

# Process-to-Order Lab (P2O-Lab)

Flexibilisierung und Digitalisierung für die Prozessindustrie

Markus Graube





## Digital Transformation Lab Dresden

( Koordination, Administration )

DFG RTG 2323  
Förderlicher  
Entwurf von CPPS

Adaptation  
Kompetenz  
Human State

TUD  
Cluster  
Mensch 4.0

Recht  
Ethik  
Akzeptanz

SMB  
Cluster  
Farm 4.0

Agrarsysteme  
Digitalisierung  
Flexibilisierung

Interaktive  
Lernfabrik

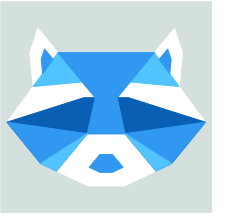
Fertigung  
Logistik  
Digitalisierung

PPP  
Process-to-Order  
Lab

Prozessindustrie  
Digitalisierung  
Flexibilisierung



# Aktuelle Herausforderungen für die Prozessindustrie: **smaller, more flexible, yet cost competitive**

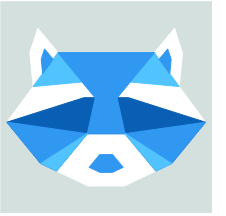


- Individualisierung
  - Digitalisierung erlaubt ungeahnte Individualisierung von Produkten
  - Schlägt durch auf Spezialitäten und Wirkstoffe
- Globalisierung
  - Internationaler Wettbewerb
  - Globale Lieferketten vs. Lokale Wertschöpfung
- Urbanisierung
  - 2030 lebt mehr als die Hälfte der Bevölkerung in Städten





# Technische Lösungsansätze für hochvariable Produkte und Märkte: Digitalisierung und Modularisierung



24/7 operation  
> 30 years runtime  
Economy of Scale

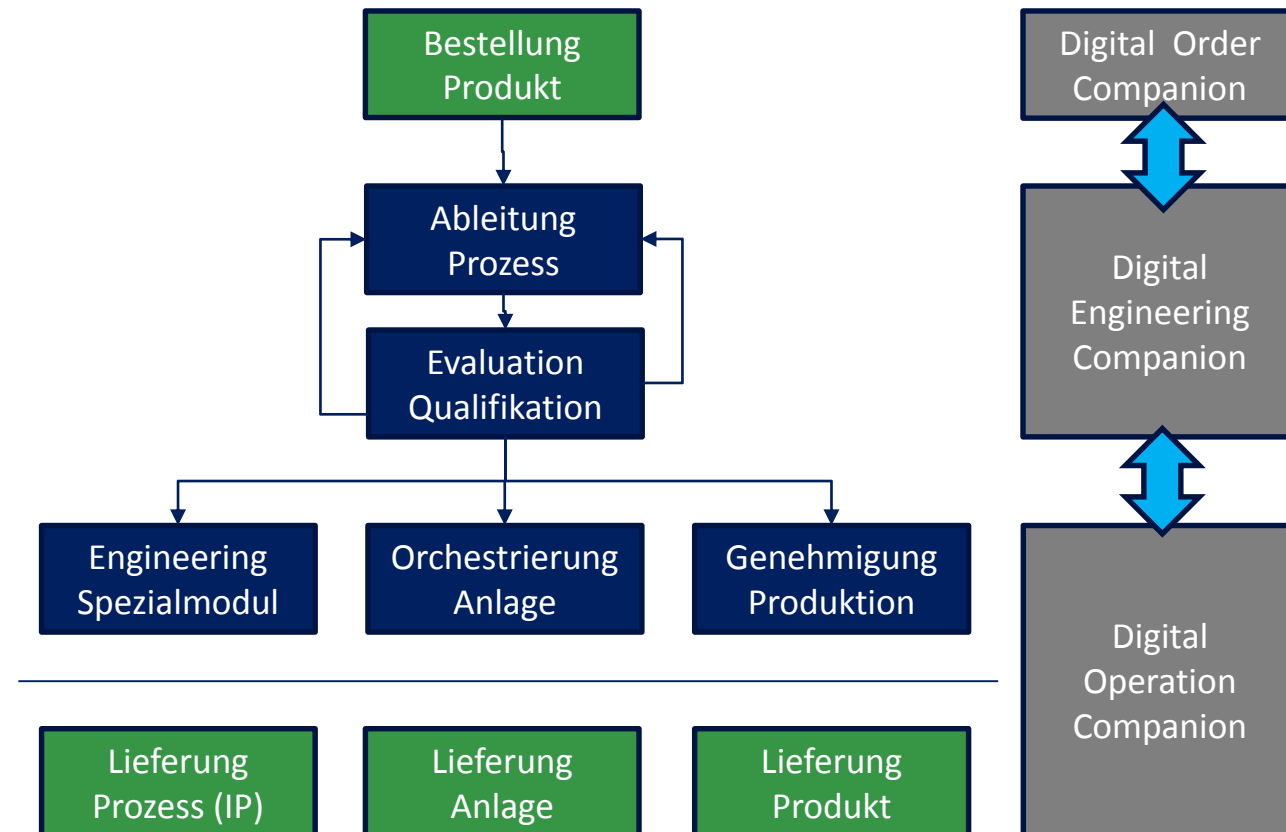


24/7 operation  
< 3 months runtime  
Economy of Changeability



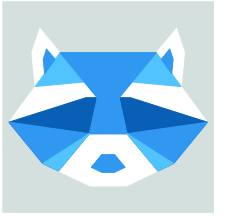
# Lösungsansatz Process-to-Order

- **Treiber:** Innovationszyklen in IKT erfordern hohe *Agilität* in der Supply Chain
  - Spezialprodukte und deren Produktionsprozesse müssen in etwa 6 Monaten bereit gestellt werden
  - Heute übliche Zeiten sind 3-7 Jahre
- **Forschungsfrage:** Wie können wir 10x schneller werden?
  - Bei gleicher Sicherheit in Bezug auf Mensch und Umwelt ...
  - ... und vertretbaren Aufwänden
- **Lösungsansatz:** Process-to-Order
  - Mit der Produktbestellung wird der Prozess aus bestehenden Bausteinen abgeleitet
  - Übergang vom Produkt zum Lösungsgeschäft



