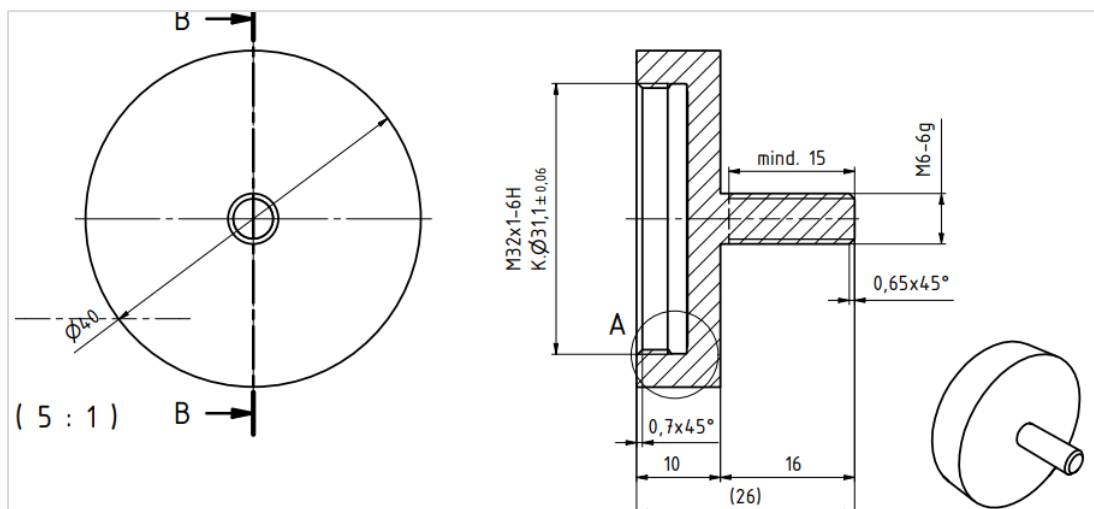


Abbildung 15: Prototyp Abdeckung Precursor Body

2.3 Betrieb und Wartung

Der 3D-Drucker muss für den dauerhaften industriellen Einsatz ausgelegt sein und einen stabilen, wartungsarmen Betrieb ermöglichen.

Energieverbrauch und Betriebsbedingungen:

- Der Drucker muss energieeffizient arbeiten und für den 24/7-Betrieb geeignet sein.
- Er muss in einer Werkstattumgebung mit Temperaturschwankungen und möglicher Staubbelastung zuverlässig funktionieren.

Wartung, Service und Ersatzteile:

- Der Lieferant muss regelmäßige Wartungsempfehlungen sowie eine Ersatzteilverfügbarkeit von mindestens 5 Jahren garantieren.
- Ein Vor-Ort-Service innerhalb von 48 Stunden ist erforderlich, um Produktionsausfälle zu minimieren.
- Software-Updates und technischer Support müssen über die gesamte Laufzeit verfügbar sein.

2.4 Liefer- und Vertragsbedingungen

Lieferumfang und Installation:

- Der Drucker muss einsatzbereit geliefert und installiert werden, inklusive Ersteinrichtung und Testläufen.
- Alle erforderlichen Komponenten (z. B. Materialhandling-Systeme, Kühlung, Software) müssen enthalten sein.
- Eine Schulung für das Bedienpersonal muss im Lieferumfang enthalten sein.

Garantie und Servicelevel:

- Mindestens 24 Monate Garantie auf alle Hauptkomponenten.
- Option auf erweiterte Wartungsverträge mit definierten Reaktionszeiten.

Testphase und Abnahme:

- Vor der finalen Abnahme müssen Testdrucke mit Nachbur-spezifischen Bauteilen durchgeführt werden.
- Die Testbauteile müssen folgende Kriterien erfüllen:
 - Maßhaltigkeit innerhalb der definierten Toleranzen
 - Mechanische Stabilität entsprechend den Anforderungen
 - Oberflächenqualität ohne signifikante Defekte
- Erst nach erfolgreicher Prüfung erfolgt die endgültige Abnahme des Systems.

3 Abnahmebedingungen

Bei der Übergabe des 3D-Druckers erfolgt nach den definierten Funktionstests eine gemeinsame Abnahmeprüfung zwischen dem Lieferanten und der Nachbur AG. Der Lieferant muss rechtzeitig gemäß Projektplan einen Termin für die Abnahmeprüfung mit dem Kunden vereinbaren.

Über die Abnahmeprüfung und deren Ergebnisse wird ein Protokoll erstellt, das von beiden Parteien unterzeichnet wird. Während der Prüfung auftretende Mängel werden in folgende Klassen eingeteilt:

3.1 Klasse 1: Kritische Mängel – Keine Abnahme möglich

Ein wirtschaftlich oder technisch sinnvoller Einsatz des 3D-Druckers ist nicht möglich. In diesem Fall kann die Nachbur AG die Abnahme verweigern. Sollte der Mangel nicht innerhalb von 3 Monaten nach geplanter Inbetriebnahme behoben werden, hat die Nachbur AG das Recht, ohne Kostenfolge vom Vertrag zurückzutreten. Bereits geleistete Anzahlungen müssen vom Lieferanten innerhalb von 30 Tagen vollständig zurückerstattet werden.

Als kritischer Mangel gilt insbesondere:

- Die Druckgenauigkeit entspricht nicht den vereinbarten Toleranzen, wodurch ein wirtschaftlicher Einsatz nicht möglich ist.
- Schnittstellenprobleme verhindern die Integration in bestehende Systeme (z. B. keine Anbindung an Autodesk Inventor oder Netzwerkkommunikation).
- Die Materialverarbeitung ist fehlerhaft (z. B. unzureichende Schichthaftung, unerwarteter Verzug oder unbrauchbare Oberflächenqualität).
- Softwarefehler führen zu unzuverlässigem oder nicht steuerbarem Druckprozess.

3.2 Klasse 2: Wesentliche Mängel – Abnahme mit Auflagen

Die Kernfunktionen des 3D-Druckers sind gegeben, jedoch fehlt eine wesentliche Teilfunktion oder ist nur eingeschränkt nutzbar. Dadurch ist der Betrieb erschwert, aber nicht unmöglich. In diesem Fall erfolgt die Abnahme unter der Bedingung, dass der Lieferant innerhalb einer vereinbarten Frist die Mängel beseitigt. Bis zur vollständigen Behebung werden 15 % des Auftragswertes zurückgehalten.

Als wesentlicher Mangel gilt insbesondere:

- Der Druckprozess erfüllt die meisten Anforderungen, weist jedoch inkonsistente Ergebnisse auf.
- Schnittstellenprobleme schränken die Automatisierung ein, aber eine manuelle Bedienung ist möglich.
- Softwareeinschränkungen führen zu Einschränkungen im Workflow, aber der Drucker bleibt funktionsfähig.

Alle Mängel werden im Abnahmeprotokoll dokumentiert. Die Nachbur AG behält sich das Recht vor, bei nicht fristgerechter Behebung von Klasse-2-Mängeln weitere Maßnahmen zu ergreifen.