



# RESOURCE-EFFICIENT, ECONOMIC AND INTELLIGENT FOODCHAIN

## Das REIF-Projekt: Mit KI gegen Lebensmittelverschwendung (Schwerpunkt Fleisch)

Prof. Dr.-Ing. Stefan Braunreuther | Hans-Martin Braun | 15.12.2023

# Problemstellung und Ziele

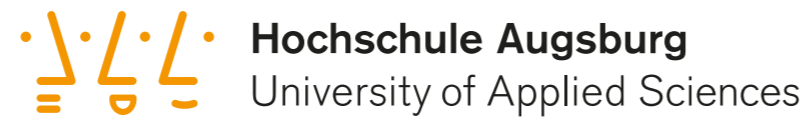
- Problemstellung:
  - Ca. 11 Millionen Tonnen Lebensmittel werden jährlich alleine während der Herstellungsprozesse entlang der Wertschöpfungskette in Deutschland vernichtet.
  - Konventionelle Technologien stoßen an ihre Grenzen.
- Ziele:
  - Die Erarbeitung von Potentialen zur Verlustreduzierung mittels KI in Molkerei-, Fleisch- und Backwaren-Branche.
  - Angestrebte ist eine Reduzierung der Lebensmittelverluste um bis zu 90% durch
    - Minimierung von Überproduktion
    - Vermeidung von Ausschuss.
  - Die Entwicklung einer ganzheitlichen Optimierungsstrategie über mehrere Wertschöpfungsstufen und -partner.



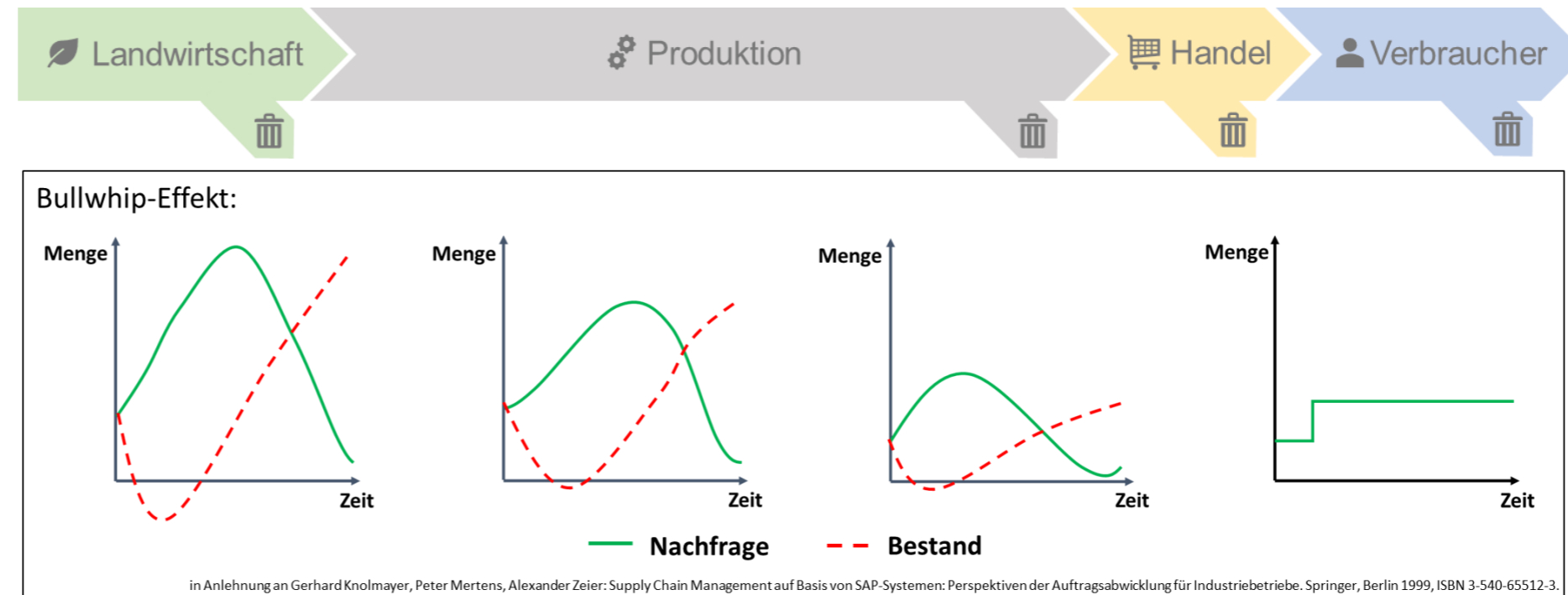
# Umsetzung

- Projekt im Rahmen der Förderinitiative „Künstliche Intelligenz als Treiber für volkswirtschaftlich relevante Ökosysteme“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi)
- Eines von 16 ausgewählten Projekten unter 132 eingereichten Projektskizzen
- Gesamtfördervolumen ca. 160 Mio. Euro, davon 7,3 Mio Euro für das REIF-Projekt
- Zeitraum: 01.04.2020 – 30.06.2023
- Acht Teilprojekte entlang der Wertschöpfungskette
  
- Konsortium:
  - 18 Konsortialpartner
  - 13 assoziierte Partner
  - Partner aus Industrie, Verbänden und Forschung – vom Start-up bis zum Markenhersteller

# REIF - Projektpartner



# Besonderheit der Lebensmittel Supply Chain



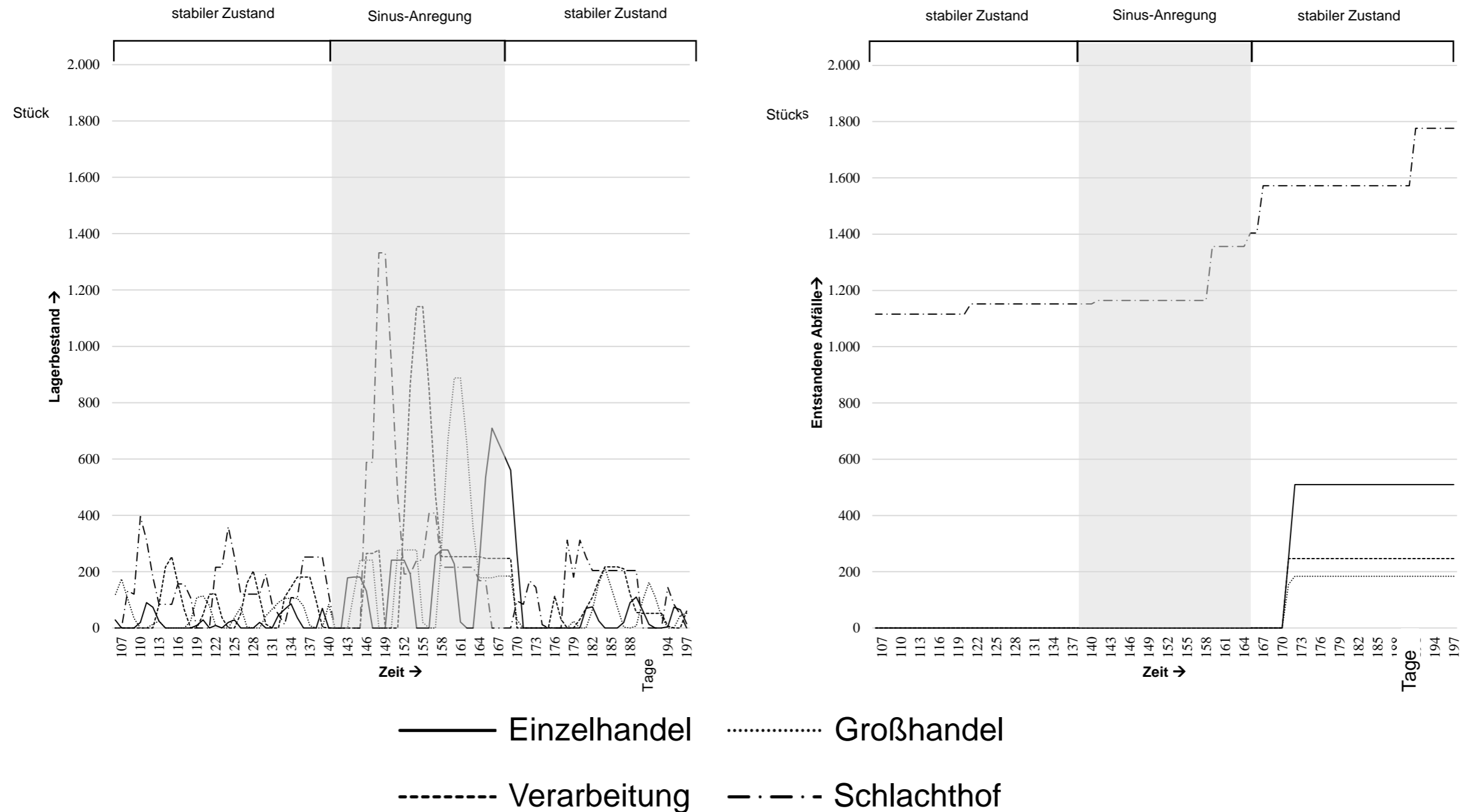
Klassischer Bullwhip-Effekt:

Lebensmittel Supply Chain:

