Schlussbericht
FreshRegio

Zahlungsempfänger und ausführende Stelle

THD - Technische Hochschule Deggendorf
Technologie Campus Grafenau
Hauptstr.3
94481 Grafenau

Förderkennzeichen

28DK125A20

Laufzeit

01.09.2021 - 29.2.2024

Berichtszeitraum

01.09.2021 - 29.2.2024

Autoren

Prof. Benedikt Elser
Dr. Roman-David Kulko

Inhaltsverzeichnis

1. KURZBERICHT 3

2. EINGEHENDE DARSTELLUNG 5

2.1. GEGENSTAND DES VORHABENS 5
2.2. ZIELE UND AUFGABEN 5
2.3. PLANUNG UND ABLAUF DES PROJEKTES 6
2.4. STAND DER WISSENSCHAFT UND TECHNIK 6

3. VERWENDUNG DER ZUWENDUNG UND ERGEBNISSE 7

3.1. PHASE 1, VORBEREITUNG 7
3.1.2. BESCHREIBUNG DER VERSCHIEDENEN IT-SYSTEME 11
3.1.3. KI-ENTWICKLUNG 13
3.1.4. AKQUISE LLK-PARTNER 17
3.2. PHASE 2 UND 3, MODELLBILDUNG UND PRAXISVALIDIERUNG 19
3.2.1. KI-MODELLE ZUR QUALITÄTSBESTIMMUNG 19
3.2.2. ERFAHRUNGEN AUS DER PRAXIS 25
3.3. ABSCHLIEßENDE BEMERKUNG 30

4. VERGLEICH GEPLANTER ZIELE UND ERREICHTER ERGEBNISSE 30

4.1. ZAHLENMÄßIGER NACHWEIS 33
4.2. NOTWENDIGKEIT UND ANGEMESSENHEIT GELEISTETER PROJEKTARBEIT 33
4.3. VERWERTBARKEIT DES ERGEBNISSES 34
4.4. BEKANNT GEWORDENEN FORTSCHRITTE BEI ANDEREN STELLEN 34
4.5. VERÖFFENTLICHUNGEN 34

1. Kurzbericht

Ursprüngliche Aufgabenstellung

Im Rahmen des Forschungsprojekts **FreshRegio** wird Künstliche Intelligenz (KI) eingesetzt, um die regionale Lebensmittellieferkette (LLK) in Bayern zu stärken. Dabei arbeiten verschiedene Partner zusammen: Die **Regiothek GmbH (RGT)** steuert ihre digitale Plattform zur Visualisierung der regionalen LLK bei, entwickelt sie weiter und akquiriert Projektteilnehmer. Der Konsortialpartner **Senorics GmbH** entwickelt seine Nahinfrarot-Sensorik weiter und stellt ein Messgerät für das Projekt bereit. Die konsortialführende **Technische Hochschule Deggendorf (THD)** erstellt auf Basis von Sensordaten und Handelsdaten die **FreshRegio-Cloud**. Diese Cloud empfängt Nahinfrarot-Daten von Obst und Gemüse (O&G) und beherbergt KI-Microservices. Diese werten Daten aus, schätzen Qualitäten und erstellen Haltbarkeits-Prognosen. Darauf basieren Services für Dynamic Pricing und Handlungsempfehlungs-Tools. Durch transparente Kommunikation von Qualität, Haltbarkeit, Handelsempfehlungen und Dynamic Pricing auf der Plattform der Regiothek wird der Nutzen entlang der LLK verfügbar gemacht. FreshRegio knüpft an das Projekt FreshAnalytics (BMWi, FK: 01MD19009E) an. Im Projekt sollen Qualitätsprüfungen durch eigene NIR-Technologie zur schnellen und zerstörungsfreien Prüfung von O&G Prüfungen realisiert werden.

