

Sachbericht des Forschungsprojekts (FKZ: 16IS22048A)

FreshTwin:

Hybride Grey-Box-Modelle zur Bestimmung und Prognose der Qualitätsattribute am Beispiel von Lebensmitteln
- Teilprojekt A, tsenso GmbH

Teil I: Kurzbericht

Version 1.0, erstellt von Matthias Brunner am 15.12.2025

1. Ursprüngliche Aufgabenstellung sowie wissenschaftlicher und technischer Stand

Das Projekt „FreshTwin“ verfolgte das Ziel, mittels innovativer Messmethoden und spezialisierten KI Modellen die Bestimmung und Prognose der Qualitätseigenschaften frischer Lebensmittel zu verbessern und teilweise zu automatisieren. Dank dies derzeit noch nicht verfügbaren Qualitätsdaten sollen Produzenten und Händler künftig bessere, datenbasierte Entscheidung zur Steuerung der Logistik sowie in der Warenannahme treffen können, so dass diese weniger Verluste durch die Abschreibung vorzeitig verdorbener Lebensmittel erleiden.

Ausgangspunkt des Projekts waren einerseits die innovativen, hyperspektralen Lichtfeldkamas (im Folgenden Hyperspektrale Kamas: HSK) der Cubert GmbH (CUB) sowie mehrere Vorarbeiten der Konsortialpartner im Bereich des Lieferketten Trackings (benelog GmbH, BENE), der Modellierung der mikrobiologischen Eigenschaften von Lebensmitteln (Universität Freiburg, UFR) sowie die bestehende Big Data Plattform der tsenso GmbH (TSN) zu Ausführung komplexer KI Modelle entlang der Lieferkette.

2. Ablauf des Projekts und Arbeiten der tsenso GmbH

Das Projekt hatte sich in der Gesamt-Vorhabensbeschreibung (GVB) fünf Kernziele gesteckt. Diese wurden während des Projektverlaufs mehrfach mit den technischen Erkenntnissen und wirtschaftlichen Verwertungsmöglichkeiten abgeglichen und entsprechend aktualisiert.

Ziel 1: Erforschung und Umsetzung eines KI Moduls zur Beschreibung der objektiven Qualitätsattribute der im Projekt ausgewählten Beispielprodukte sowie deren dynamische Reifungs- und Alterungsprozesse. Diese Arbeiten wurden seitens der tsenso überwiegend kollaborativ mit dem Projektpartner UFR durchgeführt. Dabei wurden klassische Modellierungsansätze, gray-box Modelle sowie Ansätze der agentic AI umgesetzt.

Insbesondere die Nutzung der nun verfügbaren large language models (LLMs, e.g. ChatGPT u.a.) im Agentenansatz brachten führten zu einer deutlichen Beschleunigung des Projektfortschritts.

Ziel 2: Da sich früh im Projekt zeigte, dass die räumliche und spektrale Auflösung der CUB HSK nur in ausgewählten Fällen eine zuverlässige Bewertung der inneren Qualitätsparameter von Früchten zulässt, wurden ergänzend die Aktivitäten zum tsenso Handspektrometer ausgeweitet. Es wurde eine Demonstrator der Qualitätsinspektion mittels dieses Handspektrometers umgesetzt.

Ziel 3 & 4 : Die ursprünglich geplante Analyse der vorhandenen Daten hinsichtlich möglicher qualitätssensitiven Bedarfsprognosen wurde nach Bewertung der ersten Ergebnisse und deren Bewertung seitens der Stakeholder, insbesondere REWE in Richtung eines verbraucher-orientierten Qualitätseindrucks, also nicht der preis- sondern der qualitätsorientierten Kauf-Attraktivität geändert. Ein entsprechendes Bewertungsmodul wurde im Projekt umgesetzt.

Ziel 5: Auf Grund der in Ziel 2 beschriebenen Differenzen zwischen CUB und TSN wurde zwei Demonstratoren, einer der CUB und einer der Modelle der BENE, UFR und TSN aufgebaut und validiert. In Zusammenarbeit mit BENE wurde ein modulares, GS1- EPCIS konformes Daten-Repository zur Prozessierung der Produkt- und Umgebungsdaten entlang der Lieferkette mittels der von UFR und TSN entwickelten digitalen Zwillingen umgesetzt.

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, können jedoch einen ausgebildeten menschlichen Qualitätsprüfer derzeit noch nicht übertreffen.

Das für die Verwertung relevanteste Teilziel, die Konzeptbestätigung, dass mit einem Digitalen-Zwilling-Ansatz eine genauere Erfassung der tatsächlichen Haltbarkeit von Lebensmitteln in einer realitätsnahen Umgebung möglich ist, konnte erreicht werden. Es muss jedoch hierzu ebenfalls erwähnt werden, dass der Aufwand für die Erstellung der Digitalen Zwillinge, die Gewinnung der Trainingsdaten und die Modellerstellung sehr hoch sind. Diesen Kosten steht eine mäßige Zahlungsbereitschaft der Lebensmittel-Industrie für digitale Qualitätsprüfungen gegenüber. Für eine künftige Produktentwicklung sollten andere technologische Ansätze, wie agenten-basierte KI, untersucht werden, die möglicherweise eine schnellere und Kosten-günstige Modellerstellung ermöglichen.

Sachbericht des Forschungsprojekts:

FreshTwin (FKZ: 16IS22048A)

Hybride Grey-Box-Modelle zur Bestimmung und Prognose der
Qualitätsattribute am Beispiel von Lebensmitteln
- Teilprojekt A, tsenso GmbH

Teil II: Eingehende Darstellung

Version 1.0, erstellt von Matthias Brunner am 15.03.2026

Inhaltsverzeichnis:

1. Zielsetzung und Konzept.....	2
2. Projektmanagement.....	2
3. Arbeiten tsenso zu AP1: Innovative Messmethoden.....	4
4. Arbeiten tsenso zu AP2: Prognose Qualitätsattribute	5
5. Arbeiten tsenso zu AP3: Implementierung und Prognose.....	9
6. Arbeiten tsenso zu AP4: Praxisvalidierung und Disseminierung	12
7. Darstellung und Notwendigkeit der Kostenpositionen	15
8. Vergleich mit anderen Arbeiten.....	16
9. Verbreitung und Veröffentlichung.....	16

1. Zielsetzung und Konzept

Die Qualität von Obst und Gemüse kann durch Qualitätsparameter beschrieben werden. Bezüglich des äußeren Erscheinungsbildes eines Produkts sind diese Parameter: Größe, Form, Farbe, Oberflächenbeschaffenheit und Aussehen. Darüber hinaus sind auch innere Parameter wie je nach Typ: Festigkeit des Fruchtfleisches, Süße, Säure, Fettgehalt, aber auch Reife und Haltbarkeit relevant.