# User Story

## 1 – Product Design

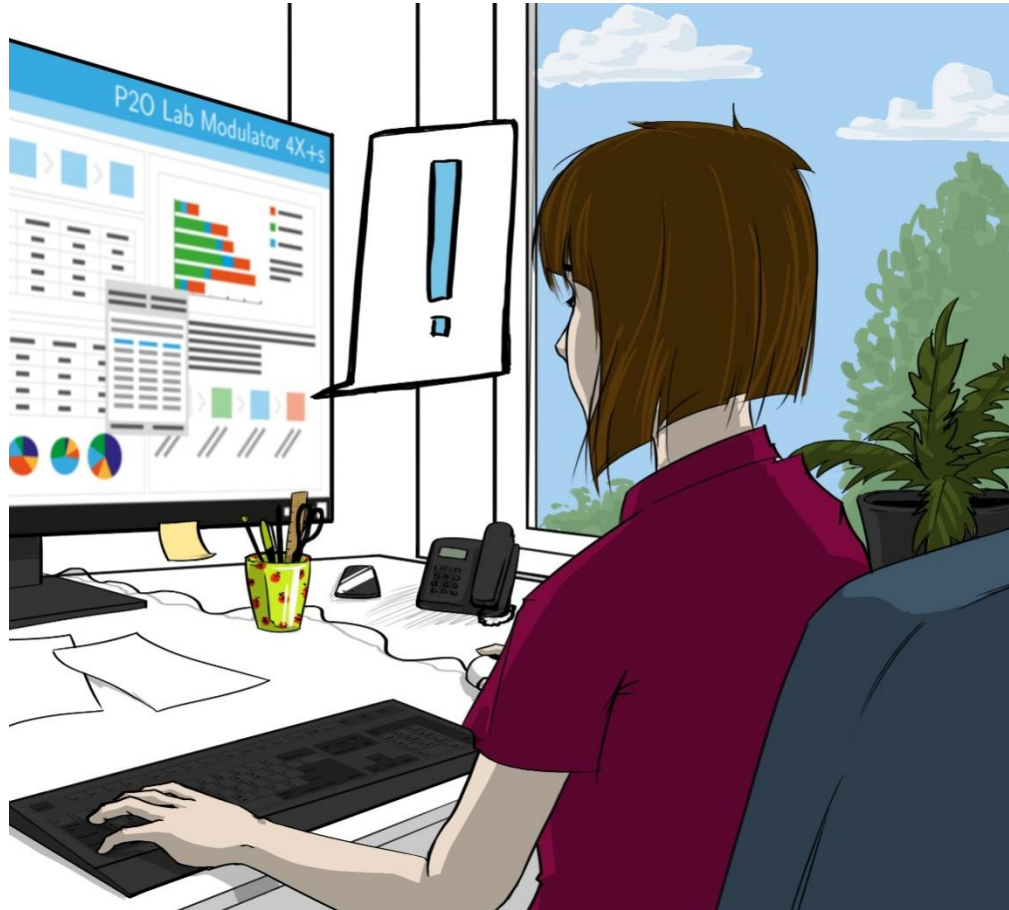


- Karl möchte seine erfundene Algenlimo im größeren Stil herstellen lassen.
- *Rezeptor3000 stellt eine Webseite zur Verfügung, zur Eingabe aller Kundenwünsche.*



# User Story

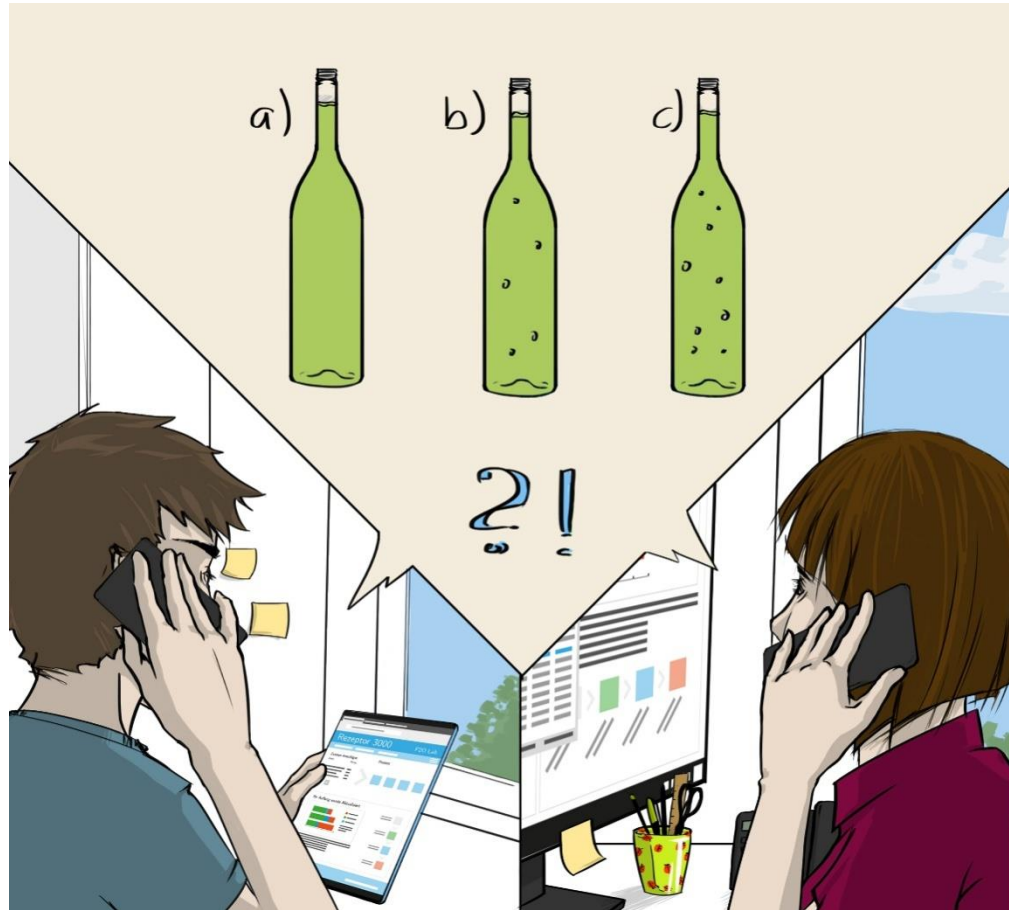
## 2 – Prozessableitung und Evaluierung



- Petra bekommt eine Anfrage zur Produktion einer Limo und leitet aus Produktanforderungen (semi-)automatisch einen Prozess ab.
- *Modulator4X+s berechnet und erstellt alle maßgeblichen Abhängigkeiten.*

# User Story

## 3 – Kollaborative Feinplanung



- Petra erörtert mit Karl Rezeptänderungen, damit das Produkt hergestellt werden kann.