Ablauf des Vorhabens

Das Projekt wurde auf 2,5 Jahre geplant. Während der “fruchtlosen” Monaten wurden Hard- und Software entwickelt und getestet, um in den Erntemonaten Messungen durchzuführen. Die Entwicklung der KI-Anwendungen verlief wie geplant, auch die Anzahl von 94 Probanden für das Umfrageexperiment reichte, um ein rudimentäres Modell für qualitätsbasiertes Dynamic Pricing zu entwickeln. Die Akquise von Unternehmen für die Beteiligung an FreshRegio begann zu Projektbeginn. Die Branche war offen für Experimente, da sie durch gestiegene Umsätze gestärkt aus der Corona-Krise kam. Es wurden mündliche Verabredungen zur Projektteilnahme getroffen, die aber aufgrund der sogenannten Energiekrise, resultierender Inflation und damit gestiegener Kosten so nicht eigenhalten wurden. Mit geringerer Beteiligung konnte FreshRegio nicht wie geplant erprobt werden. Trotz der resultierenden geringeren Datenerhebung konnten dennoch rudimentäre Modelle gebildet werden.

Wesentliche Ergebnisse

Auf Basis einer NIR-Sensoreinheit mit 16 Kanälen wurde ein Messaufbau erstellt und optimiert. Auf Basis dieses Musters wurden **10 handliche Tischgerät** gefertigt. Unter Anwendung rechnerischer Korrekturen wurden Modelle des maschinellen Lernens erstellt. Im Rahmen der Recherche, eines **Online-Umfrageexperiments** und der Datenverfügbarkeit in der Regiothek

wurden **Äpfel, Erdbeeren und Tomaten als Untersuchungsgegenstände** ausgewählt. Der Link zum Umfrageexperiment wurde u.a. über das Netzwerk der Regiothek geteilt und erreichte 94 Beteiligungen. Das Umfrageexperiment diente der Abschätzung des Zusammenhangs zwischen Zahlungsbereitschaft und Qualitätseinschätzung der Früchte bei unterschiedlichen Kaufwahrscheinlichkeiten durch Probanden. Die im Projekt entwickelte **FreshRegio-Cloud** verfügt über **KI-Anwendungen** als Microservices und Schnittstellen zur Regiothek und zur FreshRegio-App, einer Smartphoneapp zur Probenaufnahme. KI-generierte Handlungsempfehlungen wurden in einem neuen Bereich der Regiothek-Plattform („**FreshRegio-Plattform**“) an FreshRegio-Teilnehmer kommuniziert. Dort wurden u.a. **Messungen, Qualitätsdaten** sowie **Empfehlungen für Dynamic Pricing und Handelspartner** angezeigt. Die **FreshRegio-App** erlaubt workflow-basiert produkt- und anwenderspezifische **Qualitätsmessungen** mit der NIR-Technologie durchzuführen, entsprechende Daten an die FreshRegio-Cloud zu senden und direkt Schätzungen zur Qualität anzuzeigen. **Chemometrie- und Haltbarkeits-Modul** wurden als ein Microservice implementiert. Produktspezifische Modelle werden auf die Spektraldaten aus der FreshRegio-App angewendet und die Ergebnisse werden zurück zur App und zum **Ertragsmanagement-Modul** kommuniziert. Dieses schätzt auf Basis von Zusammenhängen der Zahlungsbereitschaft, Kaufwahrscheinlichkeit und Qualität aus dem Umfrageexperiment Preise für gemessene Produkte einer ermittelten Qualitätsstufe. Zusätzlich erstellt es Handlungsempfehlungen auf Basis gewichteter Angaben der Handelspartner. Hierzu werden der Ergebnisraum aller möglichen Gewinne der Händler-Kombinationen berücksichtigt.

Zur Partner-Akquise wurde Infomaterial u.a. in der Form von Printmedien, z.B. eine 16-seitige DIN A5 Info-Broschüre in einer Auflage von 1000 Stück erstellt und verteilt. Acht Betriebe (Erzeuger, Verarbeiter, Groß- und Einzelhändler) bekundeten Interesse an der Projektteilnahme. Für die Anwendung der FreshRegio-App in Kombination mit der NIR-Technologie wurde eine bebilderte Bedienungsanleitung erstellt. Wo die Datengrundlage sichergestellt war, konnten chemometrische Modelle erstellt werden. Einige Methoden zur Zielgrößen-Ermittlung erwiesen sich jedoch für die Bestimmung an einzelnen Früchten als zu ungenau und daher unbrauchbar. Die wesentliche Qualitätsgröße, die sich gut mittels NIR-Technik bestimmen lässt, ist der Brix-Wert. Es wurden zu allen Früchten Brix-Modelle erstellt. Zu Frucht Apfel wurde je ein Säure-, Festigkeits- und Altersmodell erstellt. Alle Modelle weisen bescheidene Bestimmtheitsmaße um 0.3 auf.
Aufgrund mangelnder Teilnahme konnten die Technologien nicht wie geplant erprobt und bewertet werden. Gründe waren primär der Mangel an Ressourcen, die wirtschaftliche Situation der Betriebe, aber auch, dass die Technologie im Verhältnis zum Aufwand keinen Mehrwert brächte.