Die Europäischen Handelsnormen geben klare Kriterien vor, denen ein Produkt genügen muss, damit es an den Endverbraucher abgegeben werden darf. Der Produzent stellt üblicherweise durch einen Sortierprozess sicher, dass aus der Gesamternte nur normkonforme Ware in den Verkehr gebracht wird. Schlechte Produkte werden aussortiert und alternativen Nutzungsmöglichkeiten (Versaften) zugeführt. Die guten Produkte werden nach Größe und Handelsklasse gruppiert. Doch auch innerhalb einer Größe und Handelsklasse zeigen die im Handel befindlichen Produkte noch große Variabilität dieser Qualitätsparameter.

Bei gewöhnlicher Handelsware wie prozessierten Lebensmittel, Kleidern, Autos, ist ausschließlich der Produzent für die Qualität der Ware verantwortlich. Im Falle von frischem Obst und Gemüse schreiben die verbindlichen Handelsnormen vor, dass jeder Teilnehmer entlang der Lieferkette sicherstellen muss, dass die Ware der entsprechenden Norm genügt, solange diese sich in seiner Obhut befindet. Groß- und Einzelhandelsunternehmen stellen dies insbesondere dadurch sicher, dass sie die Qualität der Ware im Rahmen der Warenannahme streng prüfen.

Diese Warenprüfungen werden derzeit, nach unserem Wissen noch ausschließlich als manuelle Inspektionen durchgeführt. Diese Inspektionen erfordern einen beachtlichen Personaleinsatz. Die Inspektionsergebnisse variieren je nach Prüfer stark.

Im Rahmen des Forschungsprojekts FreshTwin wurde untersucht, wie diese Qualitätsprüfungen insbesondere im Bereich der inneren Qualitätsparameter durch den Einsatz innovativer Messmethoden und fortschrittlichen Auswertungsmodellen verbessert werden können. Darüber hinaus wurde die Anwendbarkeit dieser genaueren Qualitätsinformationen für eine Prognose der Attraktivität und der Dauer bis zum Sichtbarwerden erster Verderbs-Symptome untersucht. Die verschiedenen Komponenten des Projekts wurden für den Aufbau eines Demonstrators verbunden und im Rahmen der Praxisvalidierung getestet.

2. Projektmanagement

Die tsenso GmbH hat im Projekt die Rolle des Konsortialführers übernommen. Es wurde eine zentrale Datenablage für das Projekt eingerichtet. Das Tracking des Projektfortschritts sowie die Abstimmung der übergreifenden fand im Rahmen des Monthly Project Calls statt.

3. Arbeiten tsenzo zu AP1: Innovative Messmethoden

AP1.1 Anforderungsanalyse

In den ersten drei Projektmonaten fand eine intensive Abstimmung zwischen den Projektpartnern benelog (BENE) und tsenzo (TSN) statt. Dabei gab TSN eine tiefe Einblicke in die in den Vorgängerprojekten FriDa und FreshAnalytics erarbeiteten Datenplattform, während BENE die Architektur und Funktionalität der Open EPCIS Plattform darlegte. Es wurde eine Zielarchitektur des Demonstrators erarbeitet, sowie Schnittstellen für die Integration der TSN Spektrometer und Kameras der Cubert GmbH (CUB) definiert.

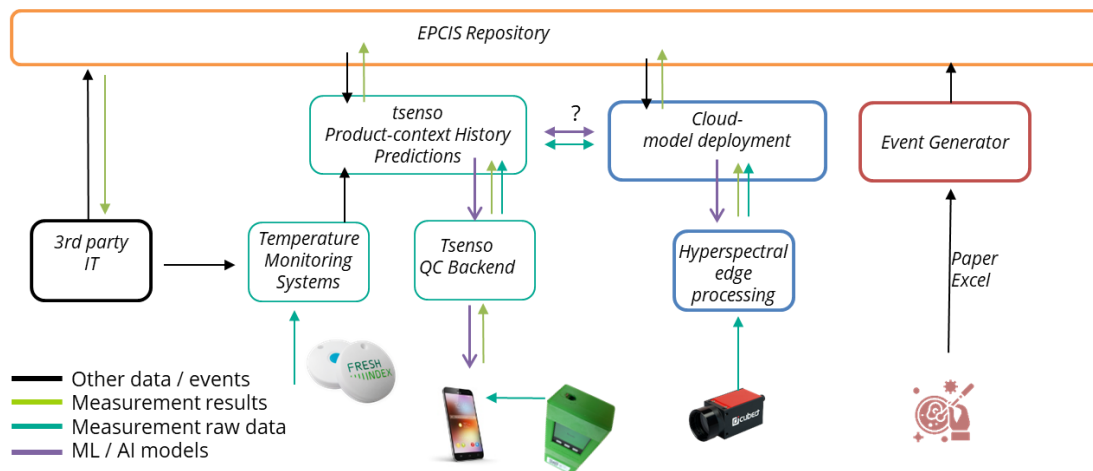


Abbildung 2: Skizze der Zielarchitektur

Dabei wurde auch definiert, dass das Lieferkette Module, mit welchem jeden Produkt alle verfügbaren Daten zugeteilt werden (in Abbildung 2: Product-context History) sowie das Model deployment Modul ein Teil der tsenzo Big Data Plattform „FreshIndex“ werden und nur ausgewertete Messungen, nicht aber zwingend deren Rohdaten als Event an das OpenEPCIS Repository gespielt werden. Neben der Konformität der Daten mit dem GS1 EPCIS Standard wurde seitens tsenzo die Kompatibilität mit anderen Linked-Data Formaten (JSON-LD), insbesondere auf Basis des FAO AGROVOC geprüft.

