

Resümee des BLE-Projektes DiKoRo:

Digitales Prozessmodell für die handwerksnahe Produktion von individuellen Lebensmitteln mit Hilfe von Robotersystemen

Ein Projekt des Forschungsclusters Lebens(mittel)qualitäten



DiKoRo

SIMPLAN

Schulze
seit 1830

LUPEG

SCHUBERT

NIEDEREGGER
LÜBECK

HOCHSCHULE HANNOVER
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES AND ARTS
Fakultät II
Maschinenbau und Bioverfahrenstechnik

Rolf Peters
Projektmanagement

Gefördert durch
Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Projektträger
Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung

H

Laufzeit: 2020 – 2023 (Endbericht 05/2024)

Ausgangssituation – Motivation - Produktbereiche



Produktbereich 1



Produktbereich 2



Royal Icing



Laugen-g Gebäck



Herzogin-kartoffeln



Verdünntes Marzipan



Marzipan



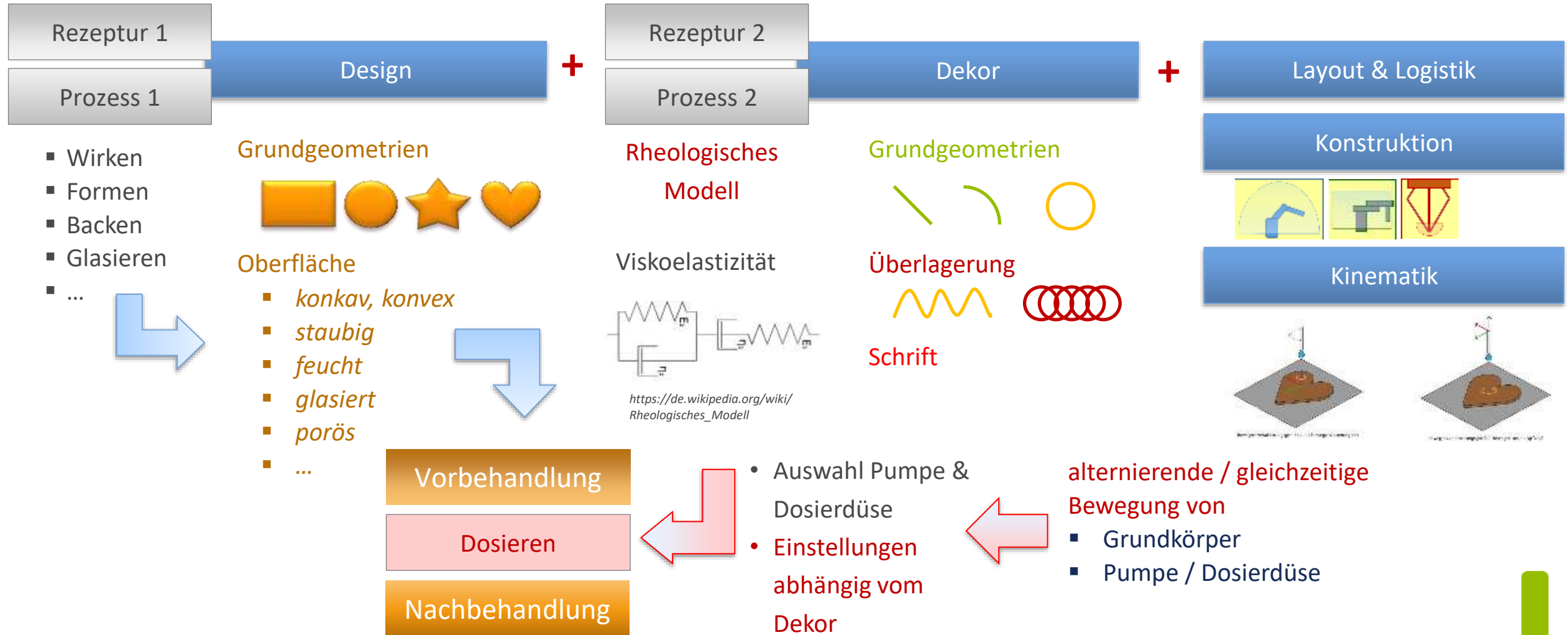
Keks-teig



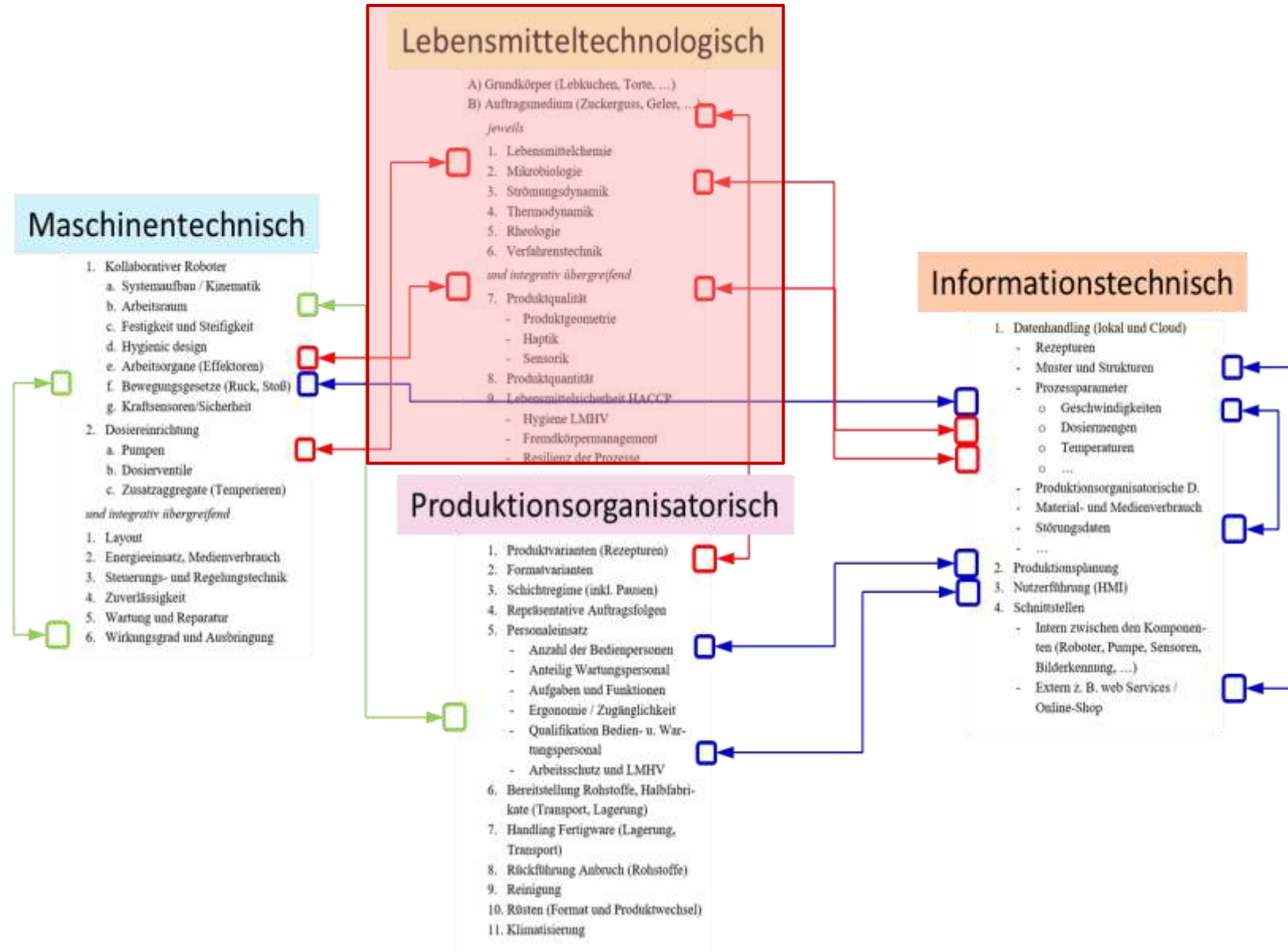
Fondant



Herausforderungen (erster Überblick zu Projektbeginn)