2. Eingehende Darstellung

2.1. Gegenstand des Vorhabens

Im Rahmen des Forschungsprojekts **FreshRegio** wird Künstliche Intelligenz (KI) eingesetzt, um die regionale Lebensmittellieferkette (LLK) in Bayern zu stärken. Dabei arbeiten verschiedene Partner zusammen: Die **Regiothek GmbH (RGT)** steuert ihre digitale Plattform zur Visualisierung der regionalen LLK bei, entwickelt sie weiter und akquiriert Projektteilnehmer. Der Konsortialpartner **Senorics GmbH** entwickelt seine Nahinfrarot-Sensorik weiter und stellt ein Messgerät für das Projekt bereit. Die konsortialführende **Technische Hochschule Deggendorf (THD)** erstellt auf Basis von Sensordaten und Handelsdaten die **FreshRegio-Cloud**. Diese Cloud empfängt Nahinfrarot-Daten von Obst und Gemüse (O&G) und beherbergt KI-Microservices. Diese Services werten Daten aus, schätzen Qualitäten und erstellen Haltbarkeits-Prognosen. Darauf basieren Services für Dynamic Pricing und Handlungsempfehlungs-Tools. Durch transparente Kommunikation von Qualität, Haltbarkeit, Handelsempfehlungen und Dynamic Pricing auf der Plattform der Regiothek wird der Nutzen entlang der LLK verfügbar gemacht.

Das Vorhaben konzentriert sich auf regionale O&G Wertschöpfungsketten in Bayern, wo lokale Erzeuger durch Qualitätsdifferenzierung im Wettbewerb mit internationalen Produzenten stehen. Aktuelle Qualitätsprüfungsverfahren sind analog, aufwändig und langsam, was die Menge an verfügbaren Qualitätsdaten begrenzt. FreshRegio begegnet diesem Problem mittels einer offenen Plattform, eigener Nahinfrarot (NIR)-Sensorik und datenbasierter KI-Anwendungen. Innerhalb des Projekts stellt FreshRegio LLK-Partnern Werkzeuge zur Verfügung, die in Echtzeit KI-Anwendungen mit Haltbarkeits-Prognosen und Lebensmittelqualitäts-kategorisierung unterstützen. Ferner ermöglichen Mehrwertdienste, geeignete Handelspartner für Früchte ermittelter Qualität und erfragtem Konsumverhalten der Verbraucher zu finden. Hierdurch kann der Umsatz gesteigert und zusätzlich O&G qualitätsabhängigen Verwendungszwecken zugeführt werden.

2.2. Ziele und Aufgaben

Um das Gesamtziel zu erreichen, werden drei Teilziele verfolgt:
Im ersten Teilziel realisiert das Projekt Qualitätsprüfungen durch eigene NIR-Technologie, wodurch schnelle und zerstörungsfreie O&G Prüfungen entlang der LLK ermöglicht werden.
Das zweite Teilziel ist, Wertschöpfung aus Qualitätsdaten zu generieren. KI ermöglicht Mehrwertdienste wie Handlungsempfehlung und Dynamic Pricing. Hierzu wird die FreshRegio-Cloud entwickelt. Diese FreshRegio-Cloud beherbergt als Toolbox alle KI-Dienste.

Drittes Teilziel ist die Kommunikation der KI-Ergebnisse und der geschätzten Qualität von O&G. Die Regiothek erweitert dafür Ihre existierende Plattform, um Qualität transparent zwischen Produzenten und Händlern zu kommunizieren und Verbrauchern zur Verfügung zu stellen.