Das Projekt wurde bei mehreren Obstgroßhändlern in Deutschland vorgestellt. Auf Basis deren Feedback wurde eine Entscheidungsmatrix für die Auswahl der geeigneten Zielprodukte des Projekts erstellt und mit den Erfolgchancen der technischen Ansätze abgeglichen. Für die ausgewählten Zielprodukte: Trauben, Apfel, Mangos wurden erste Probemessungen durchgeführt, die die technischen Erfolgchancen absicherten.

AP1.2 Erhebung Trainingsdatensätze

Dem Projektpartner UNI Freiburg (UFR) wurden drei Handspektrometer für die Labormessungen zur Verfügung gestellt, die im Vergleich zu den Hyperspektralkameras der CUB eine breiteren Spektralbereich in höhere Auflösung abdecken.

Die genauen und umfangreichen Laborarbeiten der UFR legten einige Schwachstellen des Scanner offen. Es wurden im Labor der UFR eine Kalibrierstation der Wellenlängenbereichs sowie der Intensitäten aufgebaut. Ebenso wurde für ein besseres Handling der Scanner im Labor eine spezielle Laborgehäuse entwickelt und umgesetzt.

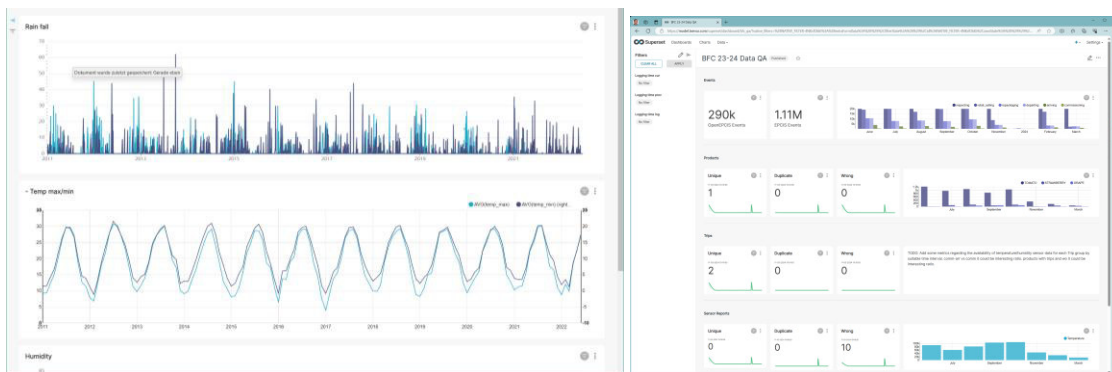
Der in AP1.1 definierte GS1 EPCIS konforme Austausch der Scanner und Sensordaten mit dem OpenEPCIS Repository wurde umgesetzt.

4. Arbeiten tsenso zu AP2: Prognose Qualitätsattribute

AP2.1: Integration sekundärer Datenquellen

Es wurde mit MLFlow dem Konsortium ein Framework bereitgestellt, mit welchem sämtliche Trainingsdatensätze, Trainingskonfigurationen und Trainingsläufe getrackt, versioniert und in so genannten „Experimenten“ zusammengefasst werden können. MLFlow ist in der Community ein Quasi-Standard. Trotz der enormen Management Vorteile des Trackings und der Versionierung wurde das Framework nur in geringem Maße von Konsortium angenommen.

Die tsenso Big Data Plattform „FreshIndex“ wurde um eine Kafka Schnittstellen zur Abfrage der Copernicus Sentinel 2a und 2b Satellitendaten, so wie der Copernicus Climate Change Services (C3S) erweitert. Für jede der Datenquellen wurden geeignete, einfache Data Curation und Filtering Schritte in die Datenpipeline eingebaut, sowie rudimentäre Datenvisualisierungs- und Daten Managementdashboards aufgesetzt. Die Daten wurden kontinuierlich ab 12/2023 bis Projektende erfasst und stehen auf für künftige Projekte und Nachauswertungen zur Verfügung.



Ebenso wurde eine Schnittstelle zum Empfang EPCIS Broker der MiGROS Logistikdaten aktiviert. Da es sich bei den zur Verfügung stehenden Logistikdaten selten um vollständige Sätze handelt, wurde ein Modell zur plausiblen Datenvervollständigung erstellt. Als Beispiel, sofern uns keine Daten zu den Lagertemperaturen einer Lieferung vorliegen, während sich diese in REWE Großlager Köln-Langel befand und uns keine Nachricht von

Unregelmäßigkeiten in der Temperaturüberwachung vorliegen, wird für die Lieferung die uns von Köln-Langel mitgeteilte Soll-Temperatur von 8 °C angenommen.

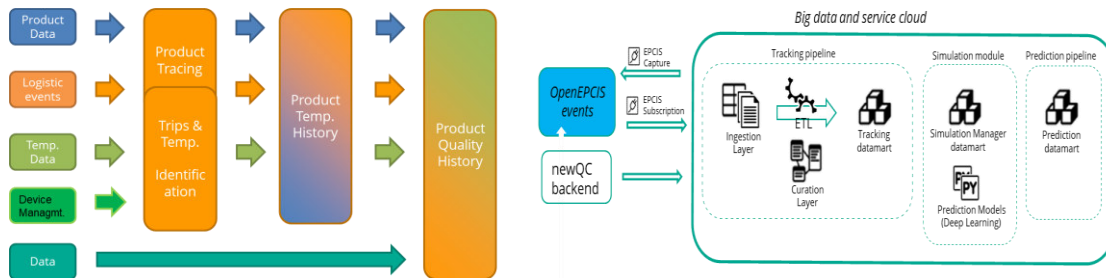


Abbildung 3: (links) Schema der Datenaggregation in der Product-context history. (rechts) Umsetzung der Module in der FreshIndex Plattform

AP2.2: Hybride Grey-box Modelle und AP2.3: Quantifizierung der Unsicherheiten

Da die Erstellung der Modelle und die Quantifizierung deren Unsicherheiten eng zusammenhängen und beide Arbeitspakete in enger Kooperation zwischen UFR und TSN durchgeführt wurden, wurde im Meilenstein M2 Meeting beschlossen, diese künftig als ein AP zu managen.

Auswertung der Satellitendaten für Mangos

Dank der Unterstützung durch die REWE konnten die Anbau- und Ursprungsgebiete mehrerer Lieferanten in Afrika, Indien und Australien geographisch verortet und mit den Satellitendaten gematcht werden. Obwohl die Sentinel Satelliten die Erde alle 3-5 Tage erfassen, standen der Auswertung auf Grund der nicht nutzbaren Aufnahmen auf Grund der Tageszeit sowie durch Wolken oft nur 1-2 Datenpunkte pro Monat zur Verfügung.