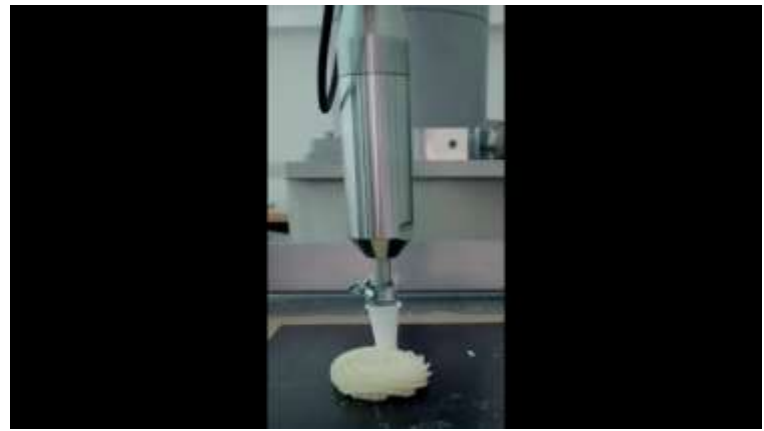
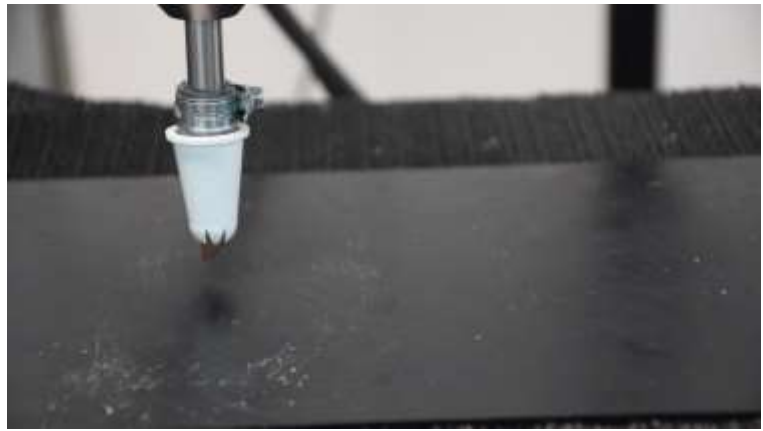


Umfangreiche lebensmitteltechnologische Untersuchungen und Roboterexperimente



Umfangreiche lebensmitteltechnologischer Untersuchungen und Roboterexperimente

Gefördert durch
 Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
 Projektträger
 Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
 aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

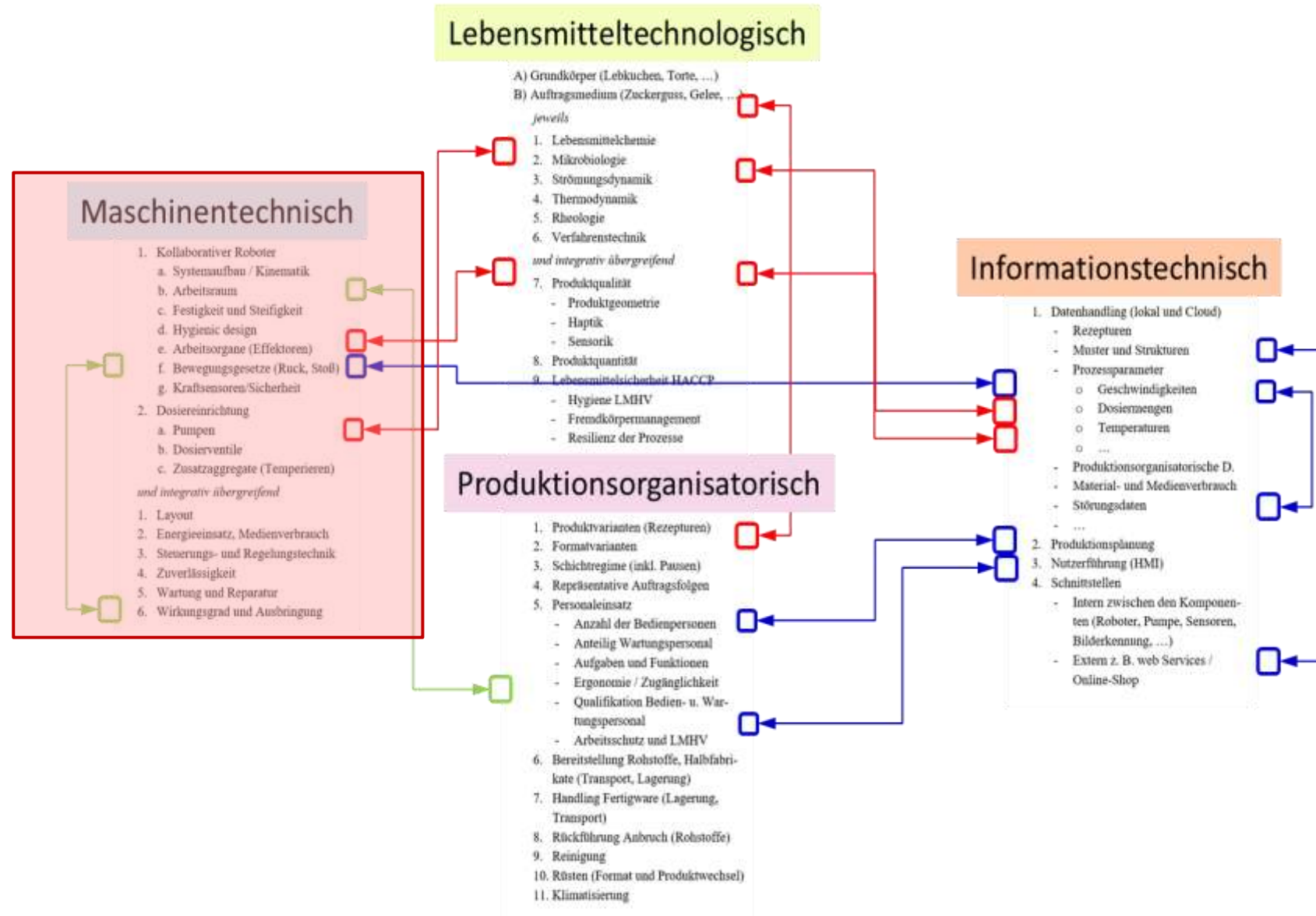


Maschinentechnische Ausrüstung – freiprogrammierbare 3D Systeme → sogen. „Roboter“

Gefördert durch



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

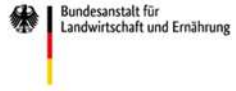


Maschinentechnische Ausrüstung – freiprogrammierbare 3D Systeme → sogen. „Roboter“

Gefördert durch



Projektträger



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Scara-System

Portal-Systeme

Auftragende Verfahren

Abtragendes Verf.

Toshiba Scara Roboter Typ: TH850 4-Achser



Pumpe direkt am Roboterarm befestigt und
komplett mitbewegt

Betrieb als kollaboratives System
nicht möglich!