# User Story

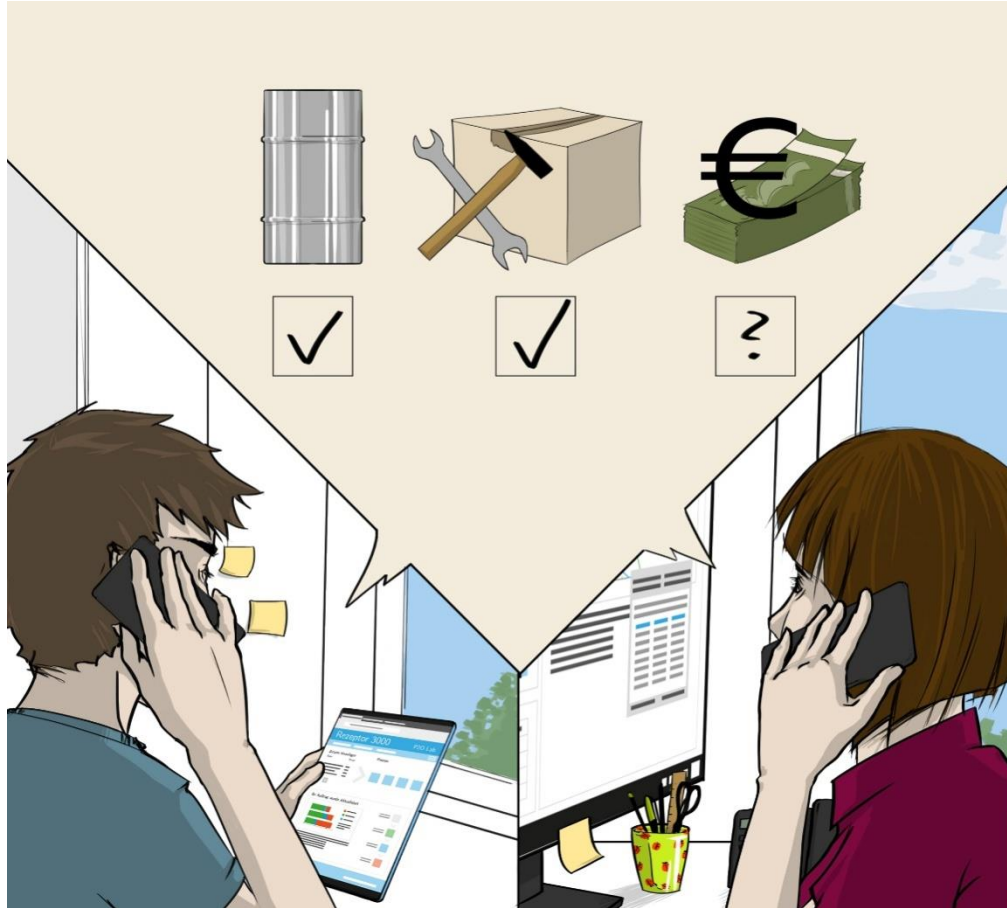
## 4 – Produktionsplanung



- Petra aggregiert Anforderungen für den Auftrag und prüft Umsetzbarkeit bei aktueller Anlagenauslastung und Modulbelegung. Sie kalkuliert die Mietkosten für ein notwendiges Zusatzmodul ein.
- *PlanatorCS5* evaluiert die Verfügbarkeit aller Mittel und plant die Umsetzung des Auftrages.

# User Story

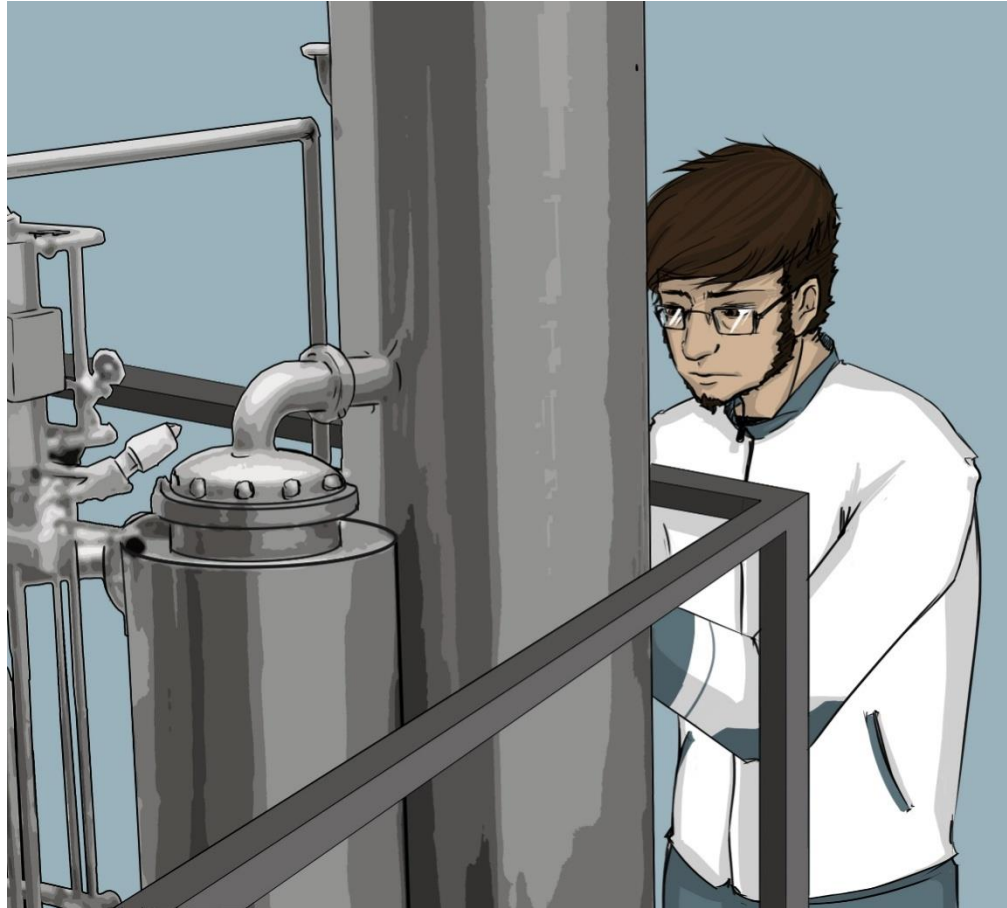
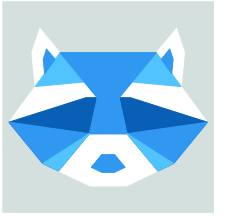
## 5 - Angebotserstellung und Bestellung



- Petra kann Karl zeitnah ein Angebot für die Produktion seiner Algenlima bereiten, das dieser annimmt.
- Damit werden Rohstoffbestellungen und Modulleasingverfahren ausgelöst.

# User Story

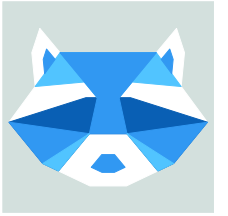
## 6 – Aufbau der Prozesskette



- Lutz konfiguriert die vorgefertigten intelligenten Module zu einer Prozesskette.
- Nachdem das Filtermodul am nächsten Tag eintrifft, bringt Laborleiter Lutz die Module in die benötigte Reihenfolge und verbindet alle notwendigen Anschlüsse. Die neue Zusammenschaltung wird direkt an die PFE propagiert.

# User Story

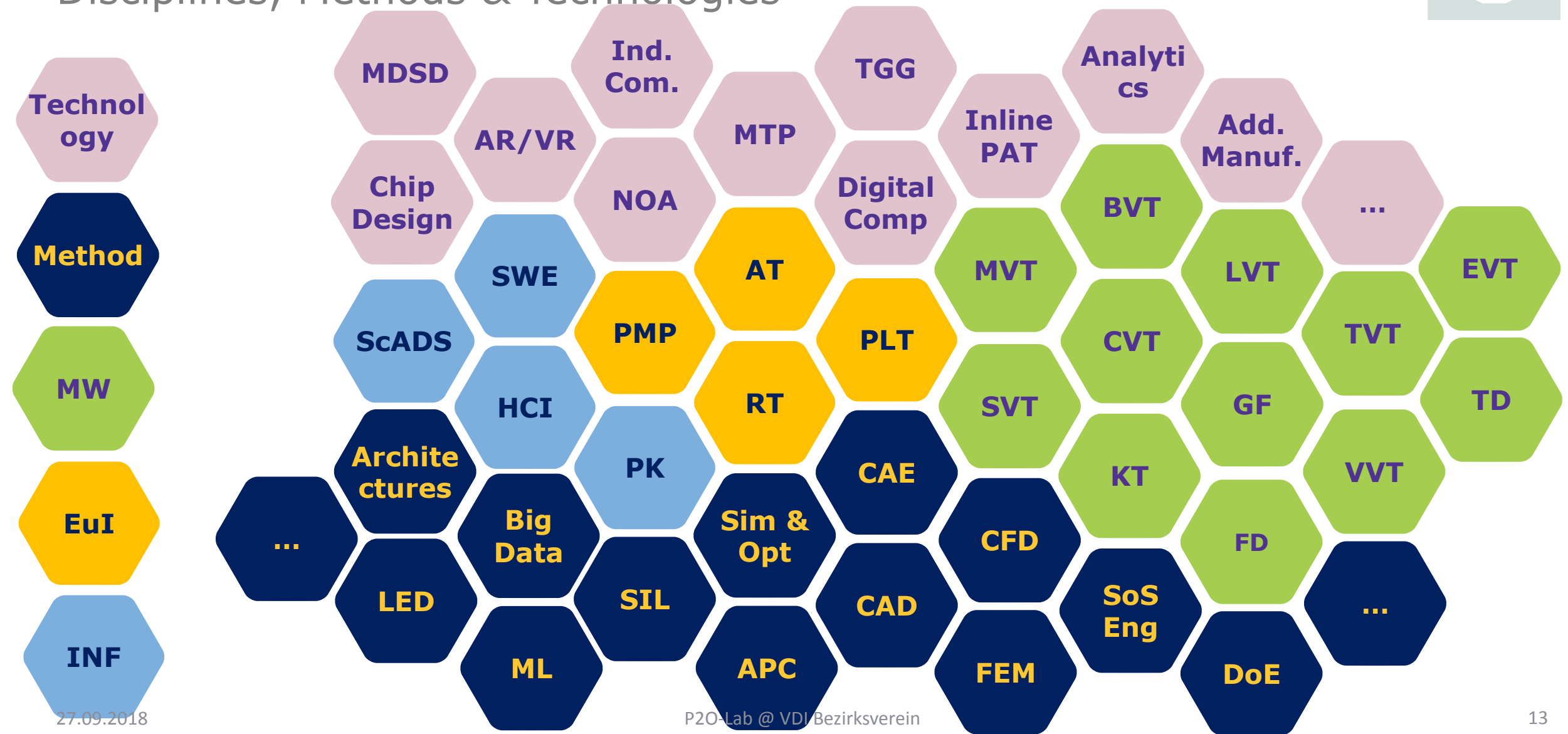
## 7 – Produktion, Überwachung und Optimierung



