

# Sachbericht des Forschungsprojekts 28-D-K1.26A-20

## Zukunftslabor ZL2030:

Zukunftsszenarien für den Verbraucherschutz auf Basis von Qualitäts- und Sicherheitsinformationen von Lebensmitteln, innovativen Messmethoden und KI - )- Teilprojekt A, tsenso GmbH

## Teil I: Kurzbericht

Erstellt von Matthias Brunner am 15.07.2025

### 1. Ursprüngliche Aufgabenstellung sowie wissenschaftlicher und technischer Stand

Das Projekt „Zukunftslabor 2030“ verfolgte das Ziel, ein innovatives, KI-gestütztes Qualitäts- und Haltbarkeitsmanagementsystem für die Lebensmittelindustrie zu entwickeln. Die tsenso GmbH (TSN) übernahm hierbei eine zentrale Rolle in der Konzeption und technischen Umsetzung. Ausgangspunkt war die Herausforderung, den Verderb frischer Lebensmittel am Beispiel von Schweinehack präziser vorherzusagen, um Lebensmittelverluste entlang der Lieferkette zu minimieren und gleichzeitig die Lebensmittelsicherheit zu erhöhen.

Der Stand der Technik zu Projektbeginn war geprägt von klassischen Haltbarkeitsmodellen, die auf statischen Zeit-Temperatur-Profilen basierten. Diese Modelle können jedoch die Komplexität des Matrix-Biom Systems und die tatsächlichen, dynamischen Bedingungen entlang der Lieferkette nur unzureichend abbilden. Die wissenschaftlichen Arbeiten der tsenso GmbH fokussierten sich daher auf die Entwicklung digitaler Zwillinge (DZ), welche die wesentlichen biochemischen und mikrobiologischen Verderbs Prozesse digital abbilden und somit eine dynamische Haltbarkeitsprognosen zu ermöglichen Prognose der verbleibenden Nutzungsdauer ermöglichen.

### 2. Ablauf des Projekts und Arbeiten der tsenso GmbH

Die tsenso GmbH übernahm im Projektverlauf eine koordinierende und zugleich forschungsnahe Rolle. Zu Beginn wurde eine umfassende Anforderungsanalyse durchgeführt, bei der die Bedürfnisse der Praxispartner aus Handel, Logistik und Produktion systematisch erfasst wurden. Mehrere dieser Praxispartner konnte für die Teilnahme am projektbegleitenden Expertengremium gewonnen werden. In Abstimmung

mit dem Expertengremium wurden dann 7 Szenarien für den Einsatz des Digitalen Zwillings entlang der Lieferkette erarbeitet. Diese Szenarien wurden dann für eine lebensmittelrechtliche Bewertung an den Projektpartner LMIS übergeben.

In Zusammenarbeit mit BENE wurde aus den Gesprächen mit dem Expertengremium ein modulares, GS1- EPCIS konformes Datenmodell zur Abbildung von Produkt-, Prozess- und Umgebungsdaten entlang der Lieferkette entwickelt.

Die Forschungsarbeiten der tsenso konzentrierten sich auf die die Entwicklung eines Konzepts für digitaler Zwillinge. Das Konzept wurde derart umfassend formuliert, dass es neben Fleischprodukten auf für Milchprodukte sowie prinzipiell auch für Obst und Gemüse geeignet ist. Die tsenso GmbH konnte auf Basis der umfangreichen Daten der Laborpartner zu den biochemischen, mikrobiologischen und sensorische Eigenschaften der Schweinehack Proben, welche im cloudbasiertes Labor-Informationen-System OpenBis bereit gestellt wurden, mehrere KI-Modelle trainieren, die auf Basis historischer und aktueller Daten eine präzise Vorhersage des aktuellen Verderbs sowie der Resthaltbarkeit von Schweinehack ermöglichen.

Gegen Projektende wurden die Arbeiten zum DZ von UFR übernommen, während sich TSN auf die Organisation und Durchführung von Pilottests in realen Lieferketten fokussierte. TSN begleitete diese Tests durch die Bereitstellung mehrerer tragbaren Fluoreszenz-Spektrometern und entwickelte eine intuitive Benutzeroberfläche für die Visualisierung der Haltbarkeitsprognosen. Die Daten der Praxistests flossen iterativ in die Weiterentwicklung der DZ Algorithmen ein.

### **3. Wesentliche Ergebnisse**

Im Rahmen des Projekts konnten mehrere wissenschaftlich und technisch relevante Ergebnisse erzielt werden. Die tsenso GmbH entwickelte ein robustes Framework zur dynamischen Haltbarkeitsprognose, das auf einer Kombination aus Sensordaten, physikalisch-chemischen Modellen und maschinellem Lernen basiert. Die Genauigkeit der Vorhersagen konnte im Vergleich zu herkömmlichen Methoden signifikant gesteigert werden.

Ein weiterer Meilenstein war die Etablierung von Schnellmethoden auf Basis der Fluoreszenz-Spektroskopie zur Qualitätsbewertung, die eine Echtzeitbewertung des biochemischen Alters der Proben ermöglicht. Diese Methoden wurden erfolgreich in die digitalen Zwillinge integriert. Darüber hinaus wurde in Zusammenarbeit mit BENE ein auf GS1 EPCIS basierendes, interoperables Datenformat entwickelt, das den Austausch zwischen verschiedenen Akteuren der Lieferkette erleichtert.

Die Validierung der entwickelten Systeme erfolgte in mehreren Feldversuchen mit REWE und Wilhelmbrandenburg.