IGUS Raumportalroboter DLE-RG-0001



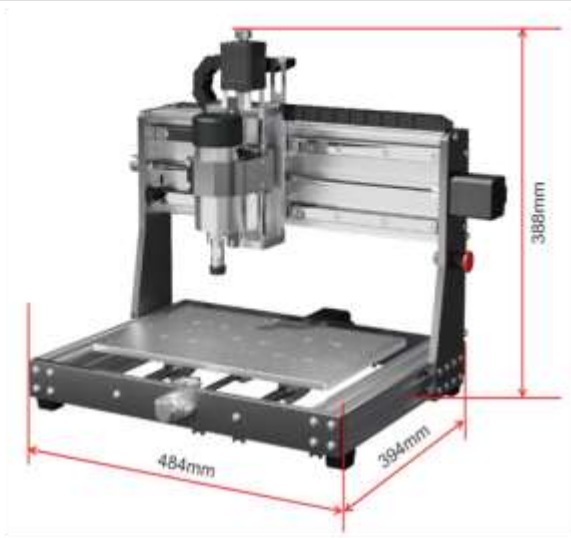
Pumpe stationär am Gestell
Düse über Schlauch verbunden

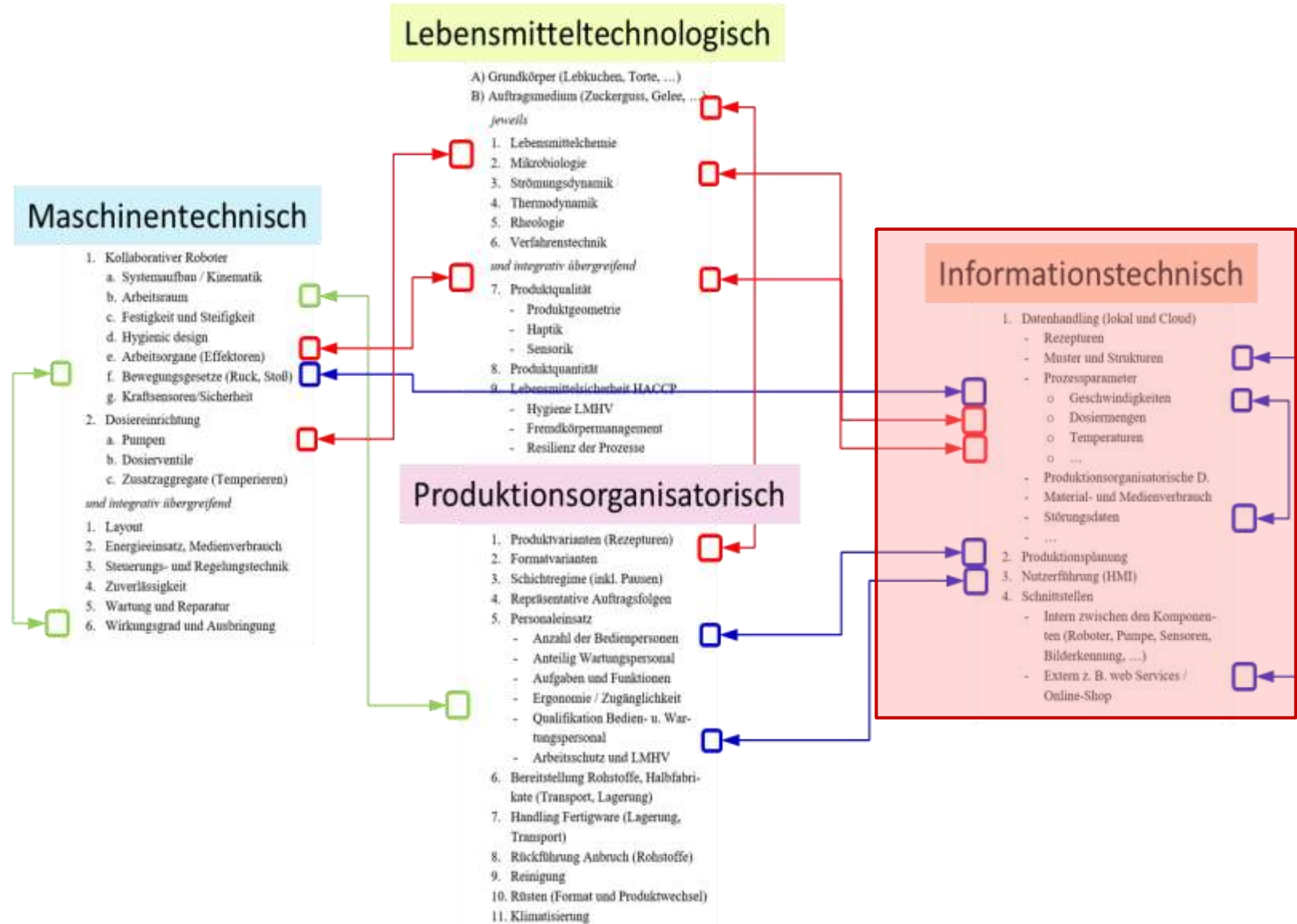
Betrieb als kollaboratives System über
Gameport möglich

3D Drucker der Firma Ultimaker Typ: Extended 2



CNC Fräse SaintSmart Genmitsu 3020-PRO MAX





Informationstechnische Aspekte

Konzept Simulation in the Cloud und Schnittstellen Simulate3D [SimPlan AG vgl. vorhergehender Vortrag]



Gefördert durch



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Projekträger



Alternatives Framework Konzept für Digitale Zwillinge

www.embarcadero.com/de/products/rad-studio/windows-development



... Vielfalt der Methoden und Technologien



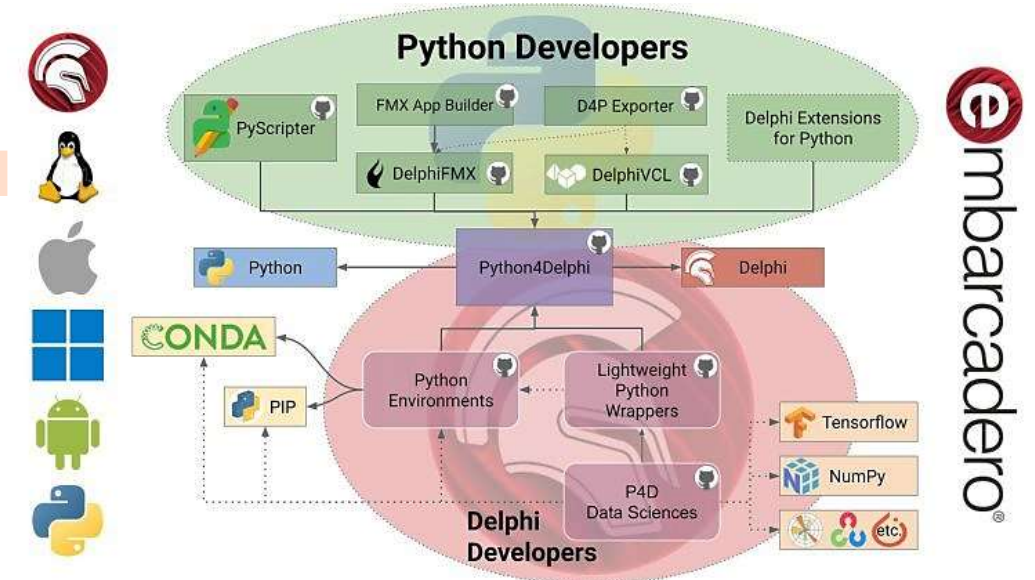
Linux

Parallelkinematik
mit Linux Steuerung
an der HS-Hannover

- Leider nicht im
Projekt DiKoRo zum
Einsatz gekommen.

Python als universelle Schnittstellensprache

<https://blogs.embarcadero.com/de/pytorch-for-delphi-with-the-python-data-sciences-libraries/>

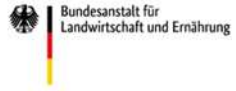


Bilderkennung „zu Corona Zeiten“

Gefördert durch



Projektträger

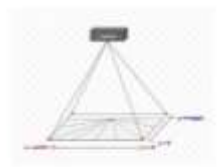


aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Raspberry Pi mit HQ Kamera

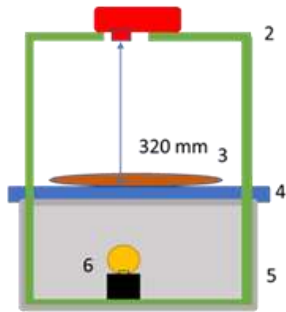
Wesentliche Erfolgsfaktoren sind:

- ✓ Sensorgröße,
- ✓ Blickwinkel
- ✓ und Objektive



setzt systematische Produktanalyse voraus

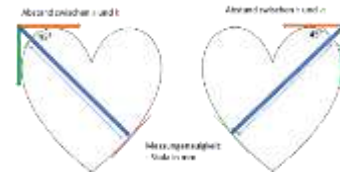
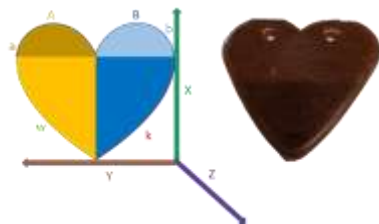
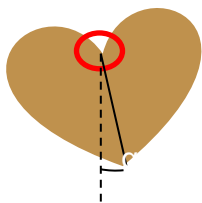
- 1 Kamera
- 2 Gestell
- 3 Objekt
- 4 Kunststoffplatte mit Backpapier
- 5 Kunststoffkiste
- 6 Leuchte