- Operator Otto fährt die Produktion hoch und produziert mit der modularen Anlage. Dabei überwacht er die Produktion, die eine von vielen ist, direkt im Feld mittels einer AR Anwendung, während er parallele andere Tätigkeiten wahrnimmt.



P2O-Lab provides a **single-point-of contact** to related Disciplines, Methods & Technologies



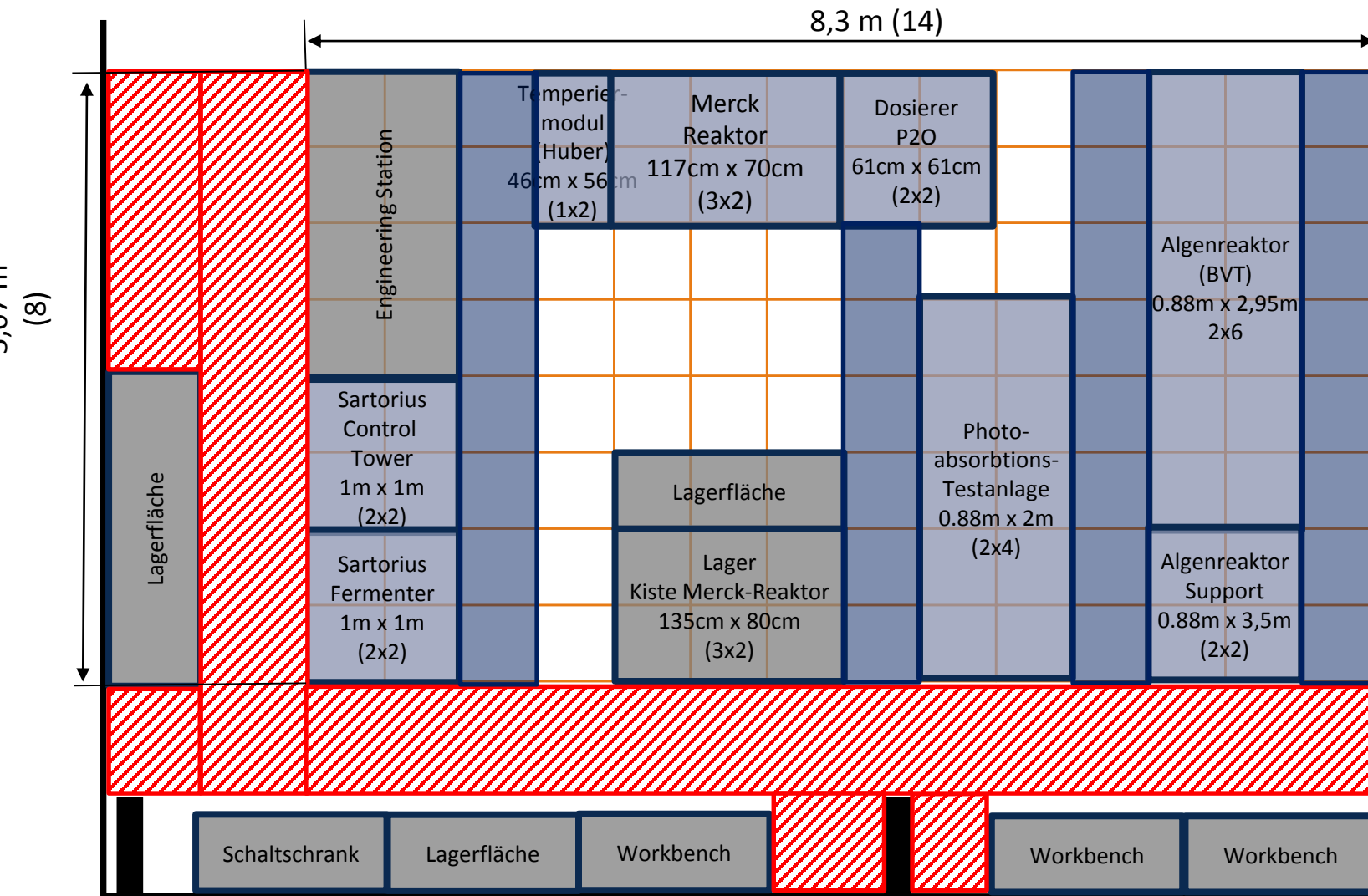
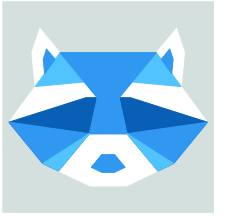


# Aktuelle Kernkompetenzen

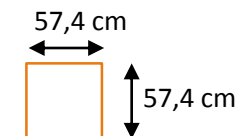



- Interdisziplinäre Forschungs- und Entwicklungsplattform
- Continuous Integration Framework für modulare Anlagen
- Spezifikationsfolgenabschätzung
- Konformitätsprüfung
- NOA-MTP-Integration
  
- Use Cases
  - Orchestrierung
  - Austausch
  - Optimierung


# P2O-Lab



- Dynamische Belegung der Laborfläche
- Intelligente Infrastruktur im Aufbau
- Rastermaß nach F3-Projekt
  - 57,4cm x 57,4cm



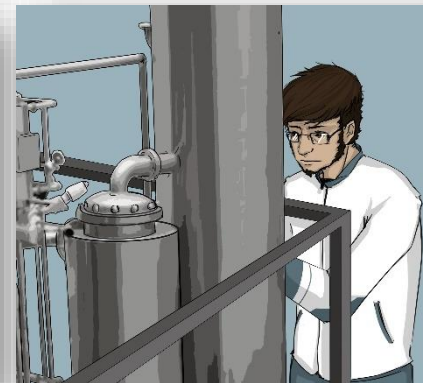
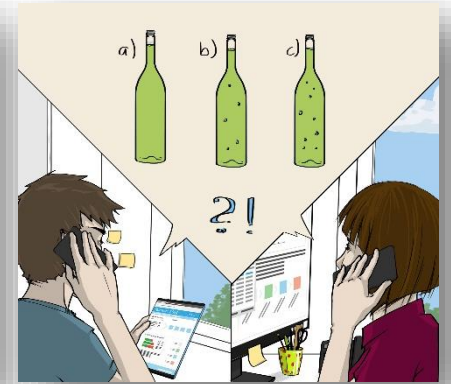
 Freihaltebereich  
Hallenregulatorien