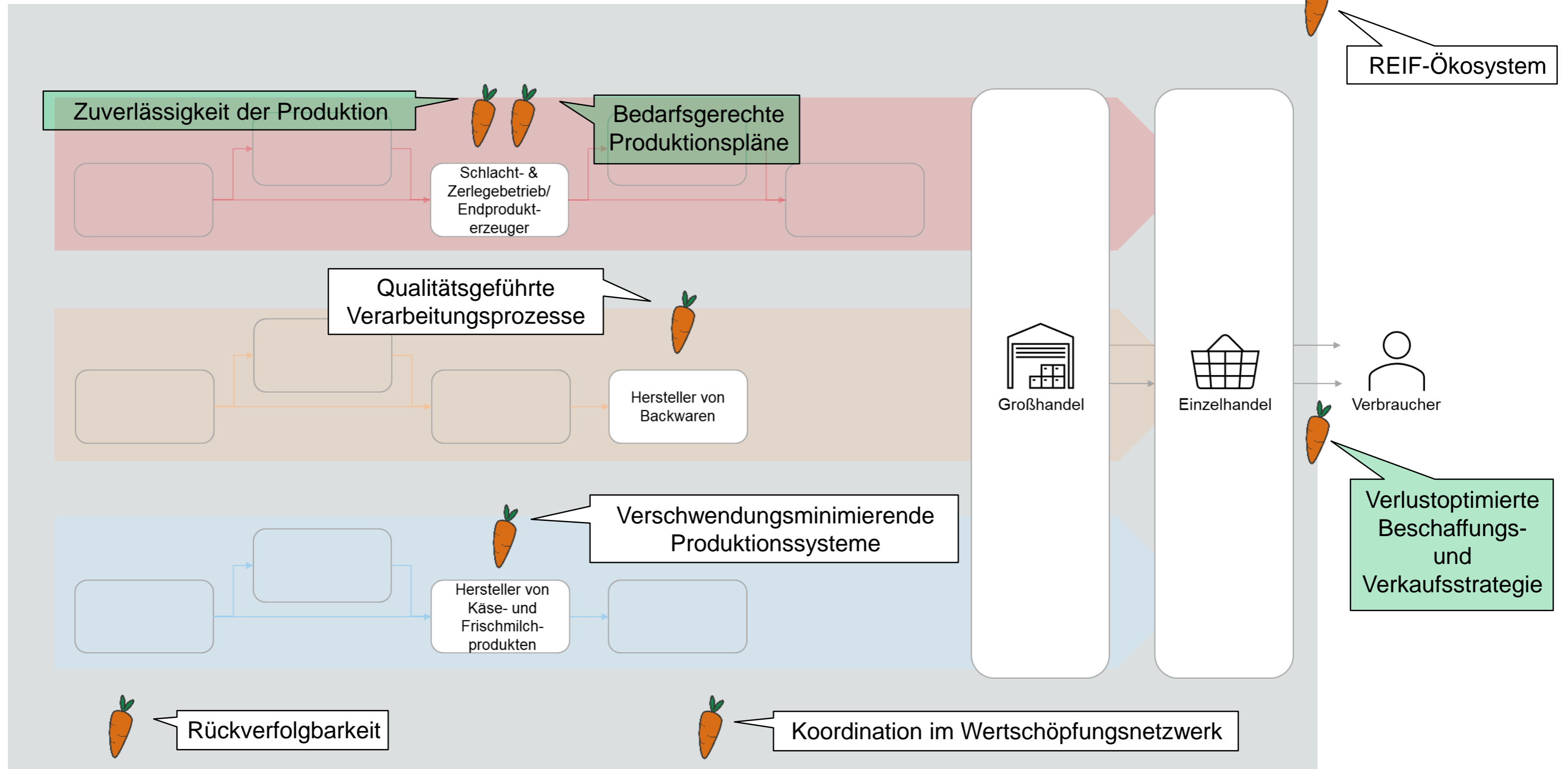
- Anregung (z. B. Hamsterkäufe) führt zum Bullwhip-Effekt
- Bullwhip-Effekt in der Lebensmittel Supply Chain folgt keinem konkreten Muster (chaotisch)
- Ausregelung in der Lebensmittel Supply Chain nicht auf klassischem Wege möglich
- KI-basierter Ansatz unter Verwendung von Multiagentensystemen auf einer Plattform

# Besonderheit der Lebensmittel Supply Chain

Bullwhip-Effekt in der Lebensmittel Supply Chain (Bsp. Produkte aus Schweinefleisch):



# Wertschöpfungsketten und Teilprojekte



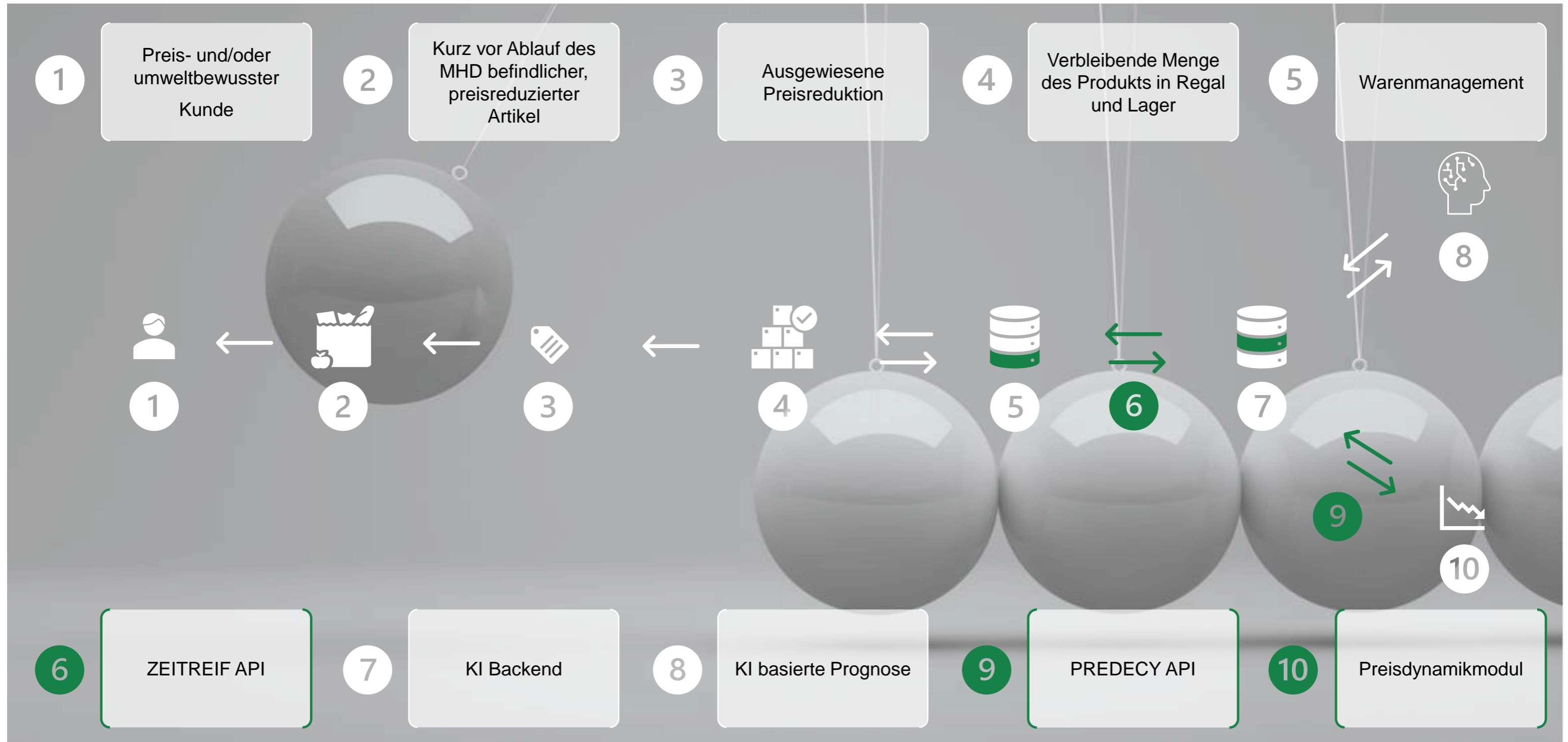
# Verlustoptimierte Beschaffungs- und Verkaufsstrategie