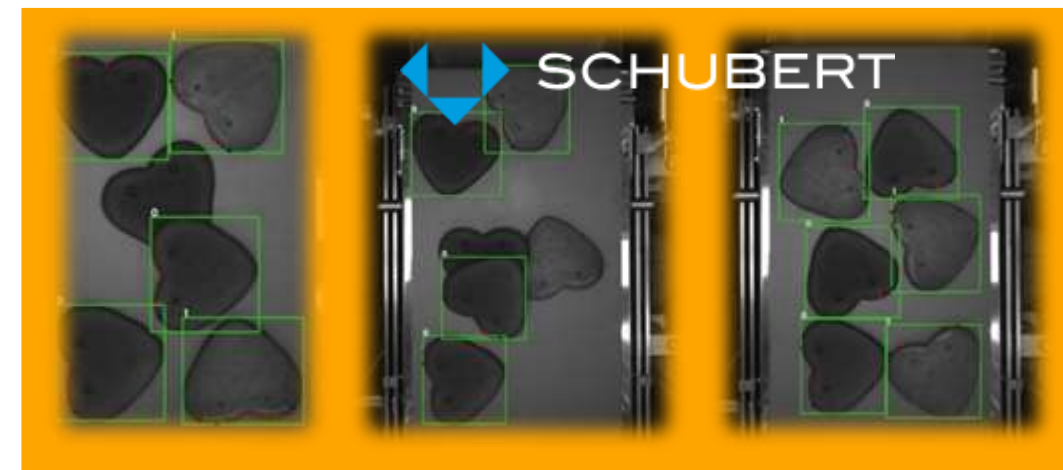
63er n= 100	Herzlänge 63er [mm]	Herzbreite 63er [mm]
Vorgabe	150	170
Arithmetischer Mittelwert	147,90	172,18
Standardabweichung	3,50	2,62
67er n= 100	Herzlänge 67er [mm]	Herzbreite 67er [mm]
Vorgabe	270	310
Arithmetischer Mittelwert	275,00	317,25
Standardabweichung	1,80	2,01

Kompensation der Verzerrung

- Aufnahmen eines Kalibrierungsmusters (Schachbrett)
- Konvertieren von Kamerapixeln in reale Koordinaten



professionelle Bilderkennung Position und Lage



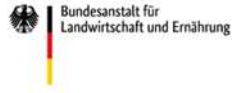
Einsatzchancen für Kollaborative Robotik – Gamecontroller statt Bilderkennung

Gefördert durch



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Projektträger

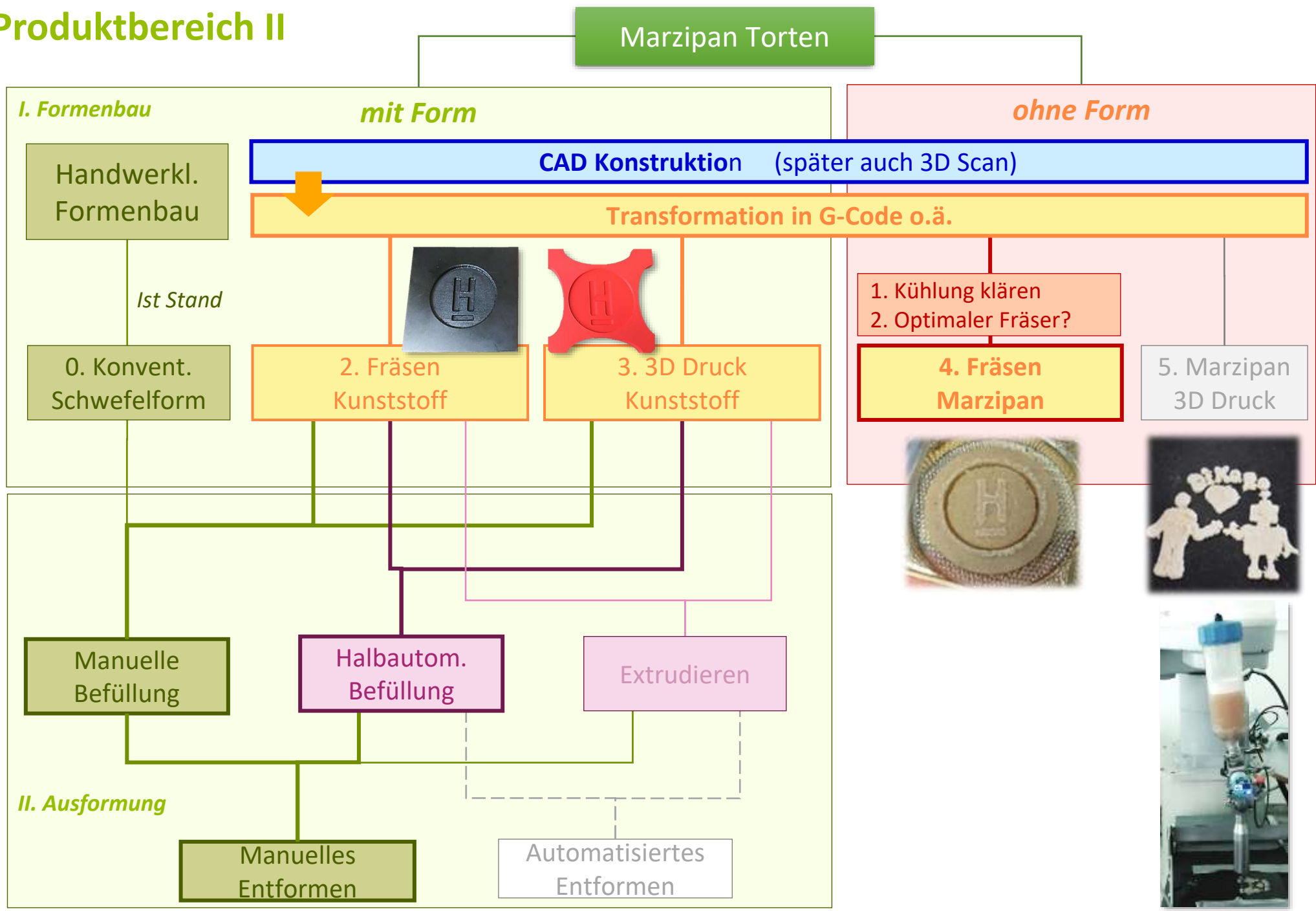
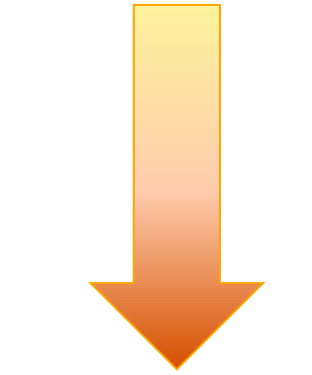


These: Kollaborative Robotik ist eine Brückentechnologie und bietet langfristig keine Vorteile gegenüber Vollautomatisierung?