2.3. Planung und Ablauf des Projektes

Das Projekt wurde entlang der O&G Saison über 2,5 Jahre geplant. In den “fruchtlosen” Monaten wurden Hard- und Software entwickelt und getestet, um in den Erntemonaten Messungen durchzuführen. Durch einen leicht verzögerten Projektstart kam es zu geringen Anpassungen des ursprünglichen Projektplans, größere Anpassungen brachte die ungeplante deutlich längere Entwicklung der Sensorik. Hierdurch kam es auch zur Überlagerung von getrennt geplanten Arbeitspaketen, was aber keinen Einfluss auf die Erreichbarkeit von Teilzielen hatte. Die Entwicklung der KI-Anwendungen verlief wie geplant. Die Anzahl an Probanden für das Umfrageexperiment, um ein rudimentäres Modell für qualitätsbasiertes Dynamic Pricing zu entwickeln, fiel mit 94 Teilnehmern erwartungsgemäß gering, aber ausreichend aus. Von Beginn an wurde bei Unternehmen in der LLK um die Beteiligung an FreshRegio geworben und mündliche Verabredungen getroffen. Die Branche kam gestärkt aus der Corona-Krise und erlebte deutlich gestiegene Umsätze. Verbraucher waren bereit für regionale hochwertige Lebensmittel mehr Geld auszugeben. Entgegen der darin begründeten positiven Erwartung zu Anfang des Projekts, fiel die Beteiligung an FreshRegio trotzdem geringer aus. Grunde waren neben andern die sogenannte Energiekrise und die damit gestiegenen Kosten für u.a. Kraftstoff und die einhergehende Inflation. Die Zahlungsbereitschaft der Verbraucher war gesunken, was wiederum Umsätze bei Betrieben verringerte und Ressourcen verknappte. Hierdurch konnte FreshRegio nicht wie geplant erprobt und Daten erhoben werden. Es wurden aber Daten, wie geplant, durch die Regiothek und den TCG erhoben, so dass chemometrische Modelle gebildet werden konnten.

2.4. Stand der Wissenschaft und Technik

FreshRegio knüpft an das Projekt FreshAnalytics (BMWi, FK: 01MD19009E) an. Während FreshAnalytics wurden Technologien entwickelt und teils erprobt. Zu den weitergeführten Technologien gehört die FreshAnalytics-Plattform, eine Entwicklung der Arconsis GmbH. Diese wurde durch die THD an die Bedürfnisse von FreshRegio angepasst, erweitert, betrieben und via Schnittstellen mit der Regiothek verbunden. Die Smartphone App wurde neu entwickelt, die vorhandene NIR-Steuersoftware konnte teilsweise übernommen werden[1]. Im

[1] R.-D. Kulko, A. Pletl, H. Mempel, F. Wahl and B. Elser: *OpenVNT: An Open Platform For VIS-NIR Technology (2023, https://doi.org/10.3390/s23063151)*

Punkt qualitätsbasiertes Dynamic Pricing wurde auf die Arbeiten zur experimentellen Herangehensweise und Modellentwicklung angeknüpft.[2]

3. Verwendung der Zuwendung und Ergebnisse

Aus den genannten Teilzielen leiten sich Aufgaben zur Realisierung ab. Diese sind in drei Projektphasen gruppiert. In diesem Abschnitt werden die wesentlichen Ergebnisse in Bezug zu den geplanten Zielen erläutert. Es werden nicht alle Arbeitsschritte der entsprechenden Arbeitspakete (AP) aufgegriffen. Bedingt durch eine leicht verkürzte Projektdauer in der Bewilligung im Vergleich zur Antragsskizze und Verzögerungen innerhalb des Projektes, besonders bei der Entwicklung der NIR-Technologie, wurden die zwei von drei Phasen zusammengelegt. Daher werden die Ergebnisse der letzten beiden Projektphasen zusammen beschrieben.

3.1. Phase 1, Vorbereitung

Die erste Phase beinhaltete Arbeiten zur Entwicklung aller für das Projekt notwendigen Hard- und Software-Technologien. Auf technische Details wird nur eingegangen, wenn es zum Verständnis beiträgt.