Auf Basis der in AP2.1 erfassten Daten wurden für die Jahre 2016 – 2024 der empfohlene Erntezeitpunkt prognostiziert und mit dem tatsächlichen Erntezeitpunkt abgeglichen. Für Ware, die schon deutlich vor dem empfohlenen Erntezeitpunkt geerntet wurden, konnte 2024 in Stichproben eine oft nicht ausreichend entwickelte Reife festgestellt werden.

Die Ergebnisse wurden mit REWE, Hr. Dr. Lüneburg, Leiter Qualität Obst & Gemüse besprochen. Da nach dessen Aussage eine Prognose des empfohlenen Erntezeitpunkts für die REWE nur von untergeordnetem Interesse wäre, wurde die Arbeiten Mitte 2024 eingestellt.

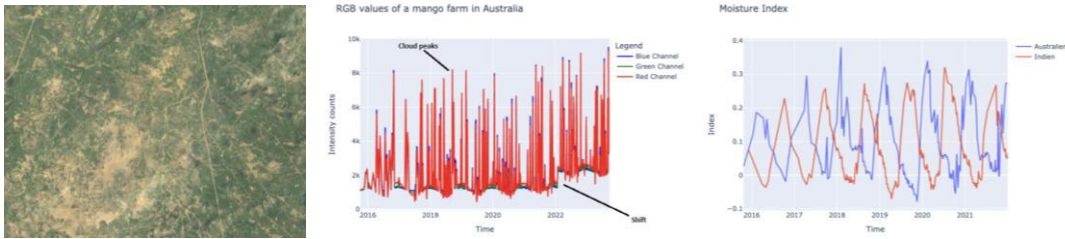


Abbildung 4: Beispiel eines Sentinel Satellitenbilds ([link](#)), Auswertung der Bilder 2016-24, (rechts) Ableitung eines entsprechenden Feuchteindex

Modelle der inneren Qualitätsparameter von Äpfeln und Trauben

Durch den Projektpartner UFR wurden präzise und hochwertige Daten zu Äpfeln und Trauben erhoben. Neben Messungen mit dem TSN Scanner wurden dabei hochauflösende RGB Fotos, sowie Aufnahmen mit der CUB Hyperspektralkamera erhoben.

Im Rahmen der Modellerstellung wurden klassische Regressionsmethoden, erweiterte supervised ML Methoden (z.b. random forest) und neural network Methoden (CNN) eingesetzt. TSN konnte hier deutlich von dem Know-how des wissenschaftliche Partners profitieren. Es zeigte sich, dass mit den modernen Methoden zwar schneller ein brauchbares Modell erstellt werden konnte, diese jedoch in ihrer Genauigkeit und Reproduzierbarkeit meist nur minimal besser abschnitten.

Im Rahmen der Datenauswertung zeigten sind auch geringe, aber für die Modellgenauigkeit signifikante Unterschiede zwischen den bereitgestellten Scannern, die eine Überarbeitung der Ansteuerung der Probenbeleuchtung erforderlich machten. Zusätzlich wurde im Labor der UFR ein einfacher Elektronik- und Beleuchtungs-Messplatz für eine wöchentliche Kalibration der Geräte eingerichtet.

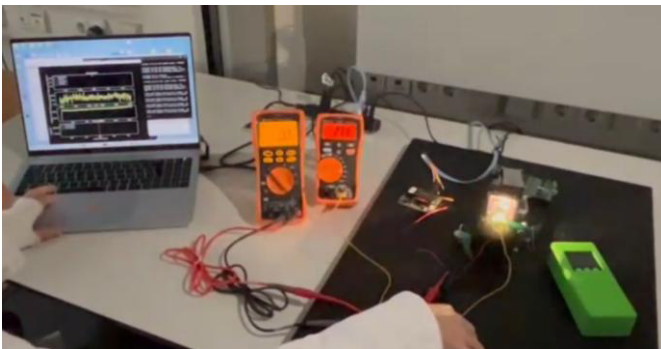


Abbildung 5: Bild des Elektronik- und Beleuchtungs-Messplatzes im UFR Labor

Wie zu erwarten, zeigte sich, dass Sorten spezifische Modelle (Braeburn, Elstar) eine höhere Auflösung erreichten sowie, dass die Modellgenauigkeit zur Erfassung der Süße des Fruchtfleisches in °brix für Früchte mit dünner Schale (Trauben, Äpfel) sehr gut war, und mit zunehmender Schalendicke (Mango bis zu Orangen) immer schwieriger wurde.

Modelle zur Erfassung des äußeren Erscheinungsbilds

Bereits zu Projektbeginn zeigte sich in den zahlreichen Gesprächen, dass, aus Sicht der Industrieanwender, die ursprüngliche FreshTwin Projektidee zu stark auf die Erfassung und Modellierung der inneren Produktparameter fokussiert war, während die Erfassung des äußeren Erscheinungsbildes der Früchte, und hier insbesondere die Detektion von schalenverletzenden Defekten nicht ausreichend in Betracht gezogen wurde. Die Messungen der UFR zeigten hier jedoch, dass die räumliche Auflösung der von CUB bereitgestellten Hyperspektralkamera nur ausreichend ist, um die Oberflächendetails einzelne Früchte zu erfassen, nicht aber aller Früchte einer Transportkiste auf einmal. Es wurde daher zusätzlich untersucht, ob die Kombination eines hochauflösenden RGB Bildes mit ein oder zwei lokalen Scanner Messungen an ausgewählten Früchten einer Kiste hier ebenfalls aussagekräftige Ergebnisse liefern könnte.

Dank der eh im Messablauf der UFR erhobenen RGB Bilder konnte eine Bildererkennung für Früchte und deren Schadstellen umgesetzt werden.