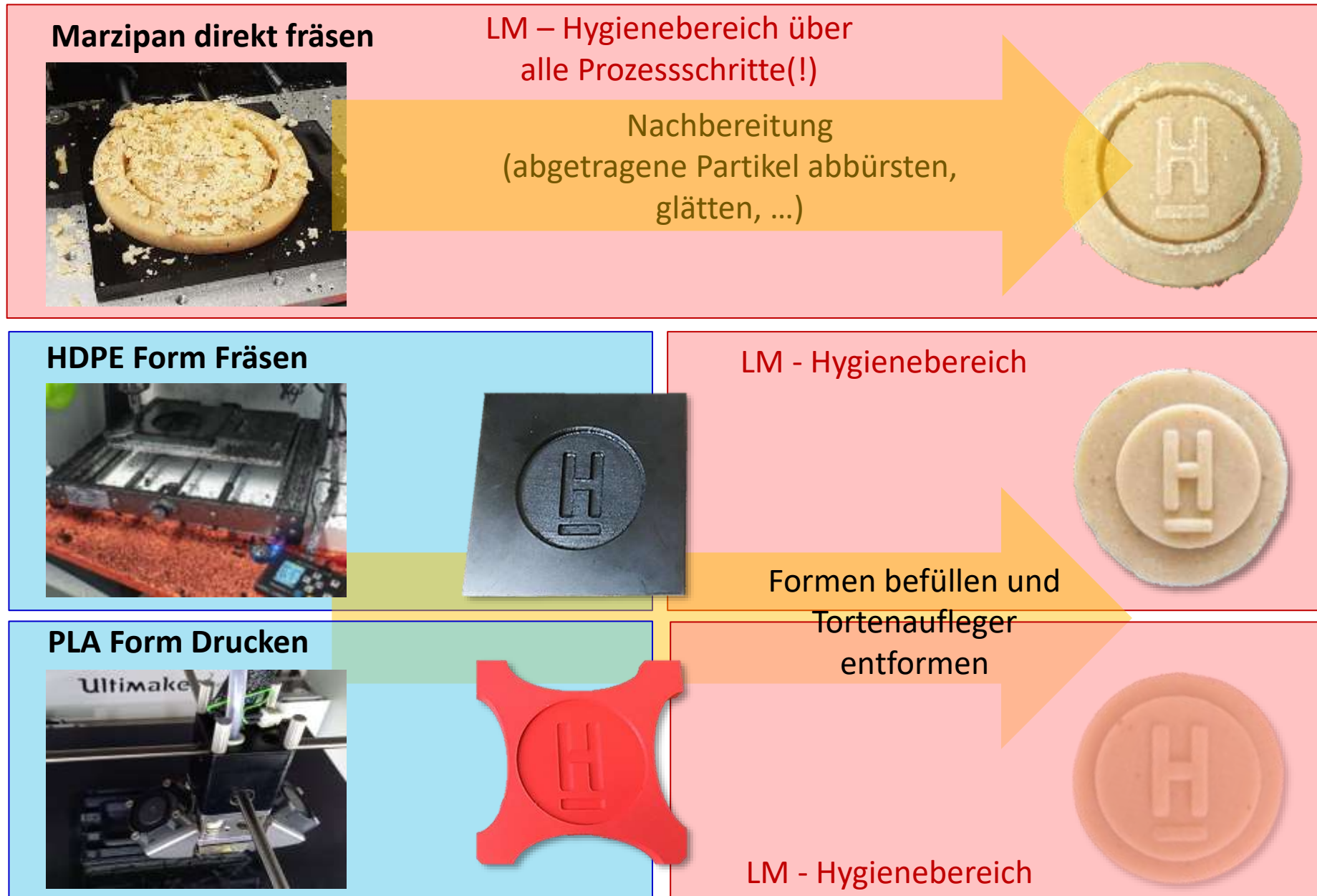
- ✓ Sicherheit ist primär eine Kostenfrage
- ✓ Handsteuerung ist abhängig
 - von der zugrunde liegenden Technik
 - vom Training



Anwendung im Produktbereich II



Prinzipieller Vergleich der Verfahren *(ohne Direkt Druck von Marzipan mit Roboter)*



Umfangreiche experimentelle Untersuchung von:

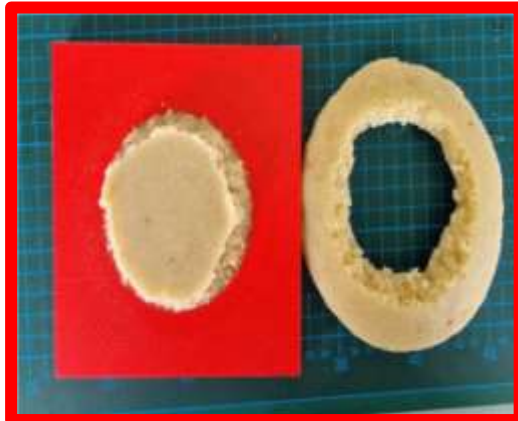
- Rezeptur,
- Trennmittel,
- Anpressdruck (!) und
- Material der Formen

... illustrierende Beispiele

Marzipan
ohne Puderzucker



Fondant
zu hoher Druck (1450 N)



mit Puderzucker



optim. Druck (550 N)



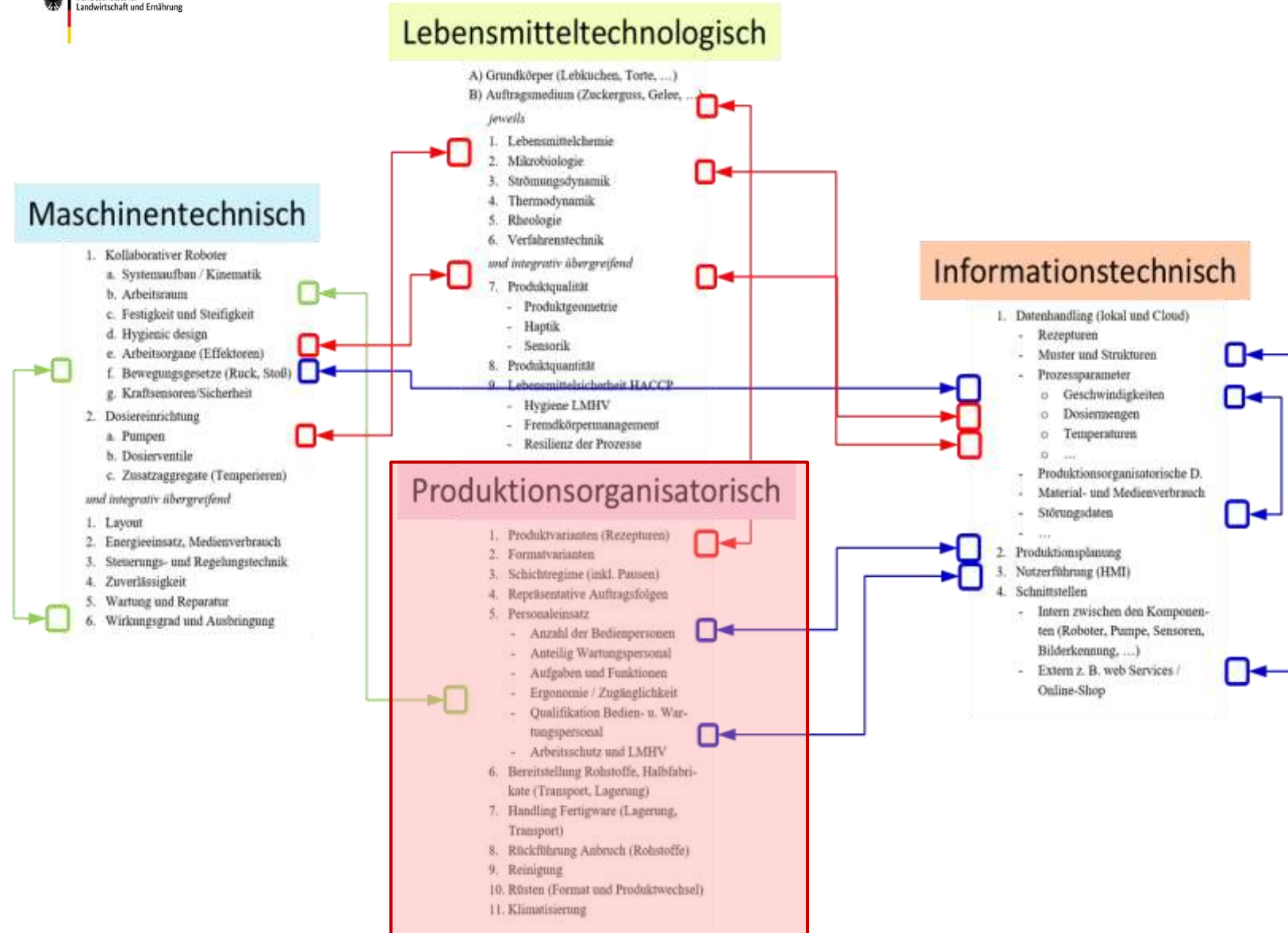
Produktionsorganisatorische & Betriebswirtschaftliche Untersuchungen