 Freihaltebereich  
Betriebsmittel  
Zu- und Rückführung



# Aktuelle Aktivitäten

- Aufbau intelligente Infrastruktur
  - Betriebsmittelbereitstellung
  - Prozessführungsebene
- Feierliche Eröffnung am 06.11.2018
- Partner/Kooperationen
  - ModLab Germany
  - Partner im DCM (Dresden Center for Materiomics)
  - Plattform für CD-CPPS
  - Betreiber: Merck, Evonik, Bayer
  - Modulhersteller: Huber, Bosch PharmaTec, Phoenix-Contact, ABB, Samson
  - Projekte: BioFeed, KoMMMDia, ORCA
- Weitere gemeinsame Projekte

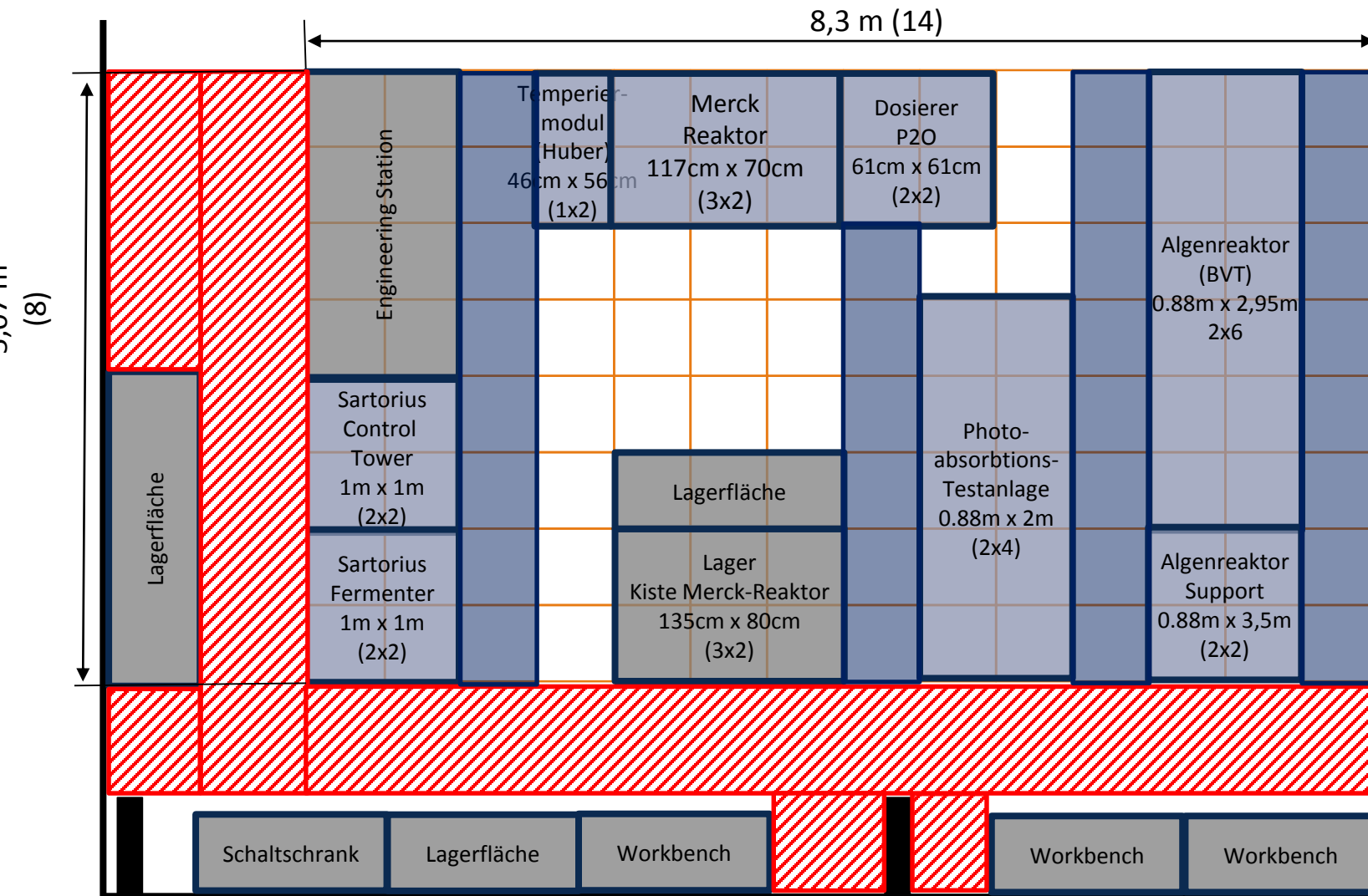




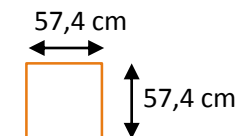



# Demonstration Service-Orchestrierung


# P2O-Lab



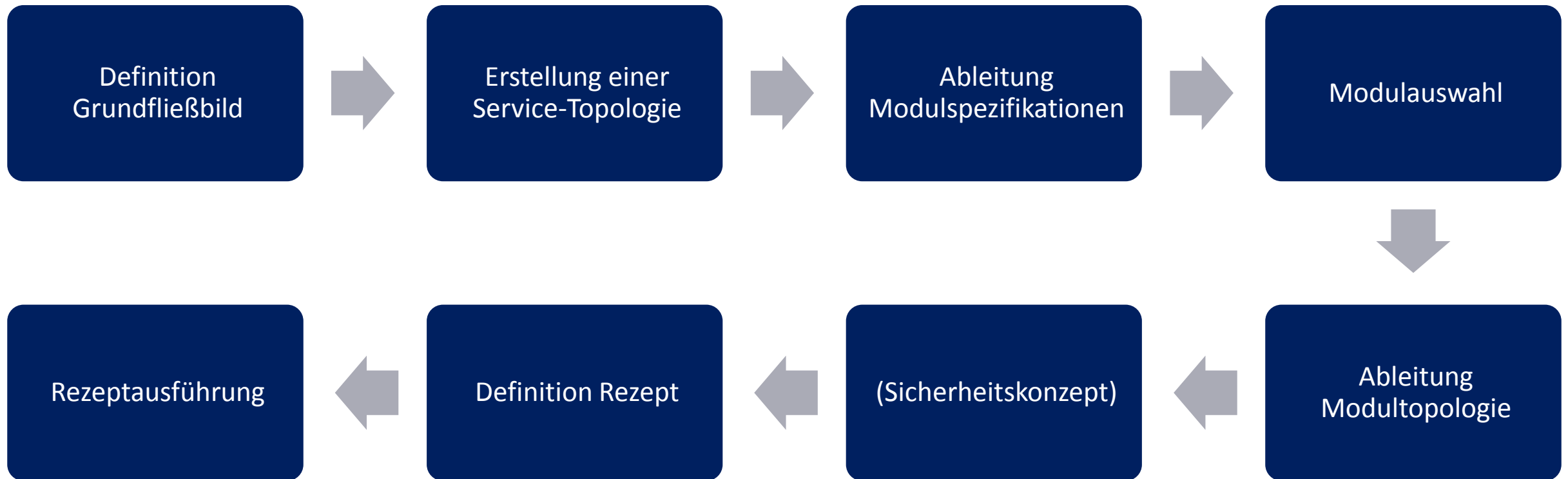
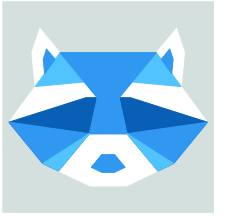
- 8 Module
- Dynamische Belegung der Laborfläche
- Intelligente Infrastruktur im Aufbau
- Rastermaß nach F3-Projekt
  - 57,4cm x 57,4cm