Quelle: Marcus Kaufhold



# Verlustoptimierte Beschaffungs- und Verkaufsstrategie

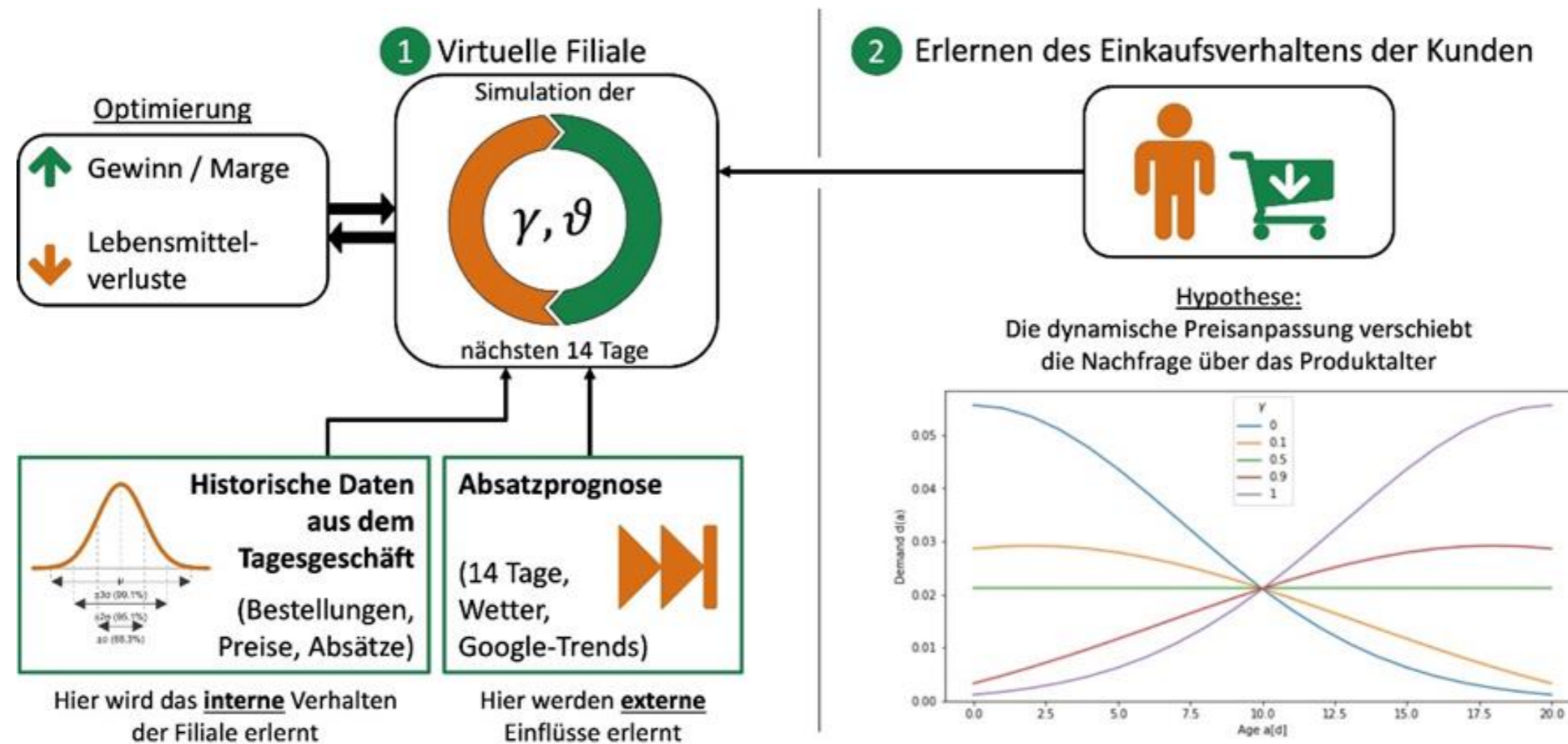


# Verlustoptimierte Beschaffungs- und Verkaufsstrategie - Ergebnisse

- **Bedarfsprognose**
  - Berücksichtigung z. B.
    - historischen Verkaufsdaten
    - Wetterprognosen
    - Prognosen anderer Wertschöpfungsstufen
  - Nachvollziehbarkeit durch systematisches Speichern der Trainingsabläufe und Verlinkungen gegeben
  - Monitoringprozesse für den Endanwender integriert
  - Skalierbarkeit hin zur Prognostizierung vieler „Kunden“
  - Aggregation mehrerer Standorte und Kundengruppen zu einer übergeordneten Einheit
  - Prognosehorizont von wenigen Tagen bis hin zu Jahresprognosen

# Verlustoptimierte Beschaffungs- und Verkaufsstrategie - Ergebnisse

- **Dynamische Preisanpassung**
  - Ermittlung der zu reduzierenden MHD-Artikel auf Grundlage von
    - internen Daten: Produkt-Bewegungsdaten, Preise, Absätze
    - externe Daten: Wettervorhersage, Google-Trends
  - Berechnung des reduzierten Preises täglich zu Tagesbeginn



# Verlustoptimierte Beschaffungs- und Verkaufsstrategie

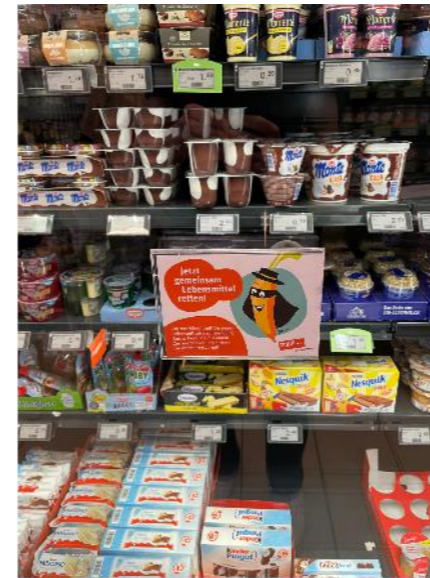
Das Ergebnis aus Sicht des Endverbrauchers



**Jetzt gemeinsam Lebensmittel retten!**

Zorrero kämpft mit Dir gegen Lebensmittelverschwendung. Suche Produkte mit einem Zorrero Sticker und sichere Dir einen Preisvorteil!

**tegut...**  
gute Lebensmittel



Bekannt aus den tegut...-Märkten Eichenzell, Marburg-Wehrda und Marburg-Cappel: Zorrero

- Potential:
  - Bis zu 21% der Verluste können bei gleichzeitiger Umsatzsteigerung um 3% erreicht werden

# Bedarfsgerechte Produktionspläne



Source: Adobe Stock/Salomonus

# Bedarfsgerechte Produktionspläne

## Übersicht über die entwickelten KI-Prototypen



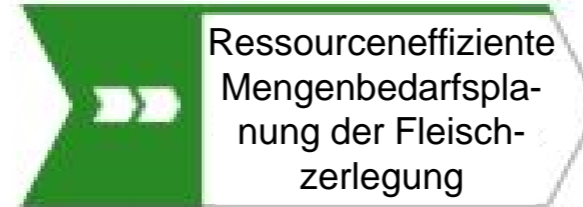
Lieferprognose

Supervised Learning  
Tägliche Prognose der Schweinequalitäten

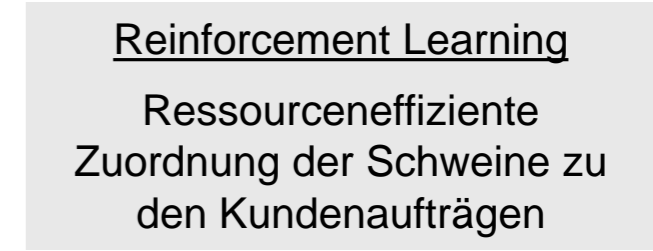


Kurzfristige Anlieferplanung

Reinforcement Learning  
Lieferung auf Abruf auf Grundlage des KI-Prognose, Vermeidung von Über- und Unterdeckung



Ressourceneffiziente Mengenbedarfsplanung der Fleischzerlegung

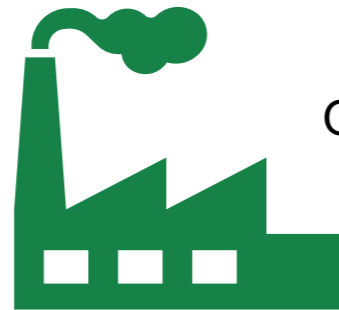


Reinforcement Learning  
Ressourceneffiziente Zuordnung der Schweine zu den Kundenaufträgen



Landwirt

Lieferterminierung



Schlachthaus - Kühlhaus-

Qualitätsanforderungen

Quality matrix

Quality A | origin 4xD | HF3

Quality B | origin 3xD | HF1

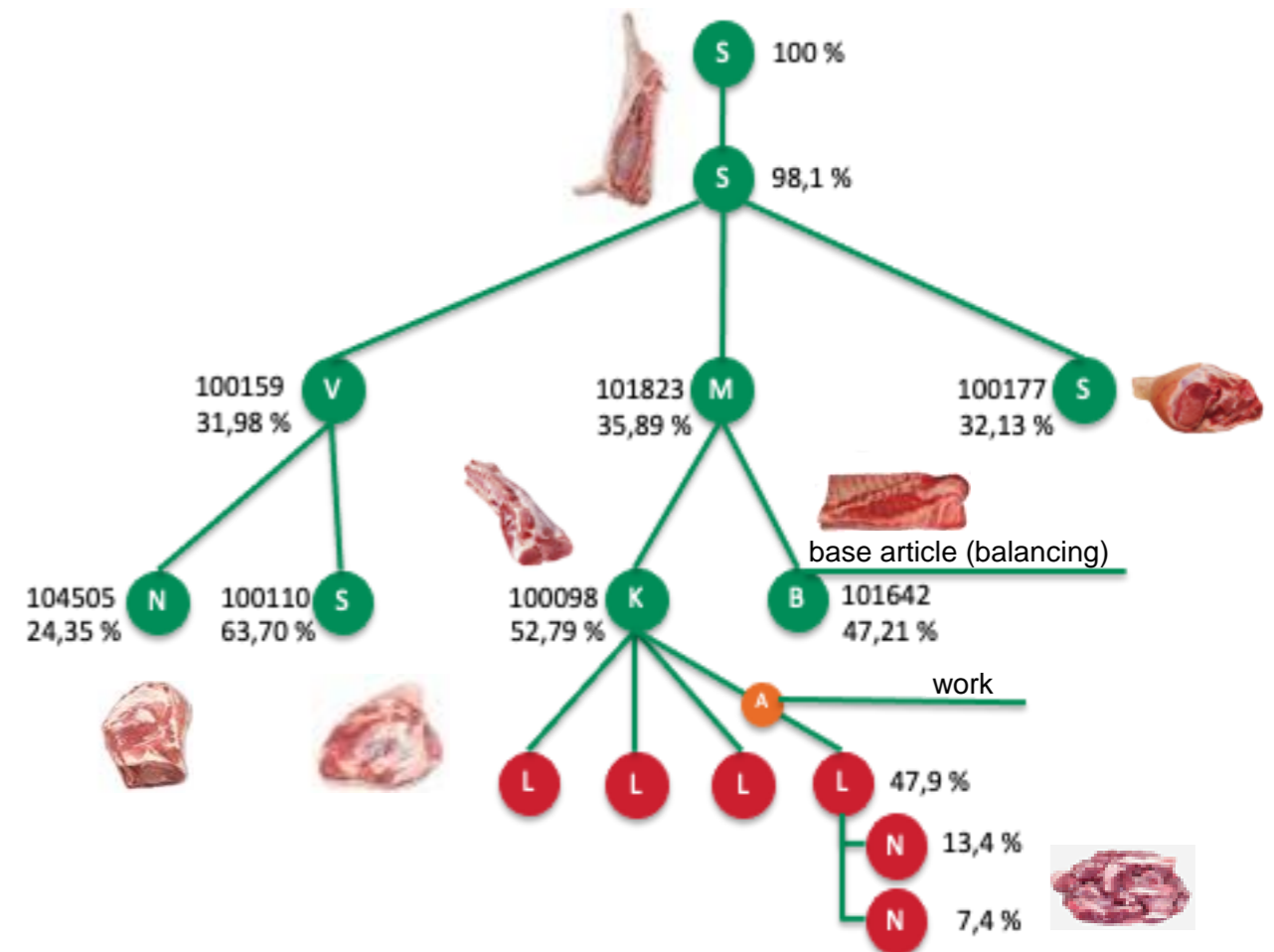
Quality C | origin 4xD | HF4

...