Gefördert durch



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Projektträger



Produktionsorganisatorische & Betriebswirtschaftliche Untersuchungen

Gefördert durch

 aufgrund eines Beschlusses
 des Deutschen Bundestages

Projektträger


Kostenbetrachtung igus-System: Jahr 1		
Sachkosten Materialien igus	26.243	EUR
Einrichtung Schaltschrank	2.600	EUR
Softwarelizenzen	4.700	EUR/Jahr
Weiterbildungskurse (Siemens)	1.000	EUR/Jahr
Erste Summe	34.543	EUR
+ Montage- und Installationskosten	500	EUR
+ Kosten für Aufrechterhaltung Betrieb	1.000	EUR/Jahr
Zweite Summe	36.043	EUR

Kostenbetrachtung igus-System: Jahr 2		
Softwarelizenzen	4.700	EUR/Jahr
Weiterbildungskurse (Siemens)	1.000	EUR/Jahr
Erste Summe	5.700	EUR
+ Kosten für Gewährleistung Betrieb	1.000	EUR/Jahr
Zweite Summe	6.700	EUR

Gewährleistung Betrieb
 Energie, Strom, Ersatzteile, ...
 Davon variabel: Ersatzteile, Reparatur. Davon fix: Strom, Wartung
 -> Je mehr Betrieb, desto höher Verschleiß/Abnutzung

Kostenbetrachtung Scara-System: Jahr 1		
*Sachkosten Scara-System	54.010	EUR
Softwarelizenzen	4.700	EUR/Jahr
Weiterbildungskurse (Siemens)	1.000	EUR/Jahr
Erste Summe	62.310	EUR
+ Montage- und Installationskosten	500	EUR
+ Kosten für Gewährleistung Betrieb	1.000	EUR/Jahr
Zweite Summe	63.810	EUR

Kostenbetrachtung Scara-System: Jahr 2		
Softwarelizenzen	4.700	EUR/Jahr
Weiterbildungskurse (Siemens)	1.000	EUR/Jahr
Erste Summe	5.700	EUR
+ Kosten für Gewährleistung Betrieb	1.000	EUR/Jahr
Zweite Summe	6.700	EUR

*Kosten Scara und igus-System
 inkl. Kosten für Kamera, Dispenser, Dosiernadeln, Kleinmaterialien

Vergleich der technischen Systeme (Investitionskosten)

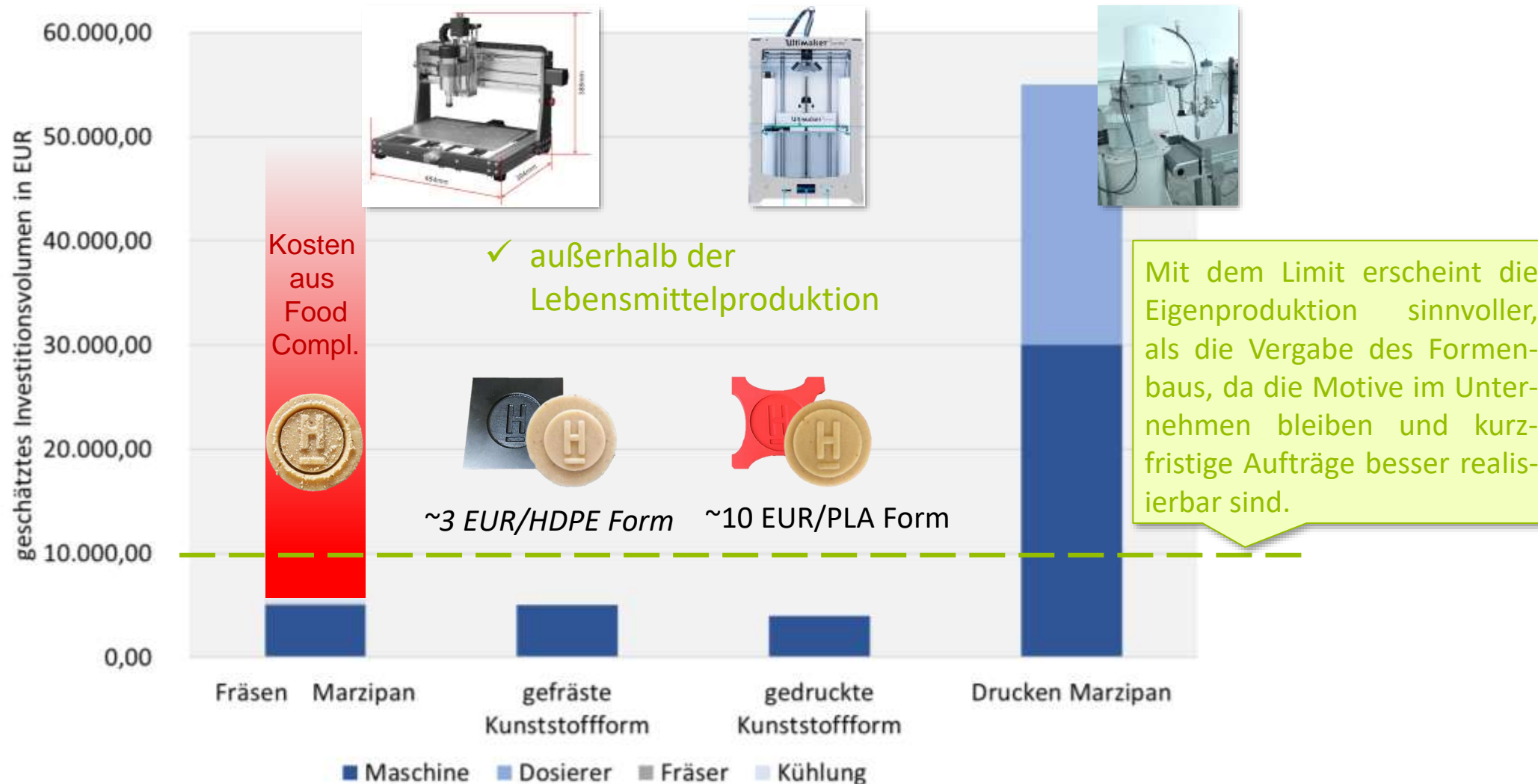
- Der direkte Druck (Roboter) und das direkte Fräsen von Marzipan erfordern ca. die fünffache Investitionssummen, welche anteilig auf die laufenden Kosten wirksam werden.
- Beim direkten Druck und dem direkten Fräsen von Marzipan liegen die Betriebsstunden (Roboter bzw. Fräser) für jeden einzelnen Tortenaufleger im Stundenbereich, während Formen in Minuten herstellbar sind und 10.000 Aufleger je Form realistisch erscheinen.
- Adäquat zu den Betriebsstunden sind der permanente Energieverbrauch respektive -kosten und die Instandhaltungskosten (insbesondere Fräswerkzeuge und Druckerdüsen) zu berücksichtigen.
- Zusätzlich fallen Energiekosten für die Kühlung beim direkten Marzipanfräsen an.
- Aufgrund der Automatisierung ist nur von einem relativ geringem Unterschied im Personalaufwand auszugehen. Die Aufwendungen beim Handling und der Nachbereitung der Tortenaufleger sind noch zu detaillieren.
- Die Kosten für ein Food Compliance zertifiziertes PLA Filament für den 3D Druck sind mit ca. 14 Euro pro Form rund drei- bis viermal so teuer wie die HDPE Platten für das Formenfräsen.
- Der Energieverbrauch liegt beim 3D Drucken der Formen aufgrund der 10 fachen Zeit pro Form gegenüber dem Formenfräsen auch entsprechend höher.
- Es ist zu erwarten, dass die Kosten für die Lagerung der Formen aufgrund deren Kompaktheit und Stapelbarkeit unerheblich sind, gegenüber den Raumkosten des Robotersystems und den Kosten des Betriebs einer Fräseinheit direkt im Hygienebereich der Lebensmittelproduktion.
- Die Kosten für die Reinigung der Formen und Systeme wurden bisher nicht betrachtet.