 Freihaltebereich  
Hallenregulatorien

 Freihaltebereich  
Betriebsmittel  
Zu- und Rückführung

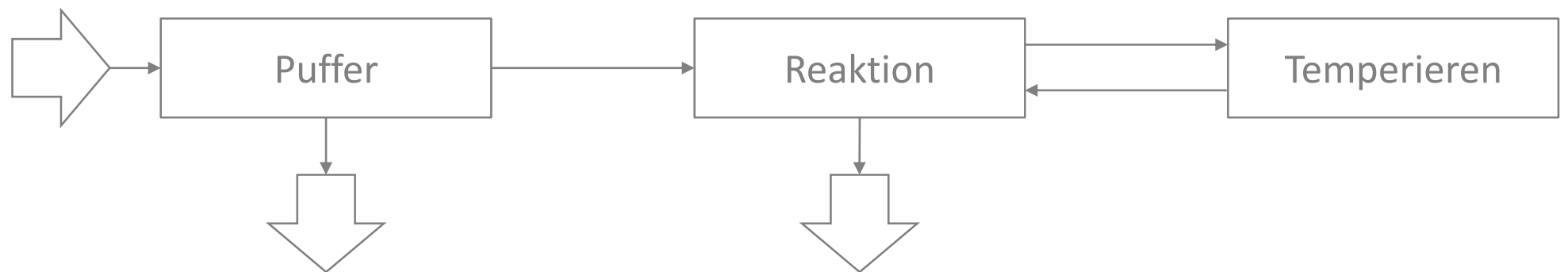
# Anwendungsfall Orchestrierung einer neuen Anlage ... in Theorie und Praxis





## Definition Grundfließbild

- Grundfließbild als Ausgangspunkt
- Vom Verfahrenstechniker entworfen

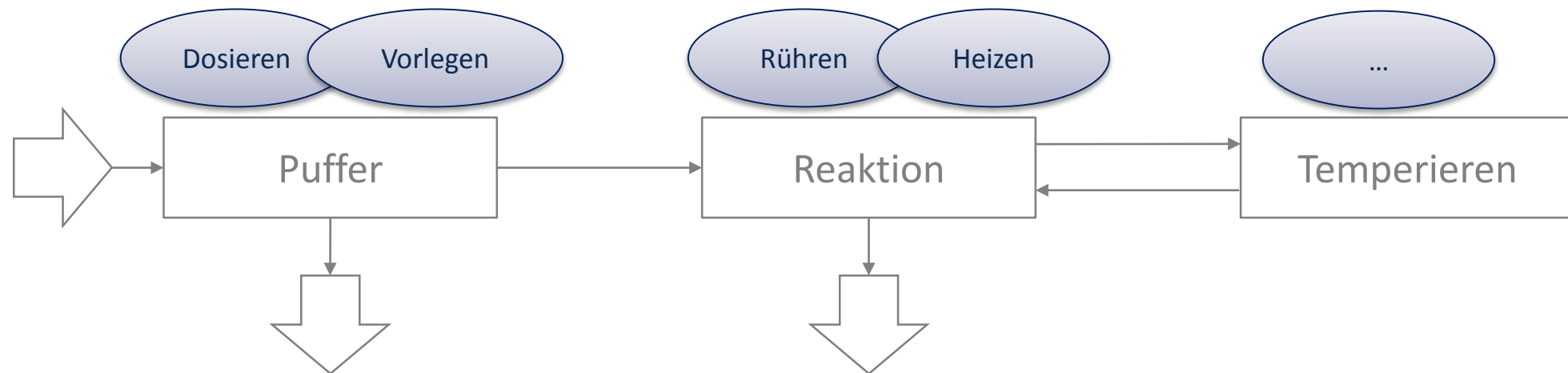






# Erstellung Service-Topologie

- Kapseln der Funktionen in Services
- Ableiten einer vollständigen Serviceliste
- Darstellung von Serviceabhängigkeiten