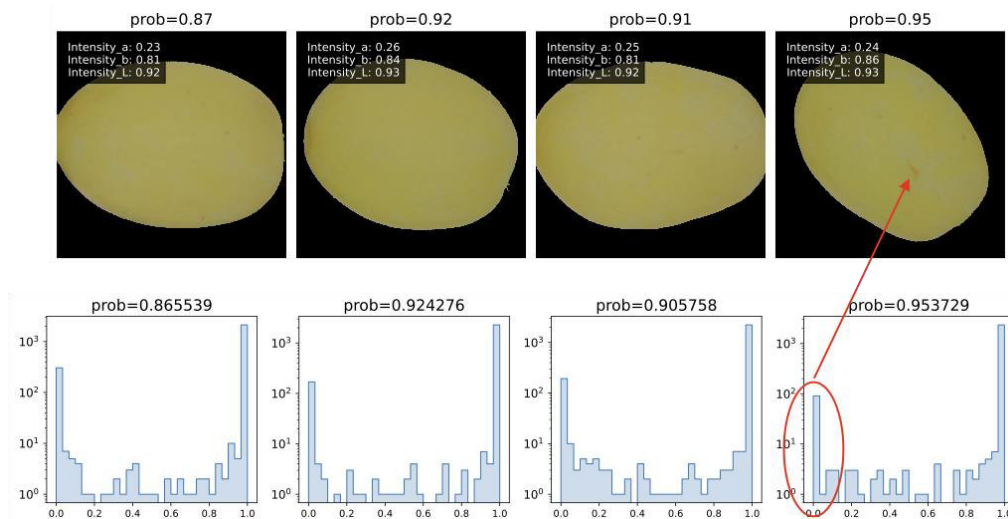


Abbildung 6: Erkennung der beginnenden Verbräunung einer Traube

Für die Bewertung der Früchte eine Steige, wurden zuerst die einzelnen Früchte mittels Segmentierung freigestellt und dann einzeln hinsichtlich ihres Aussehens und etwaiger Defekte bewertet.

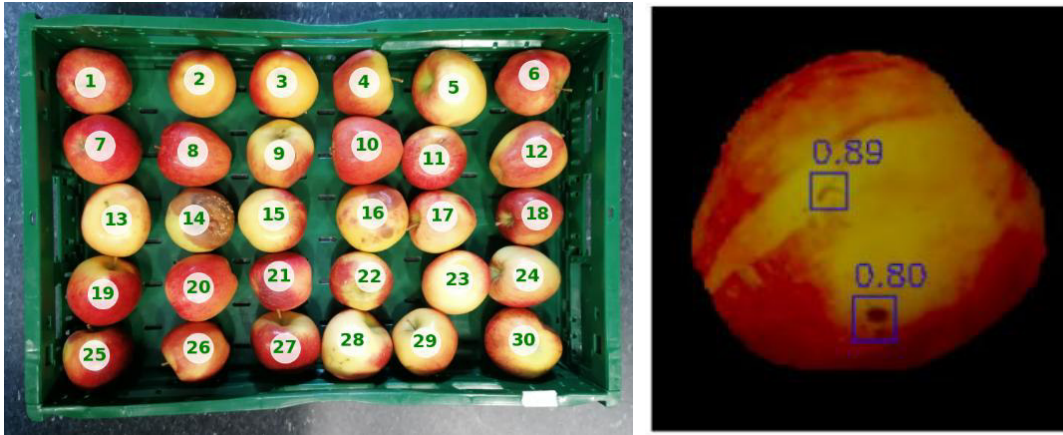


Abbildung 7: Beispiel der Erkennung der Oberflächenbeschaffenheit und möglicher Schadstellen

Die Arbeiten trafen auf ein deutliches Interesse der Industrienutzer. Im Rahmen des Projekts konnte ein erster rudimentärer Prototyp einer Schadstellenerkennung umgesetzt werden. Die Arbeiten werden auch nach Projektende fortgesetzt werden.

Zusammenarbeit mit RAPIDMINER

Der assoziierte Partner RAPIDMINER stellte dem Konsortium kostenlos die Modellierungsinfrastruktur bereit und wurde von TSN zu Projektbeginn für das Modelltraining genutzt. Es zeigte sich früh, dass die Struktur und Features von MLflow den Anforderungen der TSN deutlich besser gerecht werden. Die durch Databricks/MLflow entstehenden Kosten von grob 100€/Monat rechtfertigten nicht die Nutzung der weniger geeigneten RAPIDMINER Plattform, so dass die Zusammenarbeit mit RAPIDMINER im gegenseitigen Verständnis Mitte 2024 beendet wurde.

5. Arbeiten tsenso zu AP3: Implementierung und Prognose

AP3.1: Prognose der Attraktivität und Produkthaltbarkeit

In AP2 wurden objektive und messbare Qualitätsparameter von Früchten (Süße, Schadstellen) erfasst. Die verbraucherrelevante Bedeutung dieser Werte, z.B. Süße = 12,5 °brix ist nicht direkt greifbar. Daher wurden in AP3.1 Modell zur Bewertung der Messergebnisse hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Attraktivität der Früchte, sowie die Dauer bis zu einem signifikanten Nachlass dieser Attraktivität (dem Ende der Haltbarkeit) untersucht. Neben den Daten der UFR kamen hier insbesondere auch die Daten der Konsumentenbefragung AP4.1 zum Einsatz.

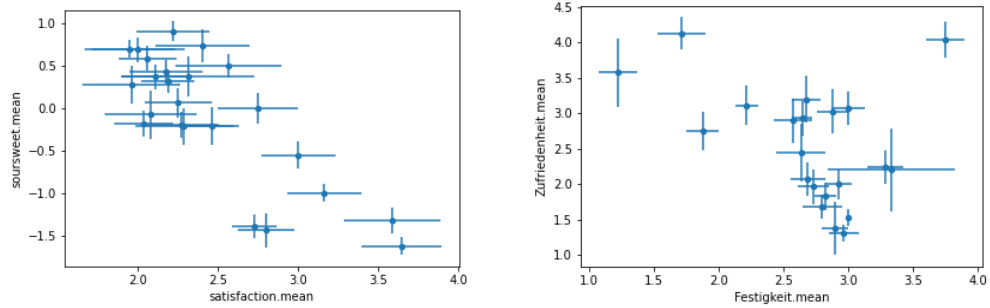


Abbildung 8: Korrelation der der quantitativen Qualitätsparameter (links) Süße-Säure-Verhältnis und (rechts) Festigkeit des Fruchtfleisches mit den subjektiven Kundenzufriedenheit als Basis für das Training eines entsprechenden Klassifikators

Die Auswertung zeigte am Beispiel der Mangos, dass die Kundenzufriedenheit bei Früchten mit Fremdgeschmack oder sehr harter Haptik stark abnahm, während ein deutliches Mango-typisches Aroma überwiegend zu einer positiven Bewertung führte.