Push

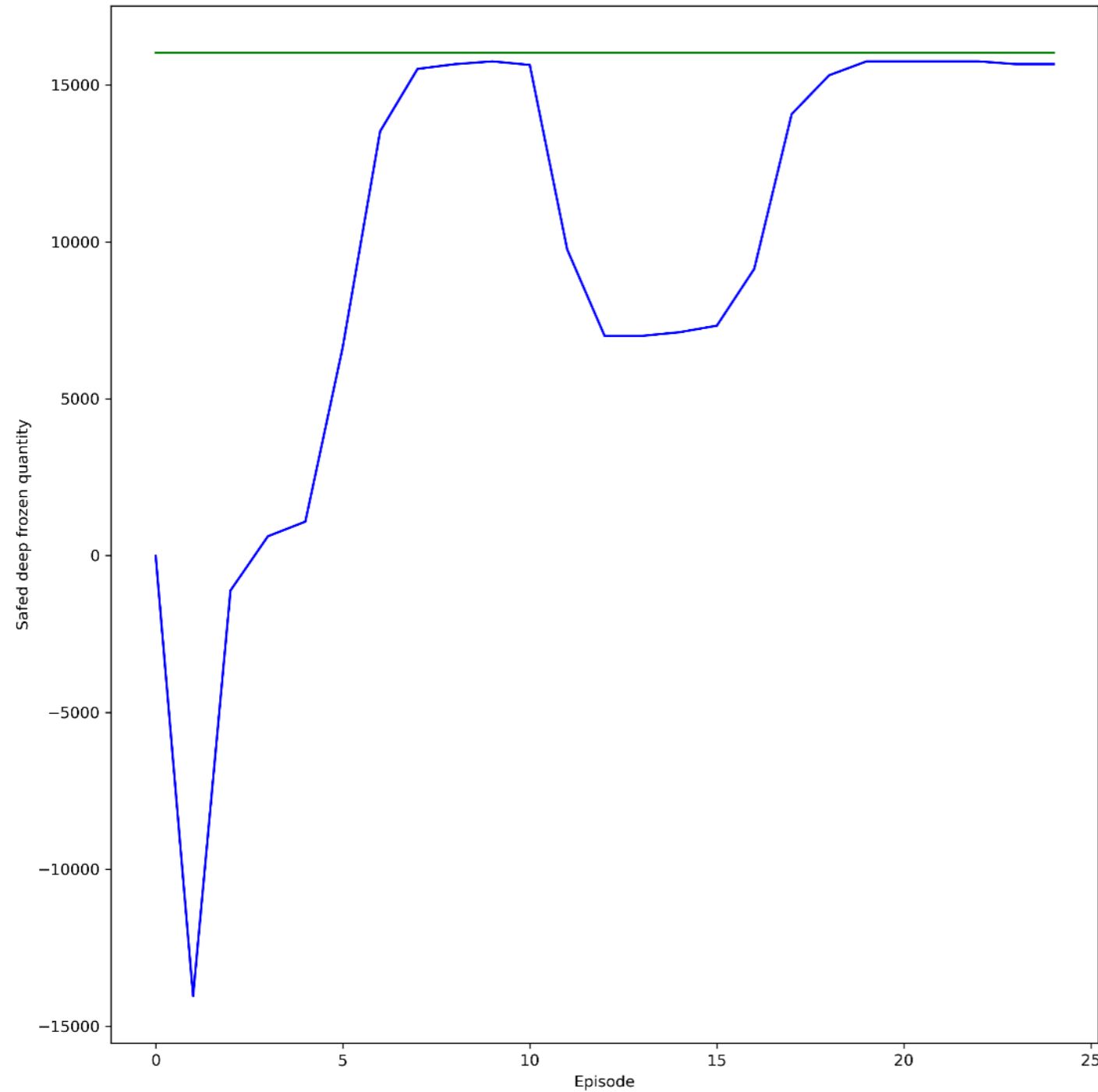
Pull

Planungsalgorithmus



# Bedarfsgerechte Produktionspläne

## Lernverhalten des KI-Modells



- Optimierungszielgröße: Einfriermenge
- Maximal mögliche Verbesserung: 16.020 Stück
- Verbesserung KI-Prototyp: 15.754 Stück

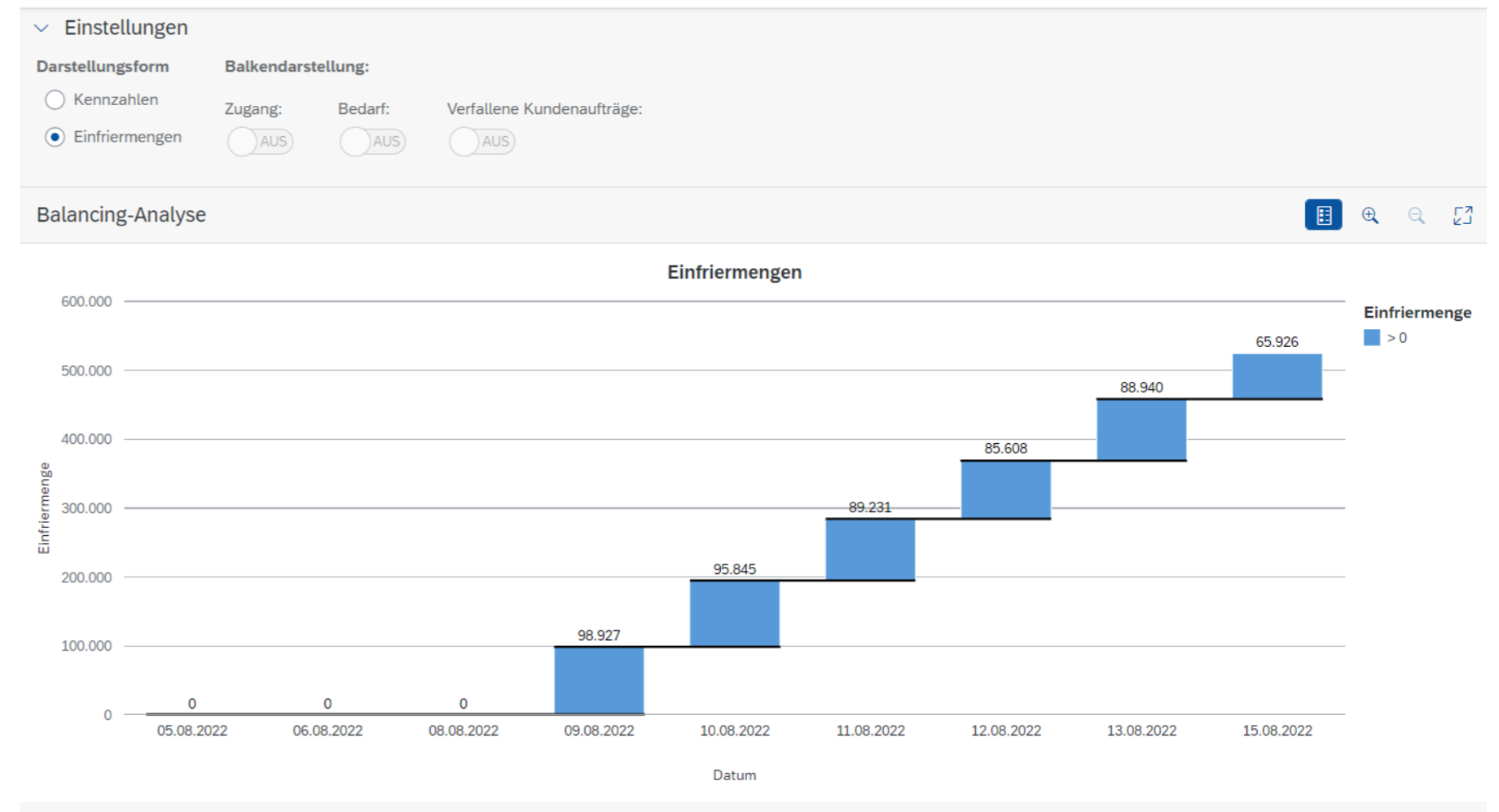




# Bedarfsgerechte Produktionspläne

## Ergebnisse aus Anwendersicht

- Applikation „Kundenaufträge“
  - Darstellung der Planungsanpassungen der Kundenaufträge
- Applikation „Balancing Analyse“
  - Darstellung zur Visualisierung und Analyse der von der KI berechneten Kennzahlen
  - Ausgabe des durch die KI zu minimierende Kennzahl „Einfriermenge“



# Zuverlässigkeit der Produktion



Source: Adobe Stock/Gitusik

# Zuverlässigkeit der Produktion

- Ziel: KI-gestützte Optimierung zur Steigerung der Mindesthaltbarkeit von Fleischerzeugnissen aus einem Mischer
  - Stellgrößen: z. B. Mischdauer, zusätzlich eingebrachte Kühlung, Energieeintrag, Chargierung
  - Rückführgröße: Mindesthaltbarkeitsdatum/Alterungsgeschwindigkeit
- Problem: Messung der Mindesthaltbarkeit der Mischchargen muss inline erfolgen, um genügend Daten für das Training des KI-Modells zu generieren
  - > Entwicklung einer at-line-Messung für die Mindesthaltbarkeit und die Mischqualität