Diskussion der Einflussgrößen auf die laufenden Kosten (Betriebskosten)



Größenordnung der erforderlichen Investitionskosten

- Die im Labor genutzte CNC Fräsmaschine ist mit 800 EUR unterstes Limit. In der kalkulatorischen Abschätzung wurde eine professionelle Fräseinheit für ca. 5000 EUR berücksichtigt.
- Für eine lebensmittelsicherere Gestaltung beim direkten Marzipan Fräsen sind erhebliche Zusatzkosten zu erwarten!



Erforderliche Zeiten für die Produktion der Tortenaufleger

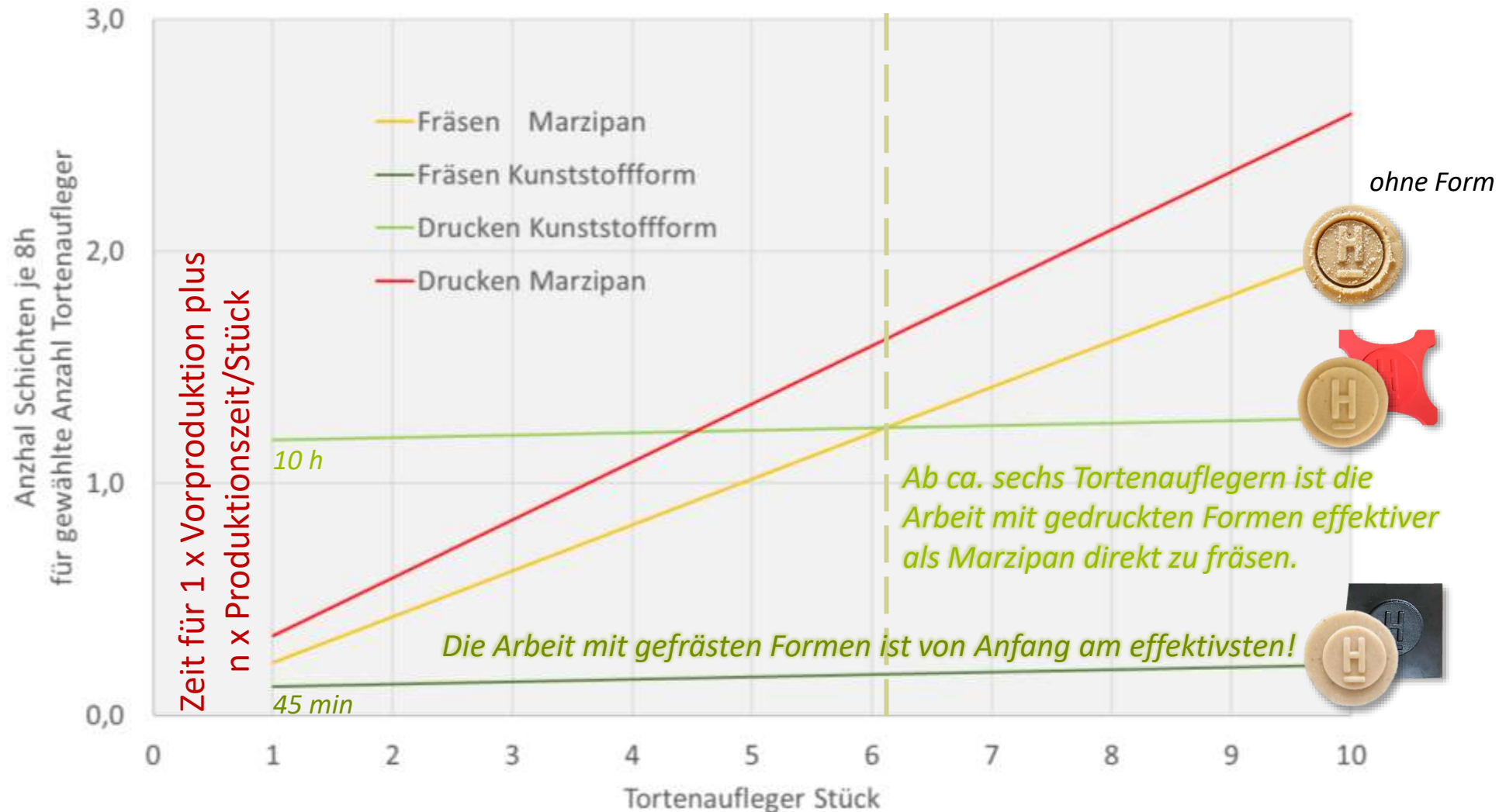
- Mit der im Labor verfügbaren Technik
- Formenfüllung mit reproduzierbarer Pressung (Versuchsstand)
- Für den Marzipan Direktdruck wurde bisher keine geeignete Nachbearbeitung nachgewiesen
- ✓ Tortenaufleger aus Kunststoffformen benötigen keine relevante Nachbereitung



Erforderliche Schichten für die Produktion einer kleinen Anzahl Tortenaufleger

- ohne Zeiten für Zwischenreinigung, Pausen etc.
- ohne Nachbereitung und Schminken etc.
- Basis verfügbare Technik im Labor der HSH

*Achtung: der zeitliche Aufwand ist proportional der ab- bzw. aufzutragenden Geometrie!
Dabei ist das schlicht erscheinende H eine zeitlich eher herausfordernde Geometrie.*

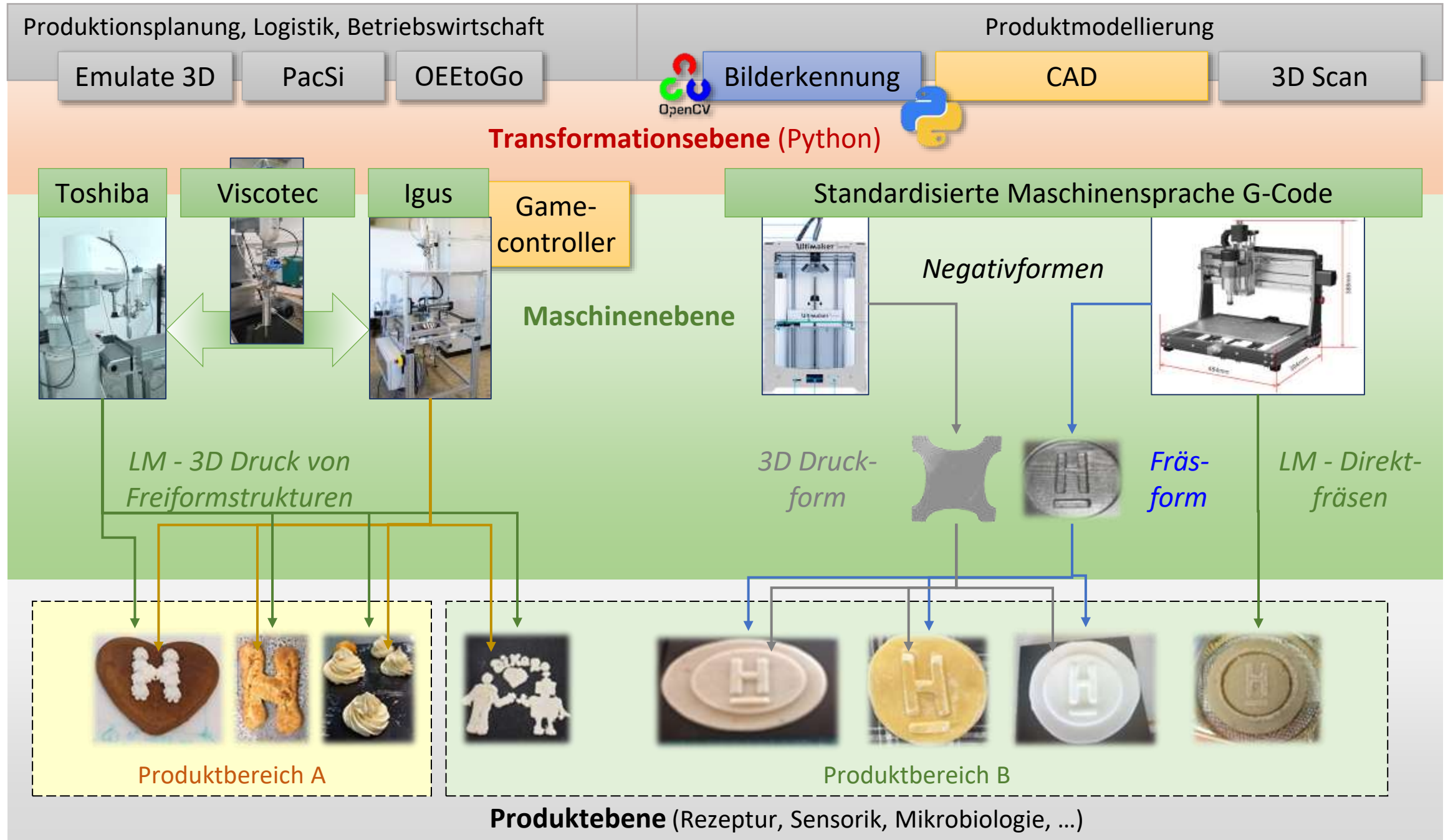


Ergebnis und Fazit 1: Digitale Zwillinge sind herausfordernd, aber eine sichere Erfolgsbasis