Es konnten Bewertungsmodelle trainiert werden, mit welchen Früchte auf Basis der Bild und Scannerdaten in Süße-, Reife- und Festigkeitsklassen eingeordnet werden konnten. Die Ergebnisse sind vielversprechend, weckten aber nur ein geringes Interesse der Industrie.

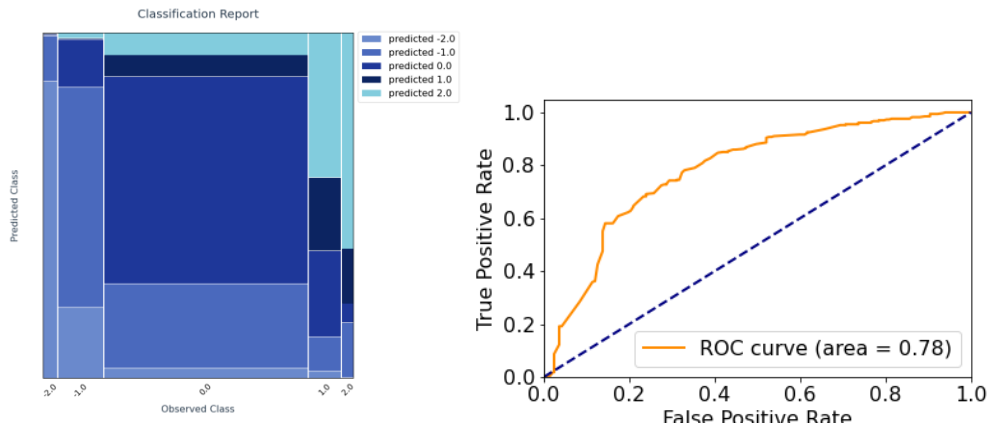


Abbildung 9: (links) Klassifikator der Reif einer einzelnen Frucht mittels Scannerdaten, (rechts) ROC Kurve der Unterscheidung von true positive und false postive Bewertungen

Der Versuch einer Prognose der Kundenzufriedenheit zeigte keine guten Ergebnisse. Rückblickend ist dies wenig verwunderlich. Die Verbraucherdaten belegen, dass 45% der Befragten ihre Mangos eher fest bevorzugen, während 45% diese eher weich wünschen. Da das Prognosemodell nicht wissen kann, welcher Typ von Verbraucher sich für die Frucht interessiert, kann es zwar vorhersagen, ob die Mango als eher fest bewertet wird, aber nicht ob die mit der Vorliebe des Verbrauchers übereinstimmt.

AP3.2: Digitalisierung von Expertenwissen

Die tsenso newQC Lösung zur Qualitätsprüfung von Obst wurde um die Möglichkeit der subjektiven, sensorischen Bewertung der Produkte erweitert, siehe Screen #33 im Arbeitsfluss der newQC smartphone App. Die App wurde den Partnern des Praxistests über den Google Play store zur Verfügung gestellt.

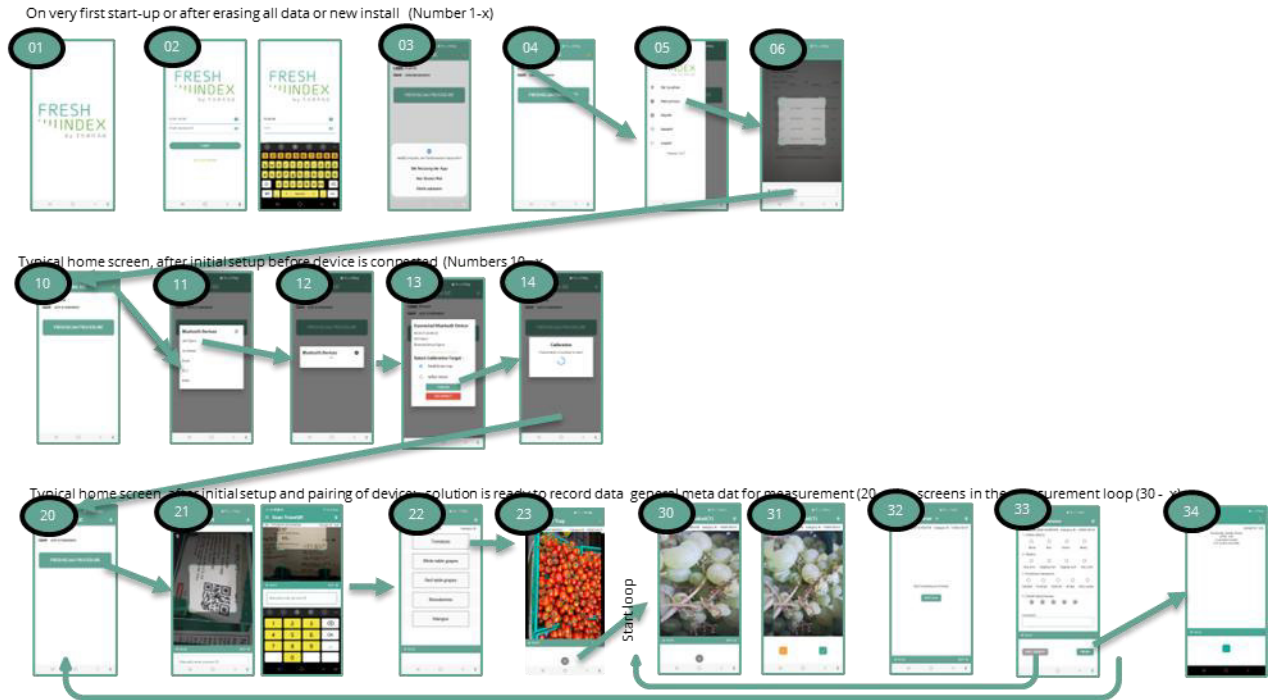


Abbildung 10: Arbeitsablauf der erweiterten newQC App

Mit der Delegierten Verordnung (EU) 2023/2429 und der Durchführungsverordnung (EU) 2023/2430 hat die Europäische Kommission das Recht für die Vermarktungsnormen für frisches Obst und Gemüse, Bananen und getrocknete Weintrauben reformiert. Die Vermarktungsnormen dienen nach wie vor dazu, Handelshemmnisse abzubauen, qualitativ hochwertige und sichere Produkte zu vermarkten, Lebensmittelbetrug zu verringern und den Verbraucherschutz zu gewährleisten. Daneben will die Kommission mit der Reform aber auch verstärkt der Lebensmittelverschwendung entgegenwirken und Erzeugern und Händlern einen größeren Spielraum ermöglichen, frische Erzeugnisse mit optischen Mängeln zu vermarkten. Für ausgewählte Produkte wurde in Anlehnung der Mängelbeschreibung der Norm, siehe Link¹, eine Fehler- und Schadstellenkatalog erstellt.