3.1.1.1. Entwicklung der NIR-Technologie

Die Entwicklung der VNT[3] bzw. NIR-Technologie erfolgte in mehreren Iterationszyklen. Der SenoSense Complete (SSC) ist eine neuartige NIR-Sensoreinheit mit 16 Pixeln, die NIR-Strahlung von 1100 bis 1700 nm in 16 spektralen Bändern detektiert.

Um theoretisch zu prüfen, ob der vom SSC erfasste Wellenlängenbereich für eine indirekte Bestimmung von Qualitätswerten, z.B. Brix-Wert, via chemometrische Methoden geeignet ist wurden erste Messungen mit einem NIR-Spektrometer, Nir22 (877 bis 1700 nm mit 128 Pixel) Dr. Licht GmbH durchgeführt. Um den SSC damit in erster Näherung zu simulieren, wurden nur dem SSC entsprechende Bänder des Nir22 genutzt. Abbildung 1 (links) zeigt eine Spektrenschar, die mit dem Nir22 an Äpfeln aufgenommen wurde. Mit den Spektren und den entsprechenden Brix-Werten wurde ein PLS-Modell zur Schätzung von Brix-Werten auf Basis von Nir-Spektralwerten erstellt. Abbildung 1 (rechts) zeigt ein Streudiagramm, wobei der vom Modell geschätzte Wert gegen den tatsächlich gemessenen Wert aufgetragen ist. Wie in

[2] M.Scholz and R.-D. Kulko: *Dynamic pricing of perishable food as a sustainable business model (2022, https://doi.org/10.1108/BFJ-03-2021-0294)*

[3] In der ursprünglichen Planung war vorgesehen, dass bei Bedarf sichtbares Licht, *visible light* (VIS), neben dem NIR detektiert werden könnte. Nur das NIR hatte Bedeutung, dennoch wird auch das Akronym VNT für VIS-NIR-Technologie synonym für die NIR-Technologie verwendet.

Abbildung 1 (rechts) zu erkennen ist, liegen die meisten Werte in einem Band von +/- 0,5 Brix um die Ursprungsgrade verteilt. Damit ist das Modell in einem akzeptablen Maße fähig, auf der Basis von 16 NIR-Bändern den Brix-Wert zu schätzen und somit der Nachweis erbracht, dass der SSC mit seiner Bänder-Konfiguration für Messungen in FreshRegio geeignet ist.

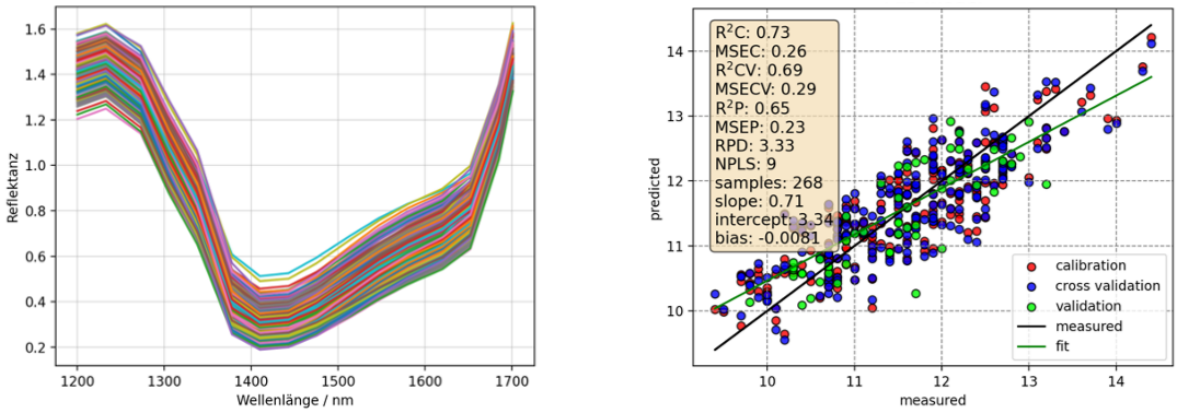


Abbildung 1: Spektrenschar gemessen mit Nir22 im Wellenlängenbereich des SSC (links) und Streudiagramm des entsprechenden chemometrischen Modells mit Modellgütewerten (rechts)