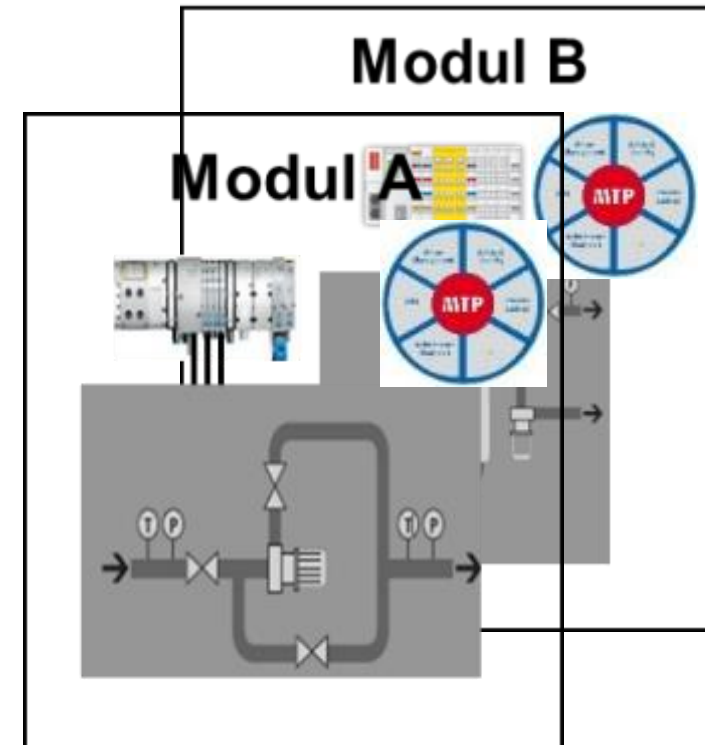


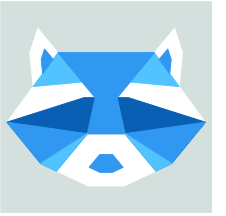


# Ableitung Modulspezifikation

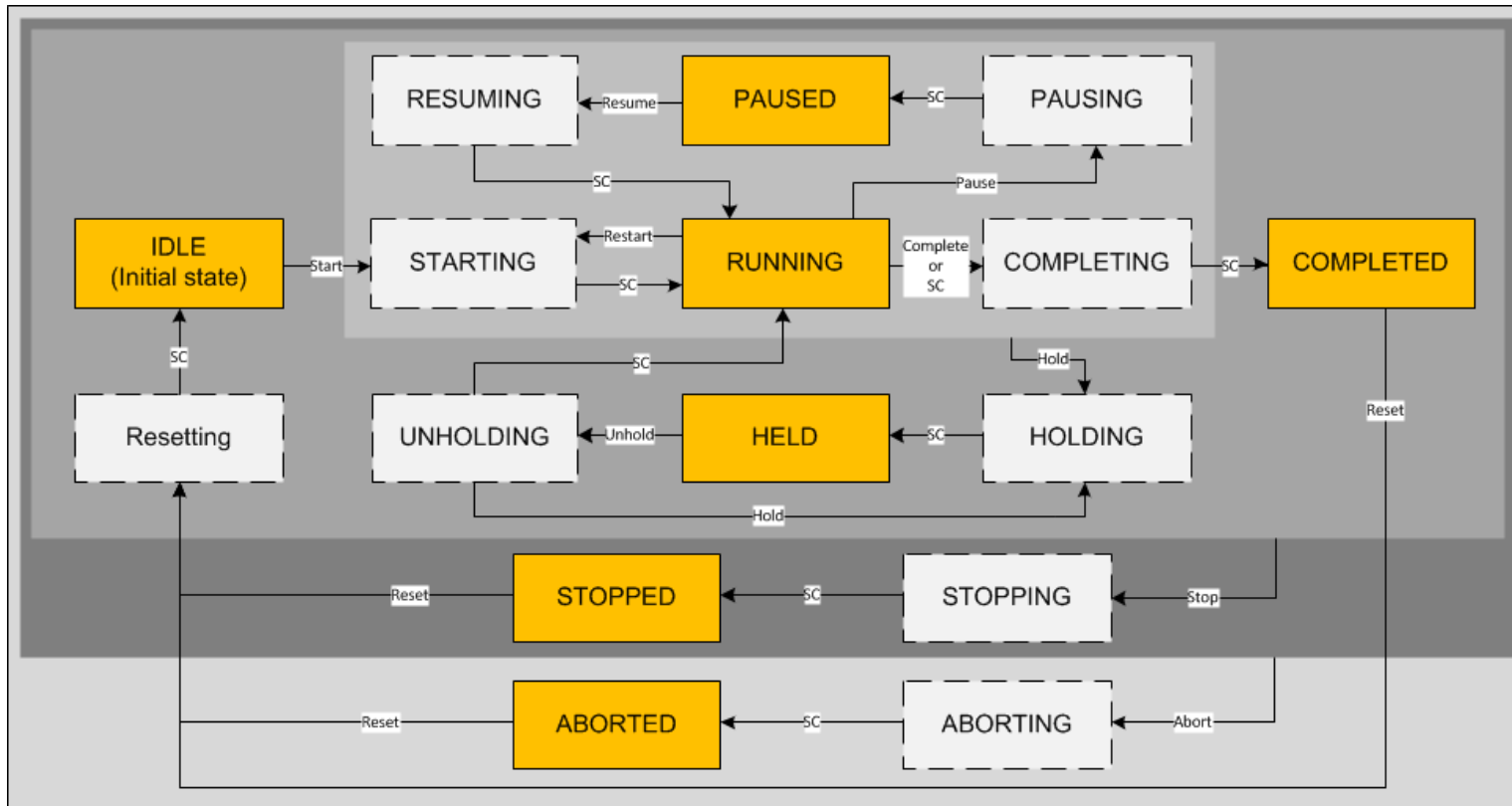
## Modulspezifikation

- Services
- Physikalische Eigenschaften
- Stoffliche Anforderungen
- Nennwerte
- Arbeitsbereiche
- Schutzvorrichtungen
- .....





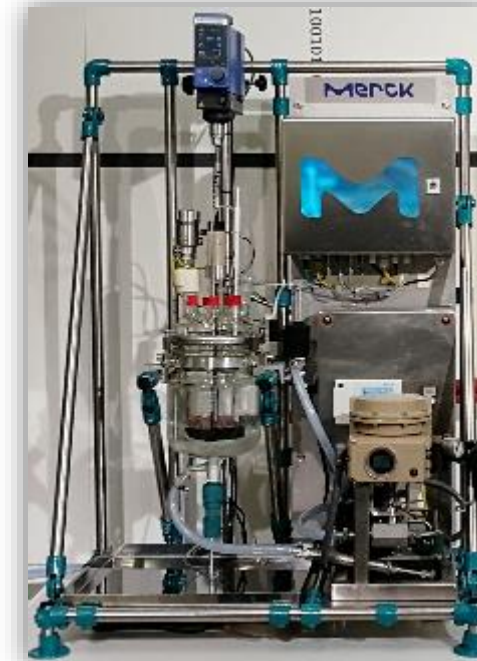
# Service-Konzept



- Zustandsmaschine
  - Gesteuert über Kommandos
  - Rückmeldung über Status
- OPC UA als Kommunikationsmedium
- Schnittstellenbeschreibung
  - Services, Parameter, etc.
  - In MTP (AutomationML)

# Modulauswahl

- Modulauswahl im Modulverwaltungstool
  - Standortintern
  - Unternehmensintern
  - Unternehmensübergreifend
  - Herstellerkatalog
- Ausschreibung Spezialanfertigung



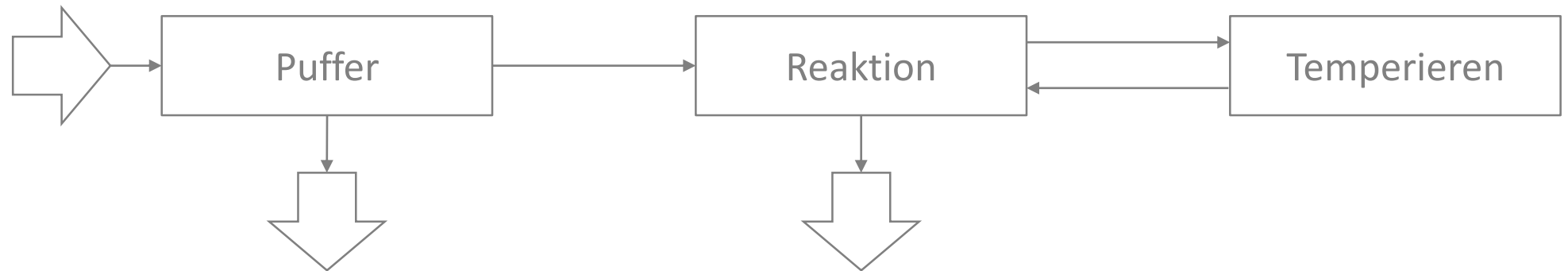




# Ableitung Modultopologie

## Erstellung der Modultopologie

- Automatisch auf Basis von Grundfließschema und ausgewählten Modulen
- Manuelle Erstellung in einem Konfigurationstool





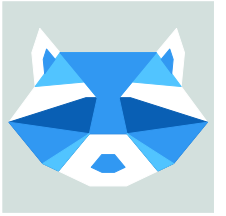
- 
- ```

graph TD
    A[Design new module(s)] --> B[Modular process plant]
    B --> C[Selection of modules]
    C --> D[Connections between the modules]
    D --> E[substances]
    E --> F[Modular HAZOP studies]
    F --> G[Hazard & risk assessment]
    G --> H[Allocation to protection layers]
    H --> I[Option]
    I --> J[Specification, Design & Engineering]
    J --> K[Options]
    K --> L[Module]
    L --> M[Detail Design PT & Detail Engineering PC]
    M --> N[Options]
    N --> O[Basic Design PT & Basic Design PC]
    O --> P[P&ID of the module]
    O --> Q[Specification of pipes, instrumentation, ...]
    P --> G
    Q --> G
  
```

Bildquelle: Pfeffer A., Urbas L. "HAZOP studies for engineering safe modular process plants", ETFA 2017.