¹ https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Ernaehrung-Lebensmittel/Vermarktungsnormen/VermarktungsnormenObstGemuese/EG_Vermarktungsnormen/Aepfel.pdf?__blob=publicationFile&v=2

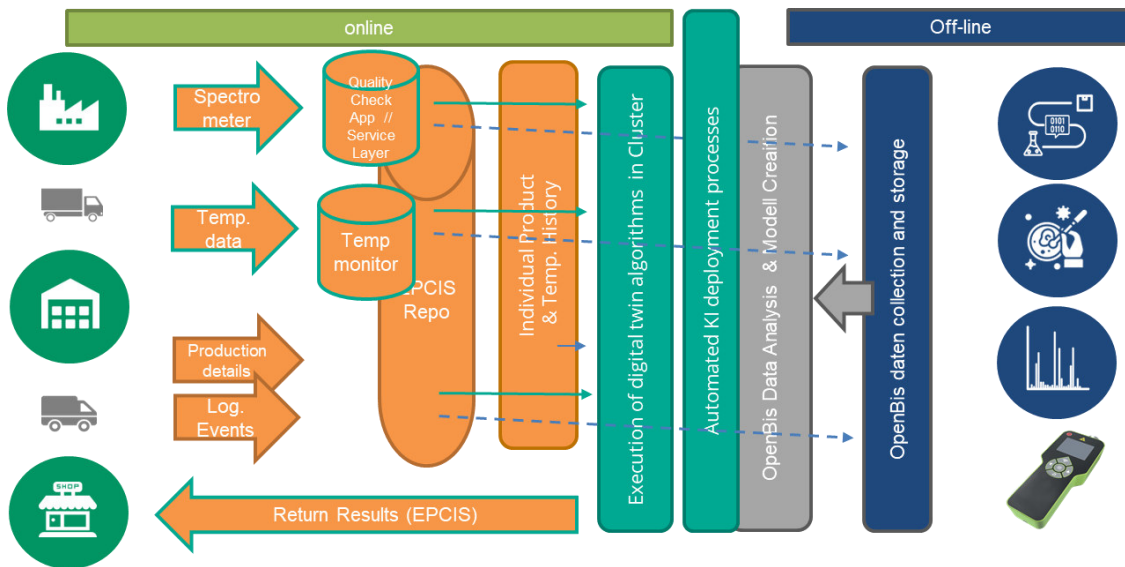


Abbildung 11: Schematische Gegenüberstellung der Datenprozesse der Modellerstellung (rechter Bereich) und der Modellausführung (linker Bereich) des newQC Backends

Dieser wurde mit aktiven Qualitätsprüfern des Groß- und Einzelhandels durchgesprochen und bildet insbesondere für die Erstellung von Modellen der Bilderkennung von Schadstellen eine wichtige Basis dar. Auf Grund Vielzahl der Defektmechanismen und deren Komplexität konnten diese Arbeiten im Rahmen des Projekt nicht vollumfänglich abgeschlossen werden. Für Äpfel, Zitrusfrüchte und Trauben konnten jedoch zu mindestens 90% der Defekte abgedeckt werden.

6. Arbeiten tseno zu AP4: Praxisvalidierung und Disseminierung

AP4.1: Experten-Interviews

Es wurden zahlreiche Gespräche mit Vertretern der Industrie aus den Bereichen Category Management, Einkauf, Qualitätssicherung und Qualitätsprüfung durchgeführt, siehe auch AP1.1 und AP3.2 oben. Dabei wurde die hohe Wichtigkeit der Konformität der Ware zu den bestehenden UNECE Normen hervorgehoben.

Es wurden Daten zur Konsumentenerwartung und -Wahrnehmung der Qualität von Früchten mittels Verkostungen und Befragungen erfasst. Der FreshTwin Fragebogen zur äußeren und inneren Qualität wurde in Anlehnung an das DLG Prüfschema entwickelt und mehrfach rekursiv optimiert. So zeigte sich zum Beispiel, dass es für die Modellerstellung hilfreich war, nicht nur zu erfassen, ob ein Konsument eine Frucht eher als süß oder sauer wahrnahm, sondern auch seine Selbsteinschätzung, ob er eher süße, reife Früchte oder saure, frische Früchte bevorzugt. Parallel zu den Kundenbefragungen wurde der Fragebogen auch bei den Messungen im Labor der UFR eingesetzt.

Produzenten und Großhändler für Äpfel durchgeführt. Das gewonnene Feedback wurde für die iterative Verbesserung des Prototypen genutzt.



Abbildung 14: Aufnahmen der Praxisvalidierung

Projektmitarbeiter sowie Mitarbeiter der Firmen des Feldtests konnten auf die jeweilig durchgeführten Inspektionen und deren Prüfberichte über das newQC Dashboard zugreifen. Die Prüfberichte können in Falle von Auffälligkeiten auch als pdf an den entsprechenden Lieferanten mit der Bitte um Stellungnahme versendet werden.