Die Messzeit des SSC ist mit ca. 5 Sekunden akzeptabel, eine Verkürzung war bauartbedingt nicht einfach möglich. Temperatur- und Spannungsschwankungen innerhalb des Gerätes wurden durch Korrektur-Polynome mit gerätespezifischen Parametern korrigiert, die durch Senorics erarbeitet wurden. Ein Microcontroller mit einem Micropython-Skript, stellt die Steuerung des SSC und die Kommunikation mit der FreshRegio App bereit. Zur Erhebung von Trainingsdaten und weiteren Tests wurde ein einfaches Kommandozeilen-Programm implementiert, das die direkte Steuerung und Datenerhebung ohne App ermöglicht.

Die Optimierung des Messaufbaus wurde intensiv verfolgt. Probe, Lampen und Sensor wurden in definierte Positionen gebraucht, verschiedene Optik-Module getestet. Schließlich wurde ein finaler Messaufbau gewählt, getestet und in ein handliches Tischgerät integriert. Trotzdem konnten entgegen der Erfahrung und Erwartung des TCG mit hellen Weintrauben als Test-Früchten keine akzeptablen Modelle generiert werden. Daher wurden Äpfel der Sorte Gala für weitere Tests verwendet. Mit diesen konnten Spektren und Qualitätswerte gemessen werden, die unter Anwendung von rechnerischen Korrekturen zu ersten brauchbaren Modellen führten, so dass im Prinzip die Messanordnung als tauglich eingestuft werden konnte. Die aus dem Entwicklungsprozess resultierenden Verzögerungen und Implikationen wurden unter Einbeziehung aller Konsortialpartner und auch des Projektträgers diskutiert und entsprechende Risiken abgewogen.

Abbildung 2 zeigt eine technische Querschnittskizze mit den Komponenten und ein Foto des Gerätes mit einem Apfel auf dem Probenhalter. Auf dem Foto ist auch der Bedienknopf mit grün leuchtender LED zu erkennen. Der Probenhalter wird durch Magneten auf dem Gerät gehalten und kann so durch den Referenzhalter einfach bei Bedarf ausgetauscht werden. Die Querschnittskizze zeigt die Anordnung der Komponenten innerhalb des Geräts. Ein Akku ist ins Gehäuse integriert.

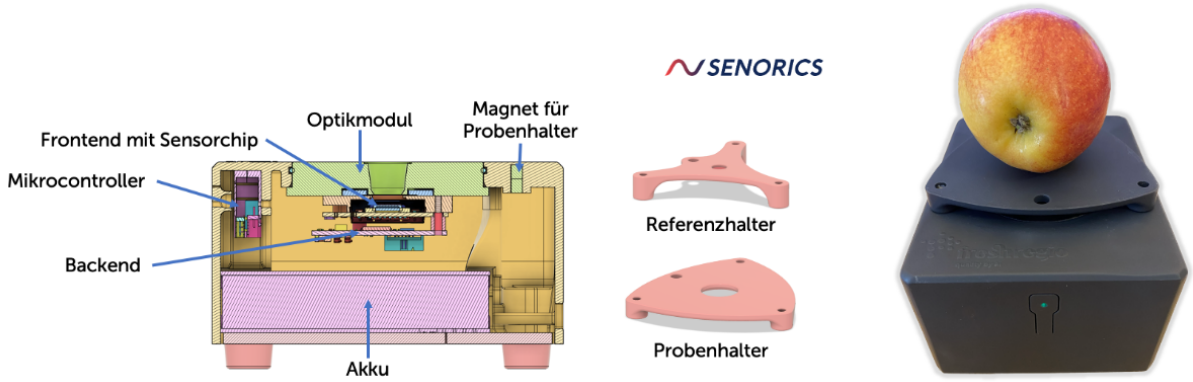


Abbildung 2: Technische Querschnittskizze Messgerät (links) und Foto des Messgerätes.