# Definition Rezept

- Deklarative Beschreibung
  - Nutzung der Services
  - Parameterfestlegung
  - Konfiguration der Module
- Ebenen der Service-Orchestrierung
  - Phasen
  - Modes
  - Steps



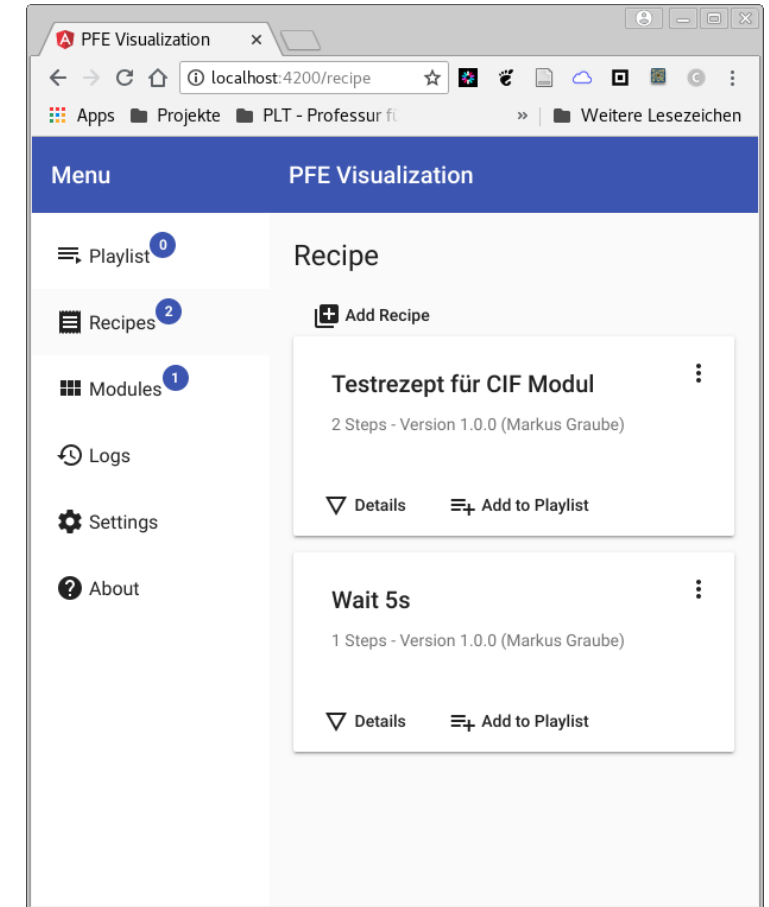
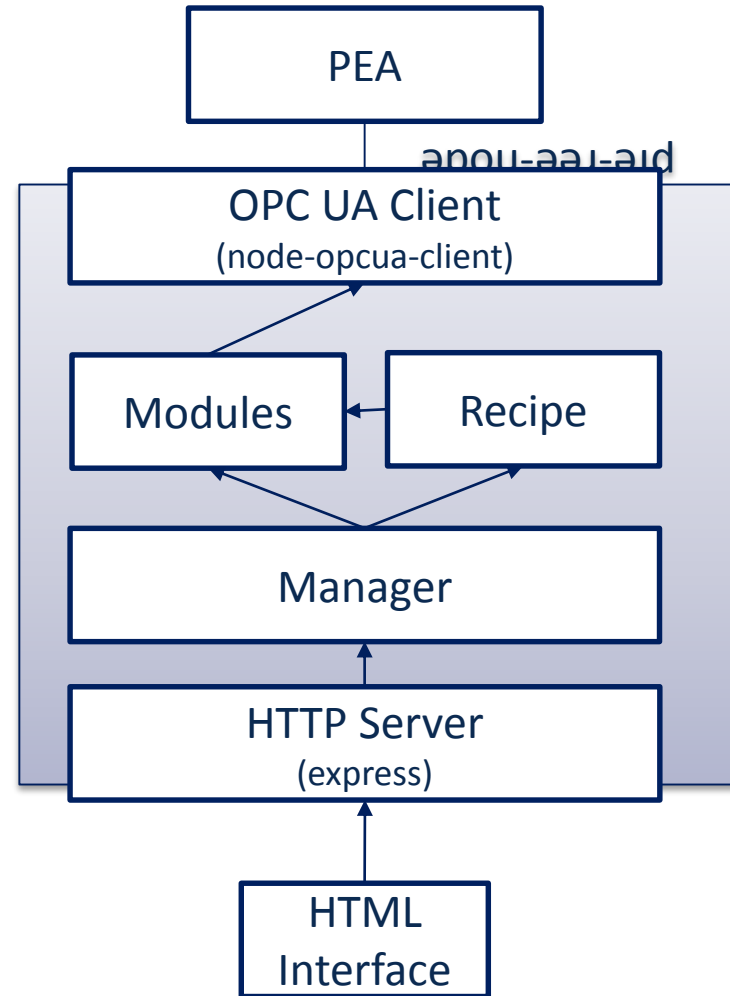
```
{
  "version": "0.1.0",
  "name": "Rezept ACHEMA",
  "author": "Markus Graube",
  "initial_step": "Startup.Init.1",
  "steps": [
    {
      "name": "Startup.Init.1",
      "operations": [
        {
          "module": "Dose",
          "service": "Fill",
          "command": "start"
        }
      ],
      "transitions": [
        {
          "next_step": "Startup.Init.2",
          "condition": {
            "type": "state",
            "module": "Dose",
            "service": "Fill",
            "state": "running"
          }
        }
      ]
    }
  ],
  "name": "Startup.Init.2"
}
```

|                | MTP Service (PFE Sicht) |      | Verfahrenstechnische Prozessphasen nach ISA 106 |                              |       |                         |             |
|----------------|-------------------------|------|-------------------------------------------------|------------------------------|-------|-------------------------|-------------|
| Modul          | Name                    | Type | Vorlegen                                        | Reagieren                    | Ruhen | Aufheizen               | Entleeren   |
| Dosiermodul    | Vorlegen                | SC   | V = 10 l, t=AFAP                                |                              |       |                         |             |
|                | Dosieren                | SC   |                                                 | V= 10 l, F = 1 l/min         |       |                         |             |
|                | Nachfüllen              |      |                                                 |                              |       |                         |             |
| Reaktormodul   | Rühren                  |      | n = 100 Upm                                     | n = 200 Upm                  |       |                         |             |
|                | Begasen                 |      |                                                 | F = 0,01 l/min               |       |                         |             |
|                | Entleeren               | SC   |                                                 |                              |       |                         | F= 10 l/min |
| Heiz/Kühlmodul | Temperieren             |      |                                                 |                              | T=4°C |                         |             |
|                | Rampe                   | SC   |                                                 | dt = -10°C/min, T_target=4°C |       | dt = +10°C/min, Tt=20°C |             |



# Prozessführung über Rezepte

- P2O Forschungs-PFE
  - Laden von Modulinformationen aus MTP
  - Service-Ansteuerung
  - Lade Rezepte
  - Simple StateMachine zur Ausführung
- Interface
  - HTML-Bedieninterface
  - REST API





## Next Steps

- Weitergehende Automatisierung des Prozesses
  - (Semi-)Automatische Modulauswahl
  - (Semi-)Automatische HAZOP
  - (Semi-)Automatische Rezeptdetaillierung
- Erweiterung der Prozesskette
  - Ableitung von Grundfließbild aus Produkteigenschaften
  - Überführung von Laborerkenntnissen in Orchestrierungsprozess
  - Lernen aus Betrieb der Module für zukünftige Orchestrierungen
- Intelligente Infrastruktur
  - Kontrollierte Freigabe und Messung von Betriebsmitteln
- Alarme & Meldungen
  - Archivierung, Meldesystem
- Kontinuierliche Fahrweisen
  - Batch/Konti-Übergänge
- Veränderte Benutzerunterstützung durch AR/VR
  - Planung, Betrieb, Wartung