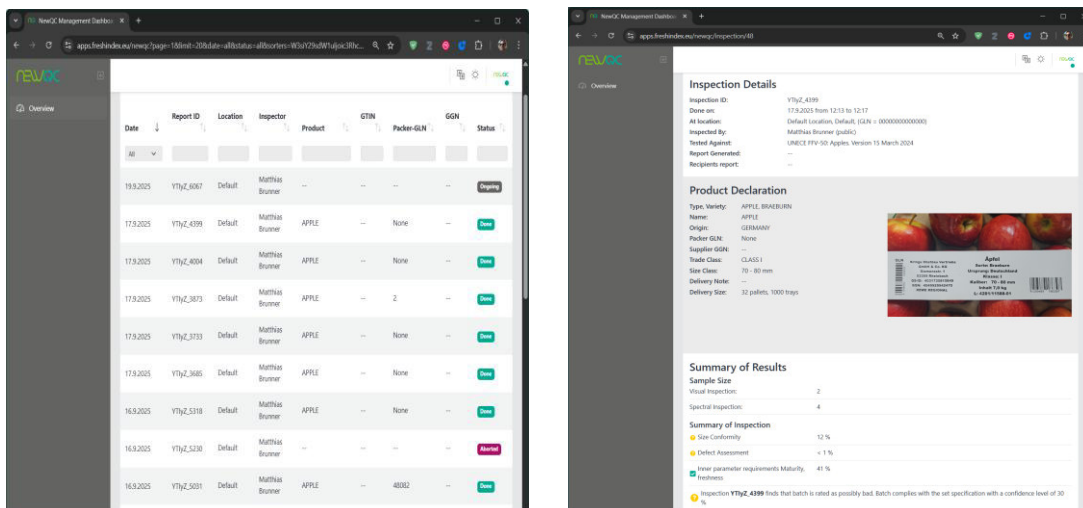


Abbildung 15: Screenshots (links) der newQC Übersichtsansicht, (rechts) eines exemplarischen Prüfberichts einer Apfellieferung

Während der Tests wurden vereinzelt Muster der geprüften Waren entnommen und deren Haltbarkeit mittels Lagerversuche ermittelt. Die so ermittelte Haltbarkeit wurde mit den Prognoseergebnissen der Haltbarkeitsmodelle verglichen. Die ersten Ergebnisse zeigen ein uneinheitliches Bild. Die Arbeiten werden seitens tsenso aus eigenen Mitteln noch bis zum Ende der 2025er Apfelernte im Nov. 2025 als Teil des Verwertungsplans fortgeführt.

AP4.4 Öffentlichkeitsarbeit

Die Arbeiten zu AP4.4 sind weiter unten im Abschnitt 9. Verbreitung und Veröffentlichung im Detail beschrieben.

7. Darstellung und Notwendigkeit der Kostenpositionen

Die Arbeiten der tsenso lassen sich in vier Pakete unterteilen, die alle für den Projekterfolg zwingend erforderlich waren:

1. Weiterentwicklung und Verbesserung des Handspektrometers in Zusammenarbeit mit dem Laborteam der Universität Freiburg
Notwendig: da ohne gute Messdaten keine guten Modelle möglich sind.
Vorgehen: Es wurden iterativ Verbesserungsmaßnahmen entwickelt und im Einsatz getestet.
2. Entwicklung IT Infrastruktur (App und Backend)
Notwendig: Die App dient als User Interface für den Scanner und die Durchführung der Messungen. Die Daten wurden im Backend gespeichert, das auch die Ausführungsumgebung der Digitalen Zwillinge bereitstellt.
Vorgehen: In Sprints unterteilte Entwicklung von App und Backend
3. Entwicklung KI Modelle
Notwendig: um aus den Bild- und Spektrometermessdaten nutzbare Informationen und Handlungsempfehlungen ableiten zu können.
4. Praxistest der Module und der Gesamtlösung
Notwendig: Um den Abgleich der Labormessungen mit den Herausforderungen der Praxis zu ermöglichen und um Pilotanwender für eine nachprojektliche Verwertungsphase zu finden.
Vorgehen: Mehrere Praxiseinsätze bei Produzenten (Klings) und im Handel (EDEKA)

8. Vergleich mit anderen Arbeiten

Im Bereich der digitalen, KI gestützten Qualitätsprüfung von frischen Lebensmitteln wurden auch von anderer Seite deutliche Fortschritte erzielt. Die Betrachtung der TSN fokussierte sich hier primäre auf die Aktivitäten kommerzieller Anbieter, insbesondere:

- Onethird.io, Anbieter eines Scanners für Avocados
- Clarifruits, Anbieter für optische Qualitätsprüfungen für zahlreiche Lebensmittel. Insbesondere hat clarifruits vor kurzem die eigene Scannerentwicklung eingestellt
- EyeC, nicht destruktive Festigkeitsmessungen
- MADDOX AI, Qualitätsüberwachung im Fertigungsprozess
- TOMRA Sorting, führender Sortieranlagenhersteller

Zu allen der genannten Unternehmen wurde im Laufe des Projekts Kontakt, hinsichtlich einer möglichen, künftigen Zusammenarbeit aufgenommen. Insbesondere TOMRA hat diesbezüglich ein erstes Interesse signalisiert. Ebenso fand ein direkter Austausch auch mit anderen, aktuell relevanten Forschungsprojekten statt, wie:

- KI-BioSense, BMLEH
- Movi-Q, BMLEH
- KINLI, BMLEH
- KI-REIF, BMWK

Die gewonnenen Erkenntnisse waren interessant und haben Implikationen auf eine mögliche Verwertung der Projektergebnisse. Sie hatten jedoch keinen direkten Einfluss auf die Projektziele oder die Art deren Umsetzung.

9. Verbreitung und Veröffentlichung

TSN hat eine Projektwebseite erstellt: <https://www.freshtwin.de/>

21.03.2024 Anuga FoodTech, Köln

Die innovative Prüfmethode FreshIndex, als Kombination des Food Scanner mit Bilderkennung und KI Backend wurde mit dem International FoodTec Award 2024 in Silber geehrt. DLG Vice Presidentin Prof Katharina Riehn übereichte Medallie und Urkunde mit den Worten: "Your pioneering innovation impressively demonstrates that a spirit of pro-gress and inventiveness paired with the highest engineering skills are always capable of overcoming technological hurdles and tapping into new potential in terms of sus-tainability and efficiency."



17.07.2024 GreenAI Day, Stuttgart

tsenso präsentierte den Food Scanner als eines von 6 ausgewählten Top Acts im Start-up Bereich



30.09.2025, ECR Tag, Bonn

Unter Führung der BENE wurde am jährlichen GS1 ECR Tag ein Ausstellungsstand mit einem Demonstrator der FreshTwin Qualitätsprüfungslösung umgesetzt. M. Brunner hielt mit Unterstützung durch S. Böckelmann der BENE auf der Messe eine Fachvortrag im Bereich Nachhaltige Lieferketten über die Möglichkeiten einer digitalen Qualitätsbewertung von Lebensmitteln und die Bereitstellung dieser Qualitätsinformationen für Anwender aus der Branche wie auf für Verbraucher.