Insgesamt wurden 10 Messgeräte zur Verwendung innerhalb FreshRegios gefertigt. Hierzu wurden zwecks maximaler Vergleichbarkeit der Messergebnisse Sensoren ähnlicher Charakteristiken durch Senorics ausgewählt und verbaut. Die Vergleichbarkeit wurde mit einer Referenz überprüft.

Im Rahmen der Entwicklung der NIR-Technologie wurden auch Laborgeräte zur Erhebung von Zielgrößen beschafft. Die Laborgeräte wurden entsprechend der Herstellervorgaben kalibriert, um sicherzustellen, dass Messwerte zuverlässig sind. Zum Beispiel wurde der Titrator zur Säure-Bestimmung und notwendiger Natronlauge durch Titration von Salzsäure bekannter Konzentration regelmäßig bewertet.

3.1.1.2. Grundlage Ertragsmanagement

Auf Basis von Erzeuger- und Händlerdaten der Regiothek wurde zuvor ermittelt, dass Äpfel, Erdbeeren, Weintrauben und Tomaten für FreshRegio geeignete Früchte wären, da die Regiothek in diesen Fällen Lieferketten aufzeigte.
Ein Umfrageexperiment wurde ausgearbeitet und seit April 2022 online durchgeführt. Hierzu wurde der entsprechende Link auf mehreren Kanälen (Netzwerk der Regiothek, Blogs, Facebook- und LinkedIn-Beiträge, ein Podcast sowie Flyer mit QR-Code) geteilt. Trotz der umfangreichen Maßnahmen konnten nur 94 Personen für die Teilnahme an der Umfrage gewonnen werden. Um die Anzahl an Teilnehmern noch zu einem späteren Zeitpunkt des Projekts zu steigern, wurde der Link auch FreshRegio-Teilnehmern zum Teilen weitergegeben. Der Link wurde im September 2023 deaktiviert.

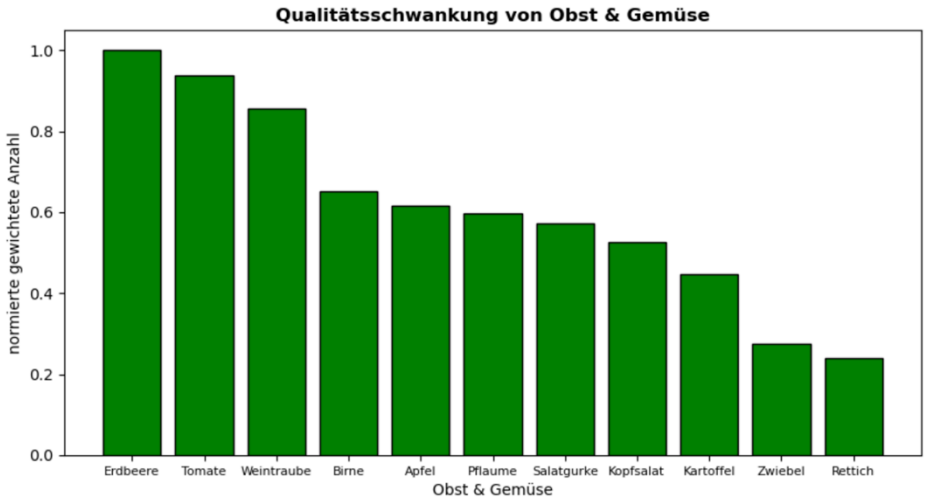


Abbildung 3: Fruchtauswahl für FreshRegio, Teilergebnis des Umfrageexperiments.