# Zuverlässigkeit der Produktion

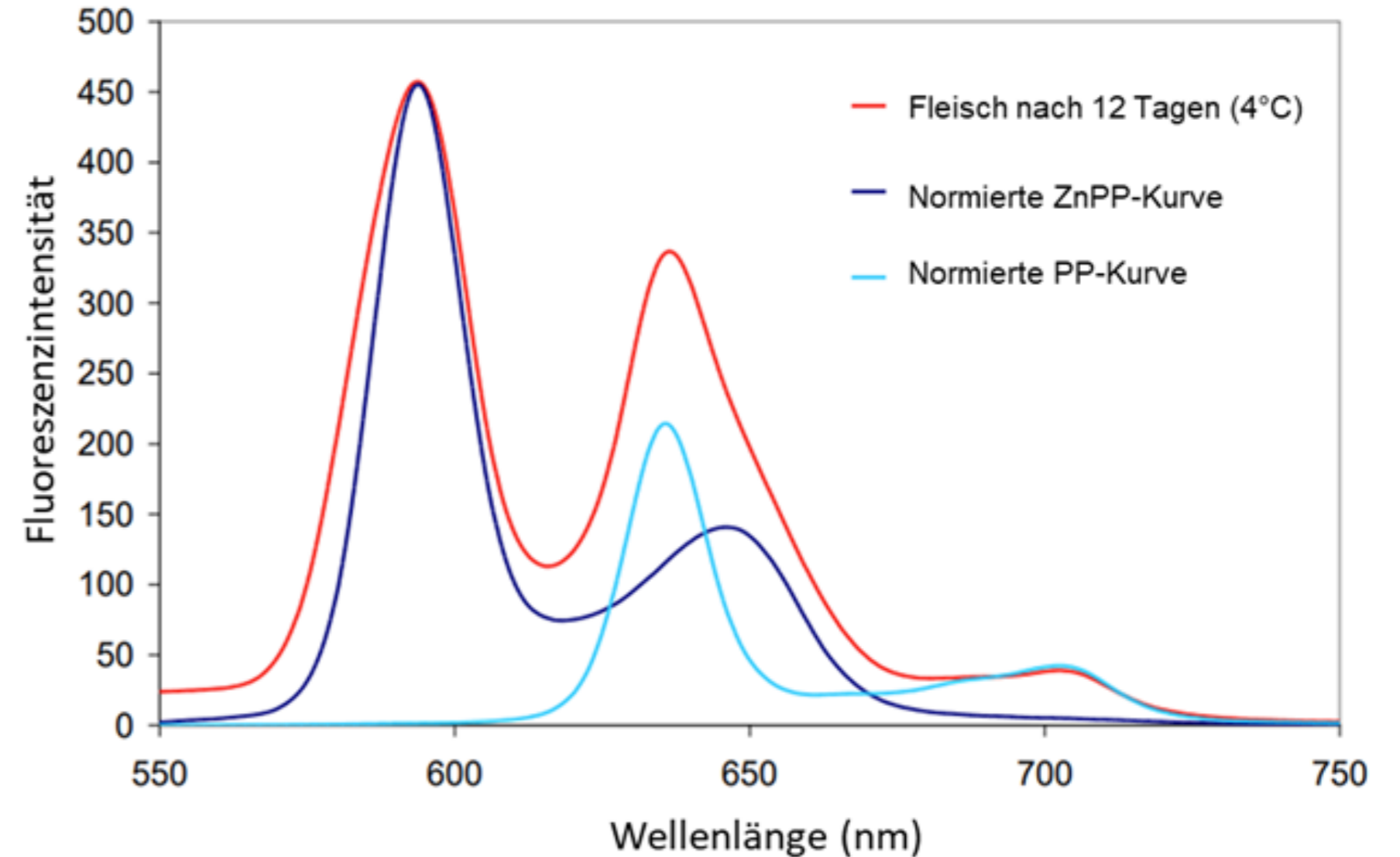
## Entwicklung der at-line-Messung der Mindesthaltbarkeit

- Bestimmung der Alterung des Fleisches durch Analyse der Zink-Protoporphyrin-Bildung
  - Zn-PP-Bildung hauptsächlich durch
    - Enzymatisch induziert Substitution von FE (II) aus Häm mit Zn (II) durch endogene Ferrochelatase (Alterung des Fleisches nach Tod des Tieres)
    - Bakterien induzierte enzymatische Reaktion
  - Analyse durch
    - UV-VIS-Fluoreszenzspektroskopie (Fleischalterungsprozess, Zn-PP)

# Zuverlässigkeit der Produktion

## Entwicklung der at-line-Messung der Mindesthaltbarkeit

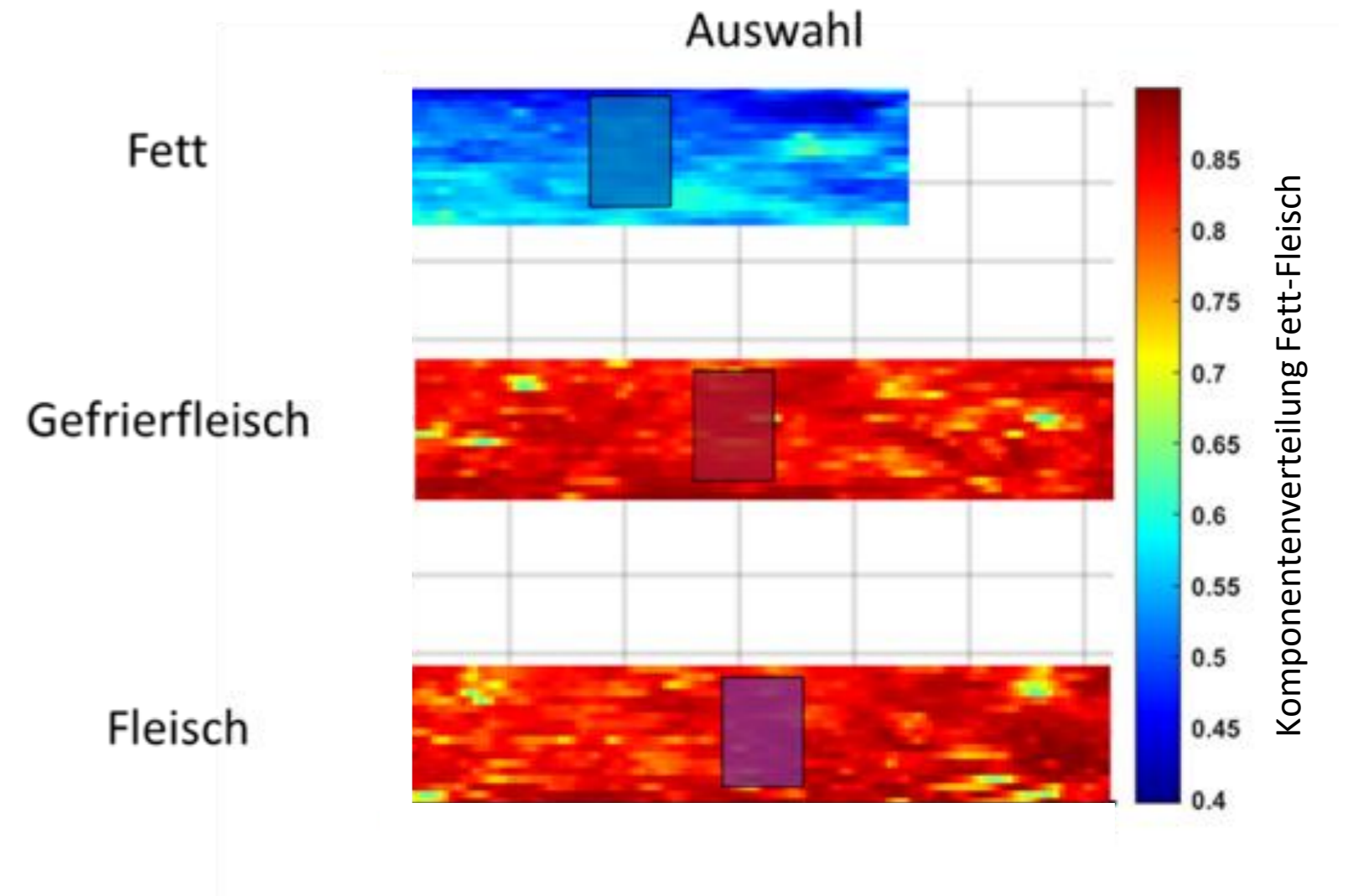
- Fluoreszenzspektroskopie
  - Probe für 12 Tage 4°C gelagert
  - Anregung mit Wellenlänge = 415nm
  - Fluoreszenzmaxima bei
    - $592 \pm 3\text{nm}$
    - $636 \pm 2\text{nm}$
    - $705 \pm 1\text{nm}$



# Zuverlässigkeit der Produktion

## Entwicklung der at-line-Messung der Mischqualität

- Bestimmung der Mischqualität durch Erfassung der Probenbestandteile
  - Homogenität (Protein, Wasser und Fett)
  - Eiweißaufschluss
- Analyse durch NIR-Absorptionsspektroskopie
  - Eindringtiefe ermöglicht eine Messung durch eine geeignete Verpackung hindurch
  - Spektralbereich 1000 nm bis 1600 nm