Gefördert durch
 Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Projekträger
 Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung



Fazit 2: Erfolg erfordert, die richtigen Fragen stellen und ehrlich beantworten!



„Haben wir die richtigen Ziele“

	Machbarkeit TRL4	Potential	Aufwand bis TRL9
Lebensmittel 3D Druck mit Roboter und Dosierpumpe			
A) Royal Icing	↗ nachgewiesen	↗ sehr hoch	↗ hoch
B) Teig	↗ nachgewiesen	→ gut	↗ hoch
C) Kart.-Püree	↗ nachgewiesen	→ gut	→ mittel
D) Marzipan	↗ nachgewiesen	↘ nur für einfache Geometrien	↗ hoch
Einsatz von 3D Formen für Lebensmittel (Kunststoff geformt und 3D Druck)			
E) Marzipan	↗ nachgewiesen	↗ sehr hoch	→ mittel
F) Teig	↗ nachgewiesen	↗ sehr hoch	→ mittel
G) Fondant	↗ nachgewiesen	↗ sehr hoch	→ mittel
Lebensmittel 3D direkt geformt			
H) Marzipan	↗ nachgewiesen	→ gut	↗ hoch

Validierung

„Nutzen wir die richtige Methode, um unsere Ziele zu erreichen“

Verifikation

„Nutzen wir die Methode richtig, um unsere Ziele zu erreichen“

Gefördert durch



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Projekträger



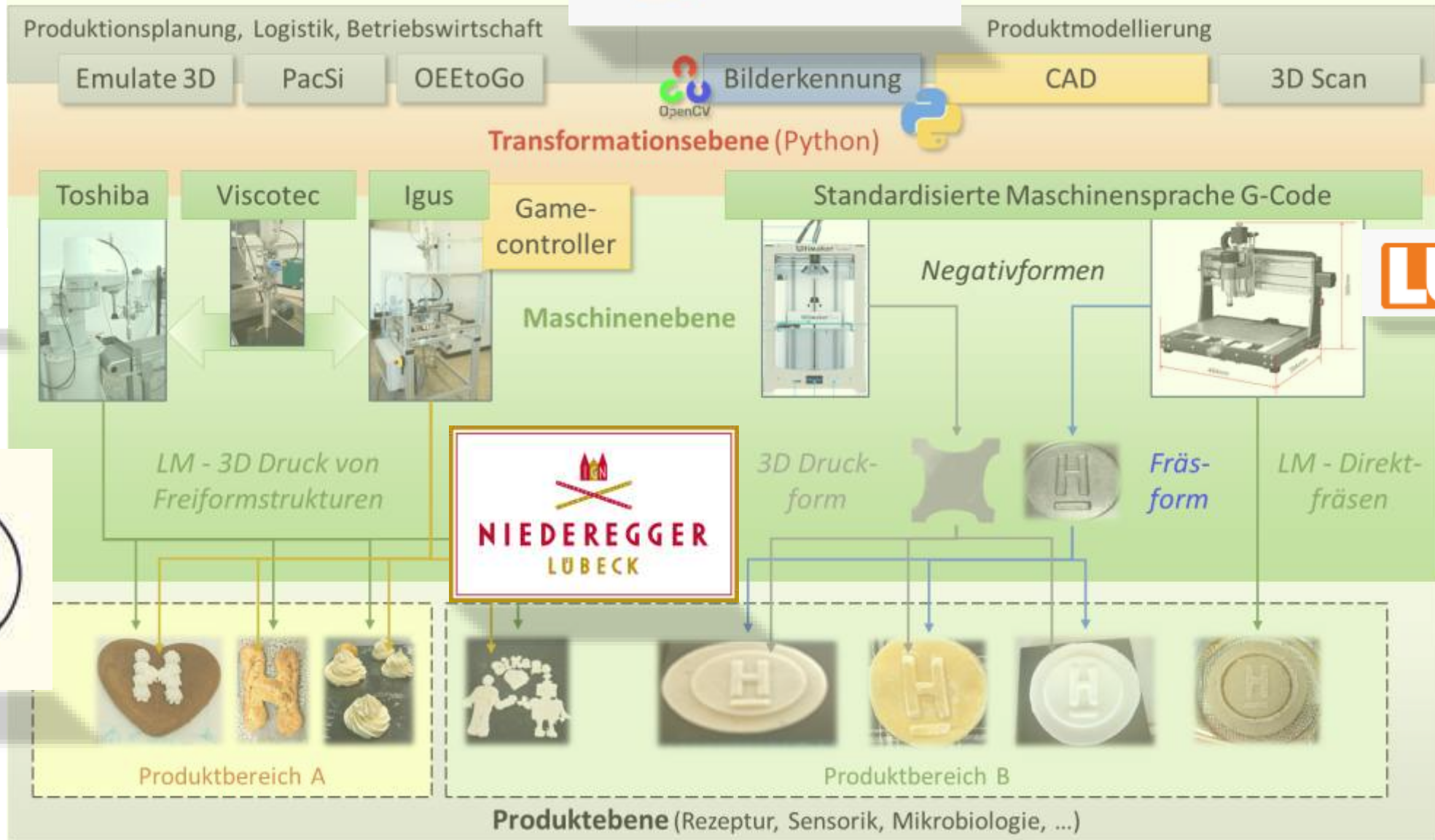
Fazit 2: Erfolg braucht starke Partner



Gefördert durch
 Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Projekträger
 Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung



Fazit 2: Erfolg braucht engagierte



Nutzen der Simulation

- **Transparenz** über und **Kommunikationsplattformen** für komplexe Prozesse und deren Einflussgrößen = Basis für Entscheidungen
- Welche **Restriktionen** müssen aufgehoben werden? Welche haben den größten Effekt?
- **Ursache-Wirkungs-Beziehungen** analysieren
- Welche **Änderungen** wirken sich an und wie über die **Prozesskette** aus?
- mögliche **Engpässe** identifizieren
- Wo genau liegt der **aktuelle Prozess** und was sind die **Prozesskette**, sobald der **Ernte** aufgehoben wurde?
- Ableitung von **Optimierung** Maßnahmen
- **Risikio** Verharmungsmöglichkeiten
- Wie **groß** ist der **Verbesserungspotential**?
- **Absicherung** von **Investitionen**
- **Bessere Ausnutzung** der **Ressourcen** durch **Disposition**

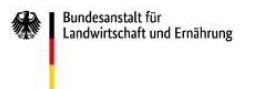
Simulation schafft Transparenz

Gefördert durch



Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

Projekträger



Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



*Vielen Dank für Ihr Interesse!
Ihre Fragen und Anmerkungen
sind herzlich willkommen!*

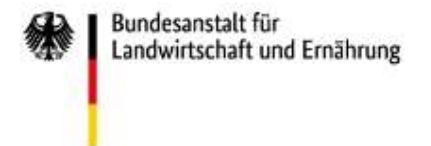


Gefördert durch



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Projektträger



Ein Projekt des Forschungsclusters Lebens(mittel)qualitäten.