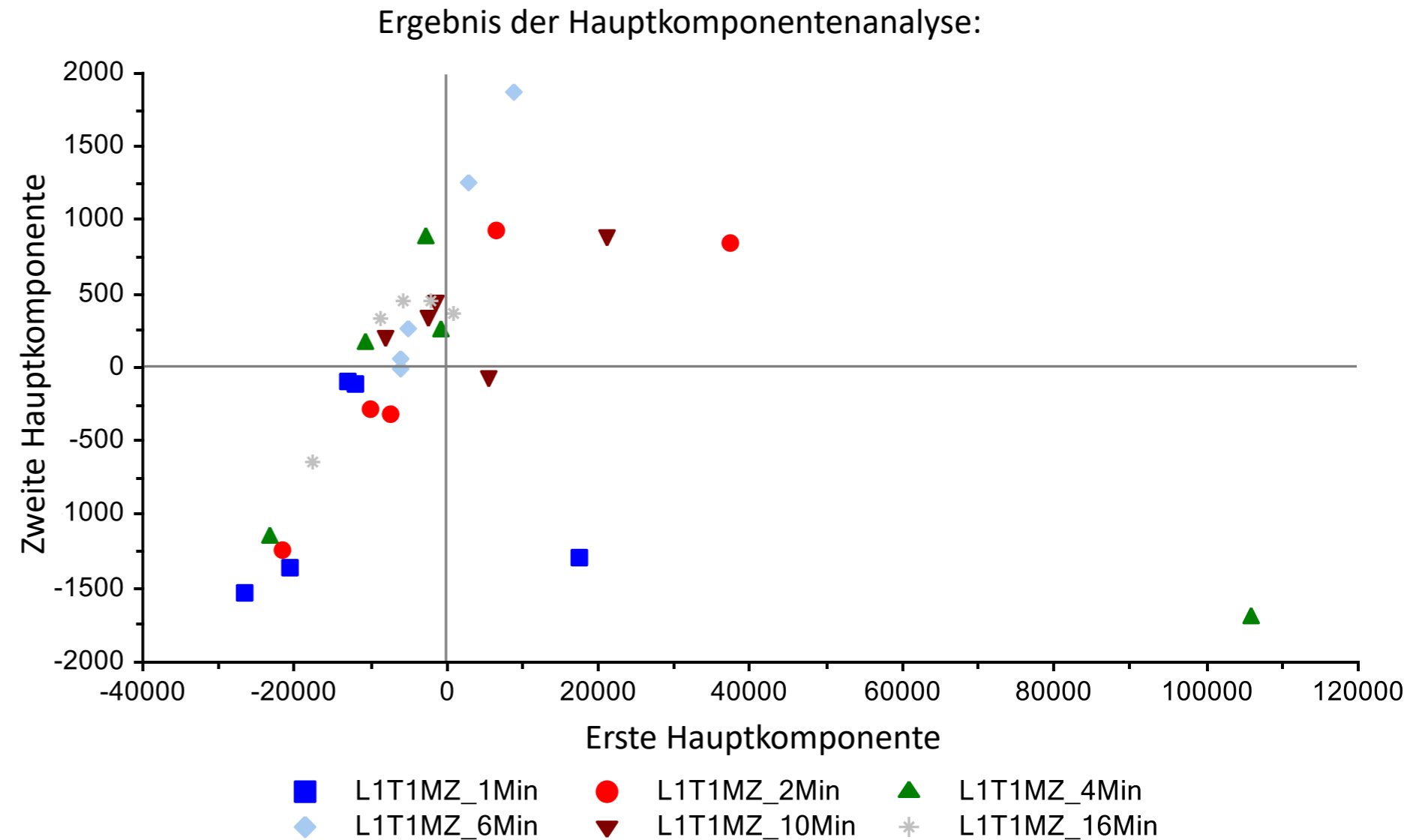


# Zuverlässigkeit der Produktion

## Ergebnisse der Hauptversuche - Fluoreszenzspektroskopie

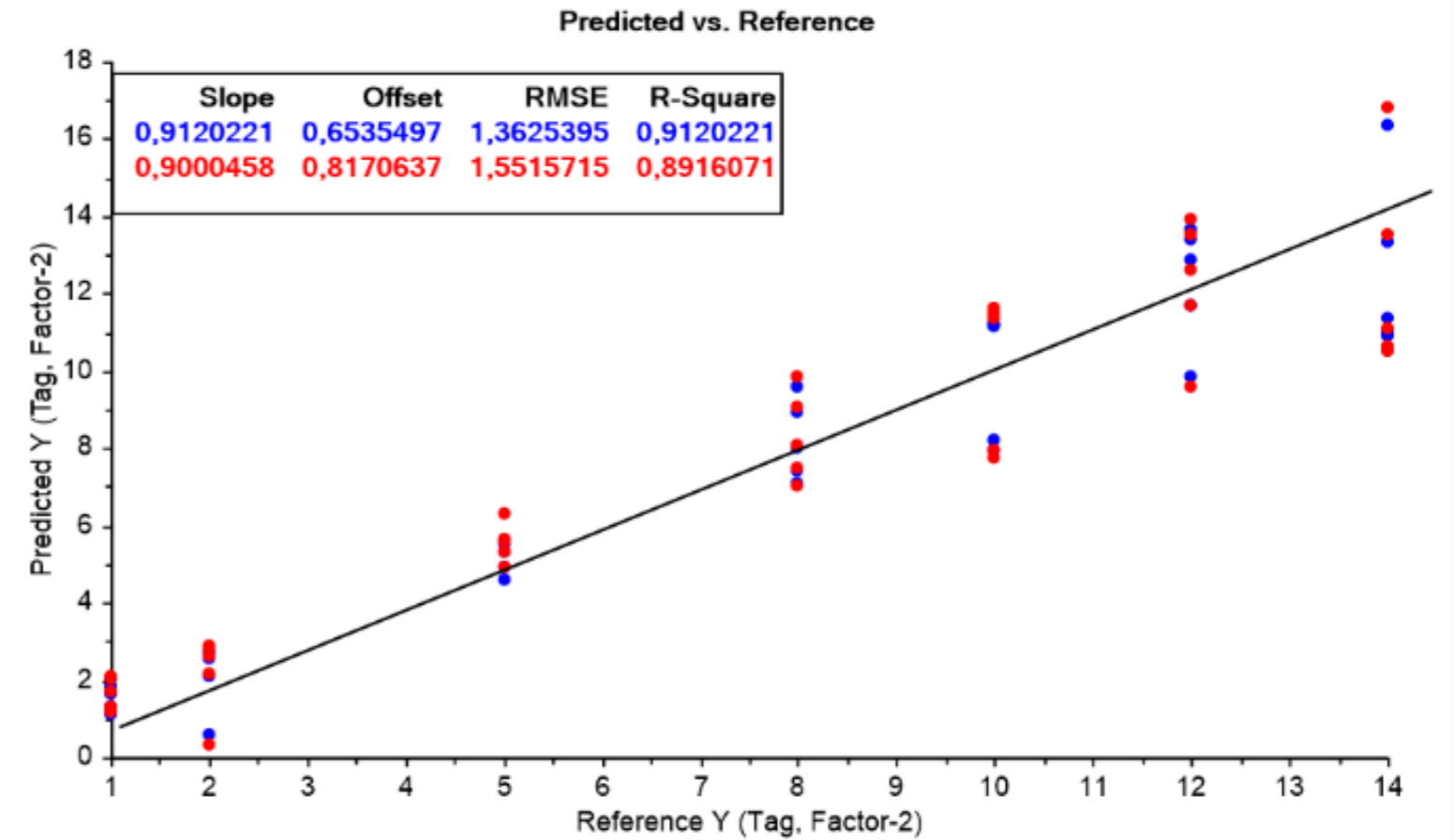
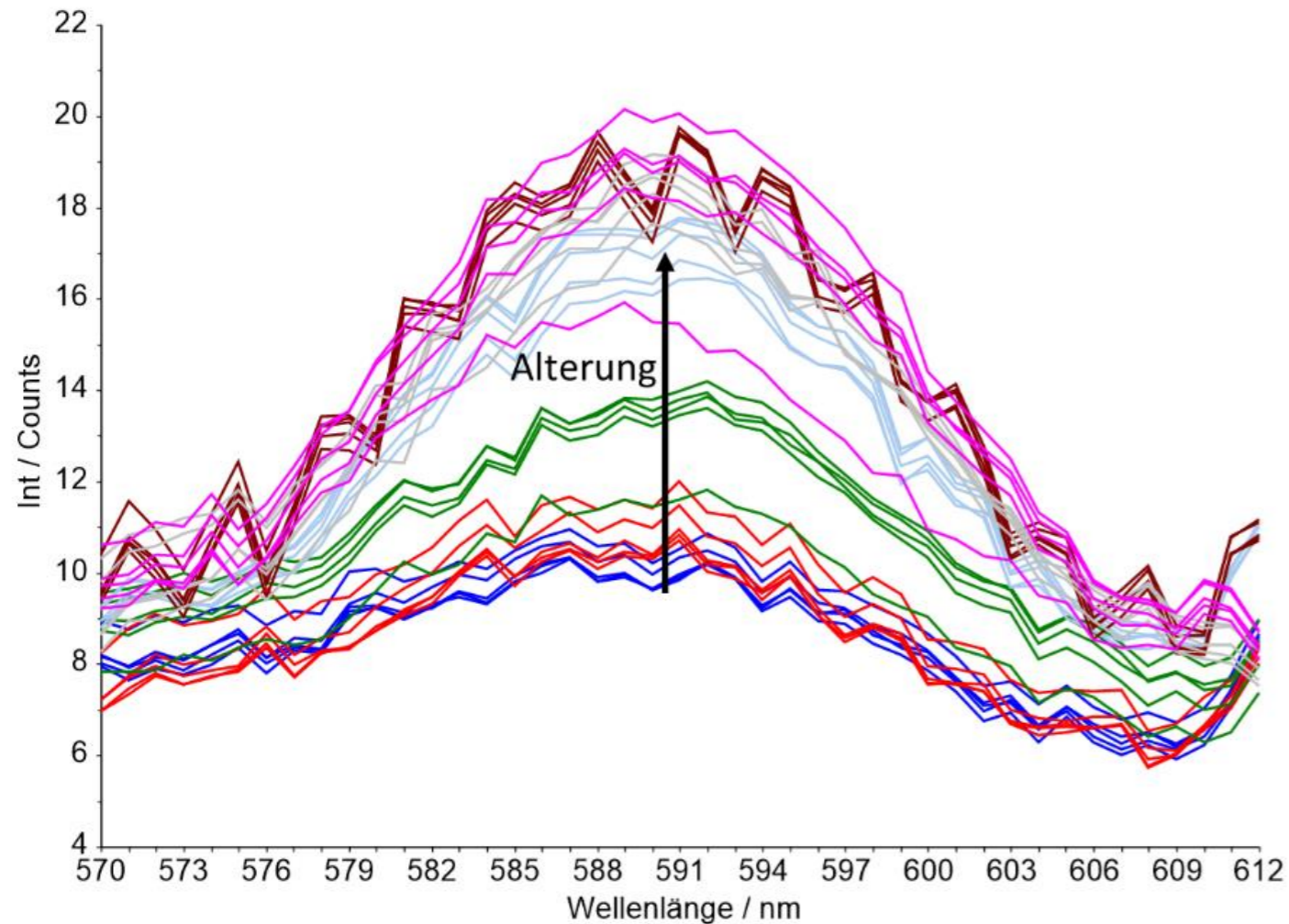
- Fluoreszenzspektroskopie
  - Messungen von Tag 1 bis Tag 14
  - Für Mischzeiten von 1 bis 16 Minuten

-> Homogenität ab Mischzeiten von 10 Minuten erreicht



# Zuverlässigkeit der Produktion

## Ergebnisse der Hauptversuche - Fluoreszenzspektroskopie



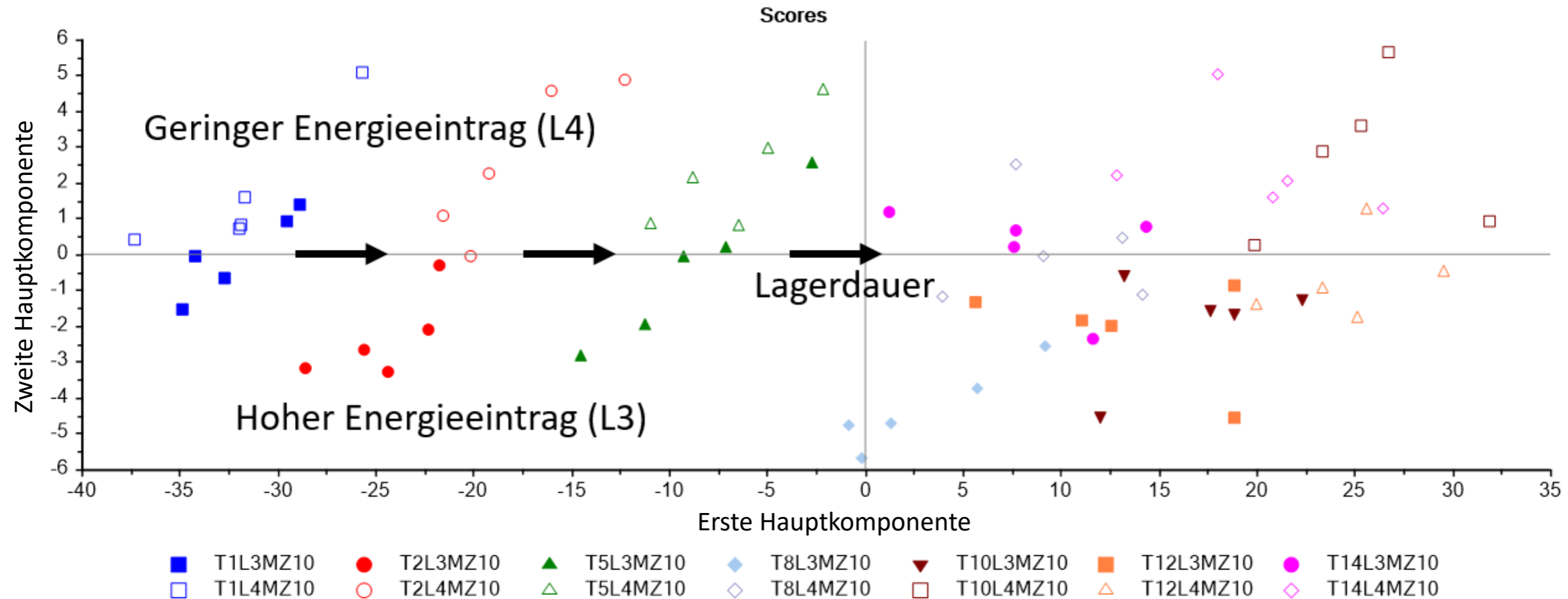
### ■ Vorhersagegenauigkeit:

- mögliche Lagerungszeit der Fleischproben kann auf ca. 36 Stunden genau vorhergesagt werden
- Für einzelne Durchläufe war eine Vorhersagegenauigkeit von ca. 19 Stunden möglich



# Zuverlässigkeit der Produktion

## Ergebnisse der Hauptversuche - Fluoreszenzspektroskopie

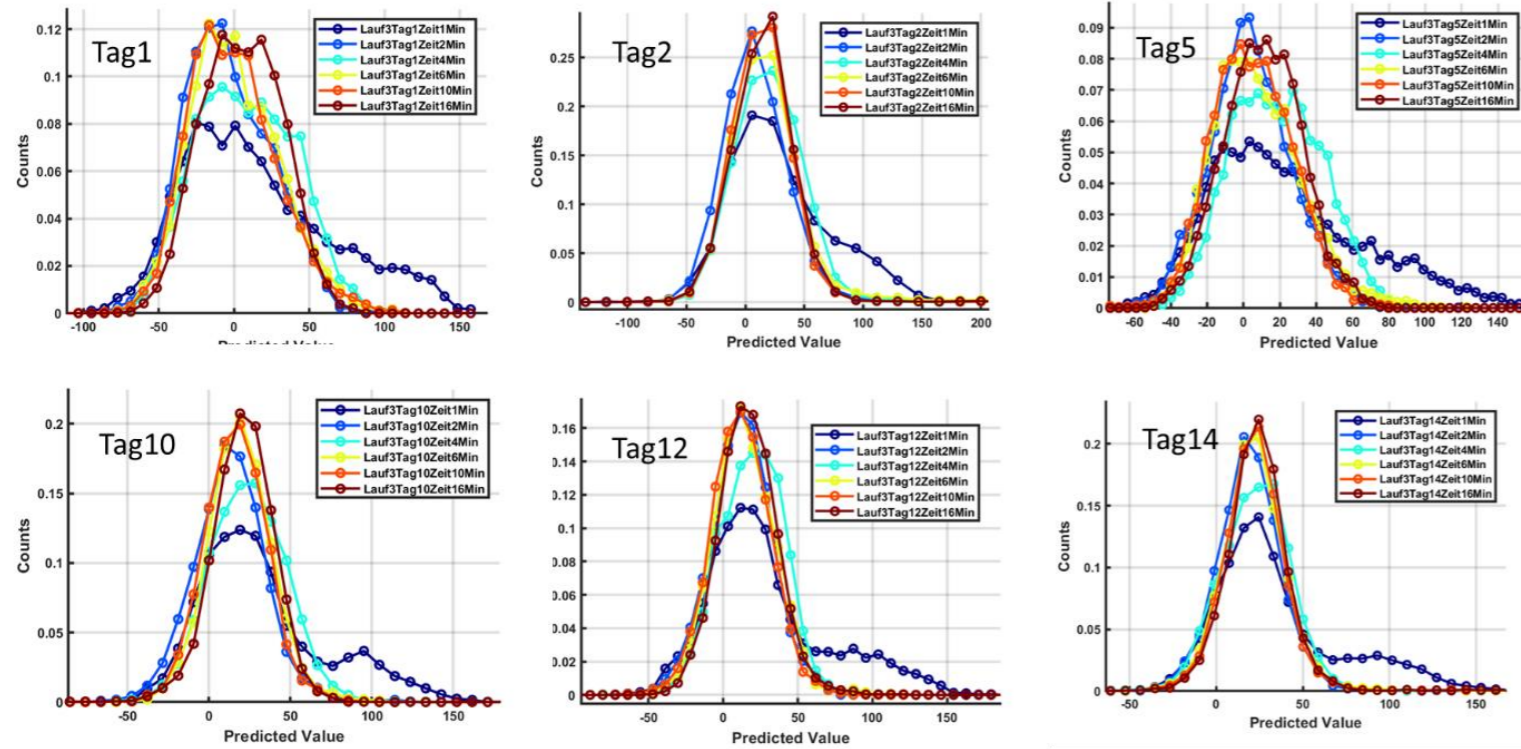


### ■ Ergebnisse:

- Hoher Energieeintrag führt zu einer schnelleren Alterung
- Hoher Energieeintrag führt zu vermehrter bakterieller Bildung von Zn-PP

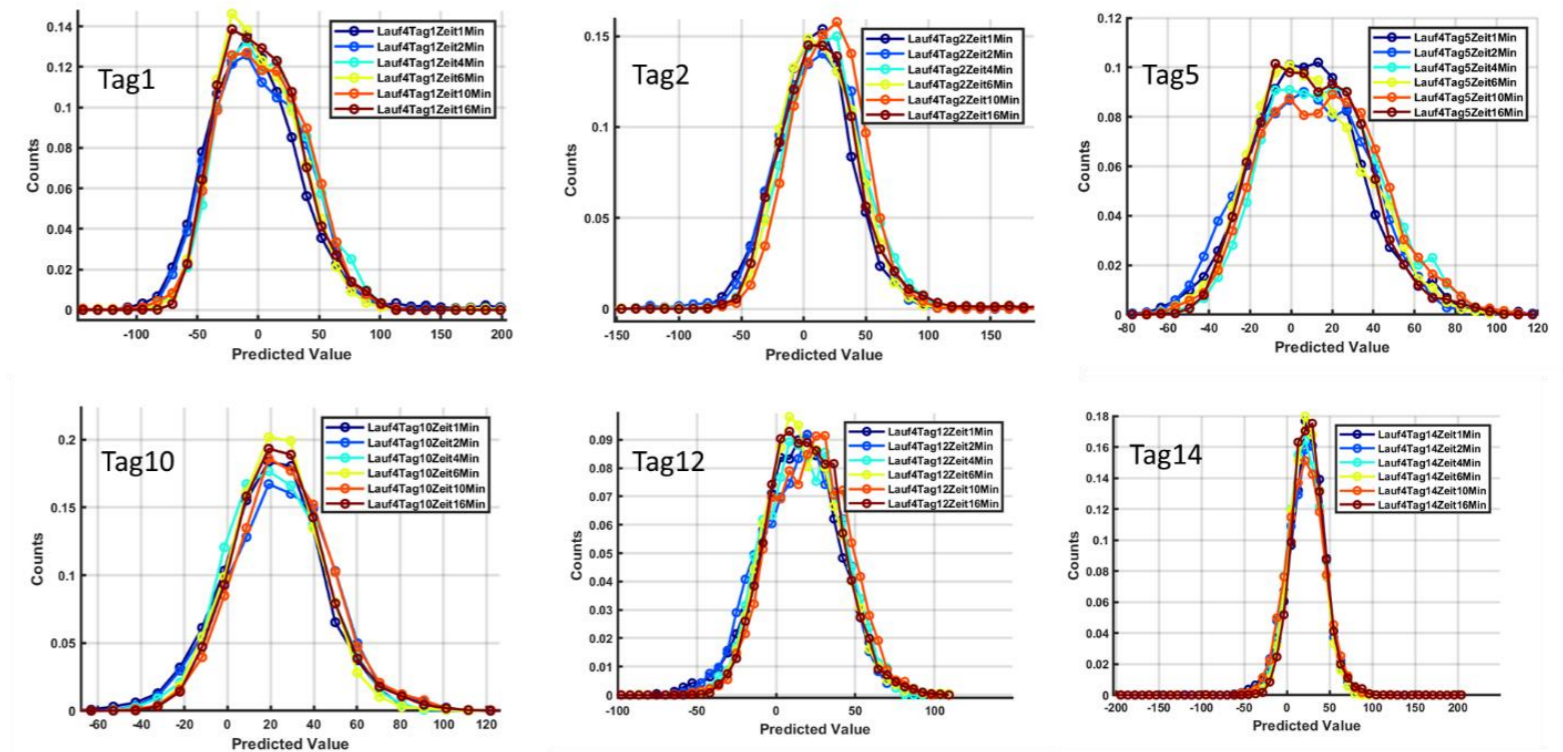
# Zuverlässigkeit der Produktion

## Ergebnisse der Hauptversuche - NIR-Absorptionsspektroskopie



### Hoher Energieeintrag

- Starke Abhängigkeit der Homogenität von der Mischzeit
- Homogenität nimmt mit Alter zu



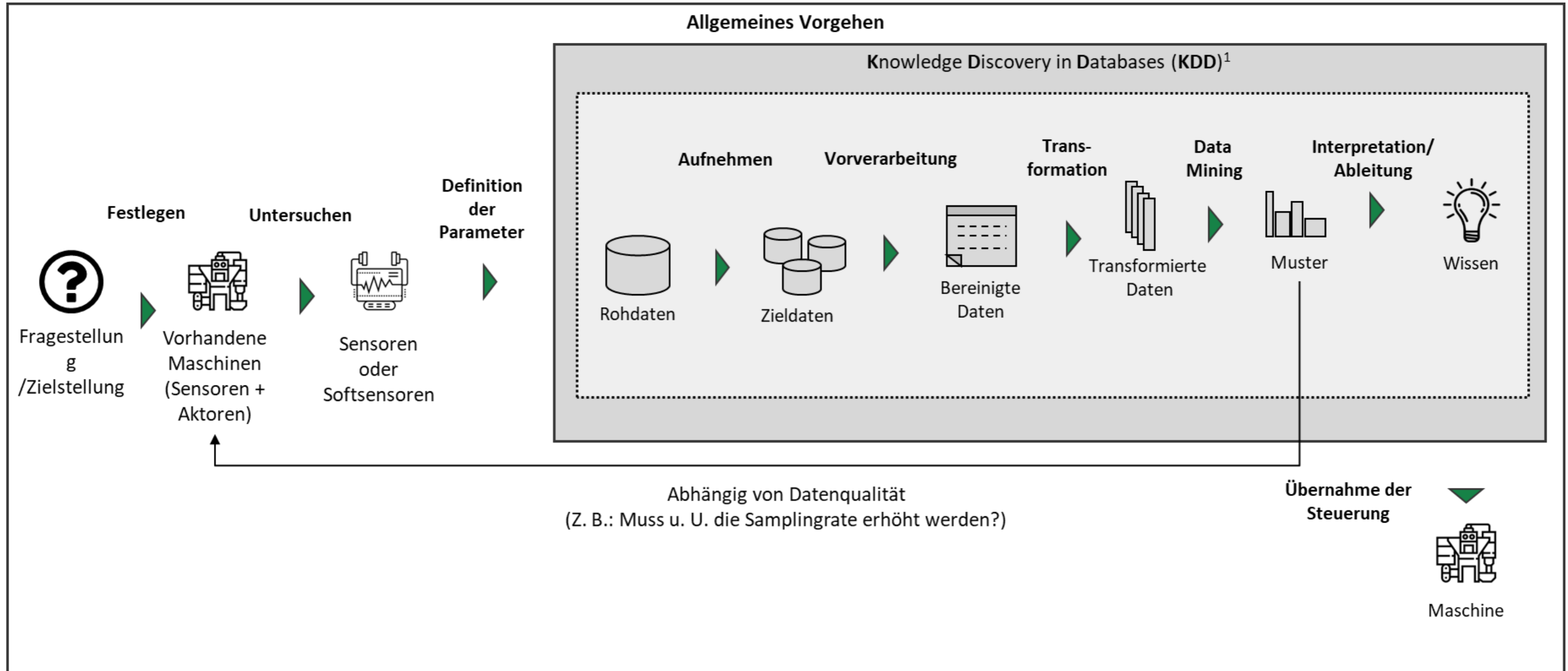
### Niedriger Energieeintrag

- Keine Abhängigkeit der Homogenität von der Mischzeit
- Zunahme der Homogenität mit Alter nicht ersichtlich

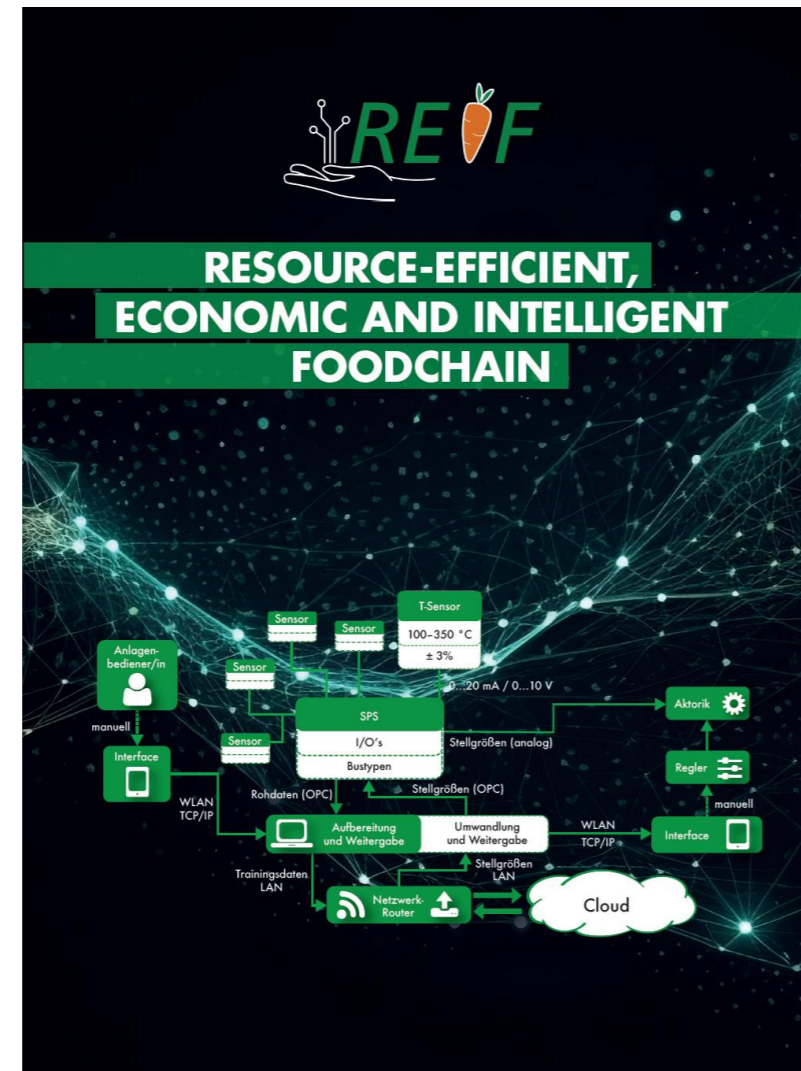
-> Bei minimalem Energieeintrag nimmt die Mischzeit eine weniger bedeutende Rolle ein

# Zuverlässigkeit der Produktion

## Generalisiertes Vorgehen



# Bücher von und aus REIF:



Das Abschlussbuch zum REIF-Projekt  
hier:  
[www.tha.de/fmv/KI-gegen-Lebensmittelverschwendung](http://www.tha.de/fmv/KI-gegen-Lebensmittelverschwendung)



Data Governance  
ISBN 978-3-662-67555-7  
ISBN 978-3-662-67556-4 (eBook)

# Besuchen Sie unsere Internetseiten



Lebensmittel retten!

Wie funktioniert der Marktplatz?

KI-Services ▾

Kontakt

MARKTPLATZ

A background image of a laboratory setting. A person wearing a white lab coat and blue nitrile gloves is holding a glass test tube. In the foreground, there are several clear plastic containers and a piece of laboratory equipment. The text is overlaid on this image.

**Jetzt gemeinsam Lebensmittel retten!**  
**Mit unserem KI-Marktplatz**

[www.ki-lebensmittelretter.de](http://www.ki-lebensmittelretter.de)

[www.tha.de/fmv/KI-gegen-Lebensmittelverschwendung](http://www.tha.de/fmv/KI-gegen-Lebensmittelverschwendung)

# Get in touch with us!



Prof. Dr.-Ing. Stefan Braunreuther

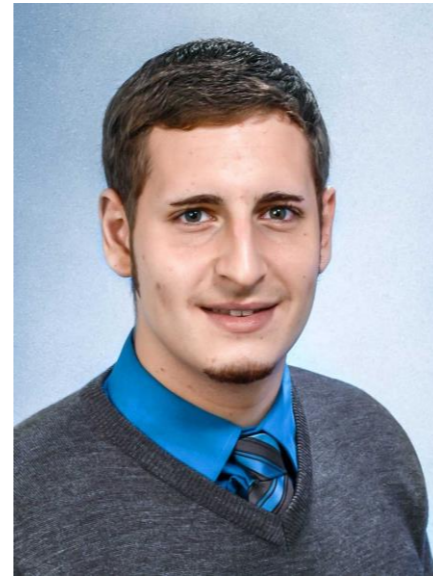
Consortium leader

Hochschule für angewandte Wissenschaften Augsburg  
An der Hochschule 1  
86161 Augsburg

+49 821 5586-3186

[Stefan.Braunreuther@tha.de](mailto:Stefan.Braunreuther@tha.de)

[www.tha.de](http://www.tha.de)



Hans-Martin Braun, M. Sc.

Research associate

Hochschule für angewandte Wissenschaften Augsburg  
An der Hochschule 1  
86161 Augsburg

+49 821 5586-3622

[Hans-Martin.Braun@tha.de](mailto:Hans-Martin.Braun@tha.de)

[www.rha.de](http://www.rha.de)