Teil der Umfrage ist auch die implizite Überprüfung der Vorauswahl an Früchten. Abbildung 3 zeigt ein Balkendiagramm mit dem priorisierten Ergebnis der Auswahl an Früchten. Probanden hatten die Aufgabe, die Schwankung der Qualität der entsprechenden Früchte in drei möglichen Stufen (gering, mittel, stark) zu bewerten. Je größer die normierte gewichtete Anzahl ist, desto höher Priorität und somit die Bedeutung für FreshRegio eingeordnet.
Da in der Regiothek keinen Erzeuger von Weintrauben und Birnen vorhanden ist, wurden diese Früchte in FreshRegio ausgeschlossen und sich auf Äpfel, Tomaten und Erdbeeren konzentriert.
Die weiteren Fragen des Experimentes zielten u.a. darauf ab, Qualitätsunterschiede visuell durch Bilder und Einstufungen von Qualitätseigenschaften (5-Sterne-Skala) wahrzunehmen und zum einen mit diesen Informationen die Qualität einzuschätzen und zum anderen ihre Zahlungsbereitschaft zu nennen. Letztere war an eine Kaufwahrscheinlichkeit gekoppelt. Abbildung 4 zeigt exemplarisch die ermittelte Zahlungsbereitschaft für Äpfel in Abhängigkeit von der eingeschätzten Qualität. Das Diagramm zeigt in der Form der Kurvenschar, gestrichelte Linien, die Kaufwahrscheinlichkeit. Typisch ist eine 100%ige Kaufwahrscheinlichkeit bei einem minimalen Preis. Die Kaufwahrscheinlichkeit nimmt mit steigendem Preis ab. Ebenfalls erkennbar ist die Korrelation der Zahlungsbereitschaft mit der eingeschätzten Qualität. Daher kann interpretiert werden, dass so lange die Qualität als hoch wahrgenommen wird und die entsprechenden Erwartungen nicht enttäuscht würden, dass auch real mehr gezahlt werden würde. Schließlich sind auch noch die Preise mit einer Kaufwahrscheinlichkeit von null zu erkennen. Diese Preise verhindern den Verkauf der Ware.

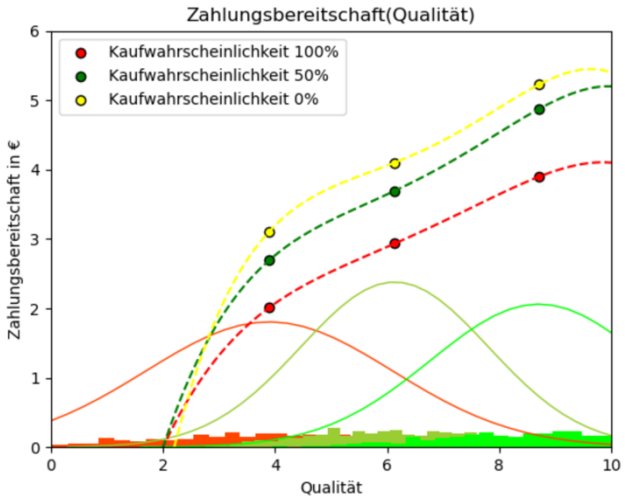


Abbildung 4: Zahlungsbereitschaft in Abhängigkeit eingeschätzter Qualitäten (gestrichelte Linien) und unterschiedlicher Kaufwahrscheinlichkeiten. Zusätzlich sind Verteilungen der Qualitätseinschätzungen (durchgezogene Linien) eingetragen.

In Abbildung 4 sind zusätzlich Kurven eingetragen, um die Verteilungsbreiten der Qualitätseinschätzungen zu zeigen. Auf Basis der Verteilung und entsprechender statistischer Tests lässt sich ableiten, ob die Qualitätseinschätzung unterscheidbar und signifikant ist. Im Fall von Äpfeln sind die Einschätzungen signifikant. Im Fall von Erdbeeren und Tomaten werden zwei benachbarte Qualitätsstufen nicht eindeutig unterschieden. Das kann an der Darstellung der Qualität, aber auch an persönlichen Vorlieben der Probanden liegen. Ungeachtet der Qualitätseinschätzung gibt es bei allen Früchten deutliche Korrelationen der Zahlungsbereitschaft und der geschätzten Qualität. Zur Nutzung der gefundenen Zusammenhänge wurden entsprechende Kurven polynomisch angepasst, um entsprechende Funktionen und deren Parameter zu erhalten, siehe Abbildung 4 gestrichelte Linien. Um auch die Kaufwahrscheinlichkeit zu modellieren, wurde analog vorgegangen und entsprechende Parameter ermittelt.

Auf Grundlage der Gleichungen kann bei Eingabe der geschätzten Qualität die Zahlungsbereitschaft bei gegebener Kaufwahrscheinlichkeit berechnet werden. Innerhalb des Projektes soll die Qualität mittels NIR-Technologie geschätzt und auf dieser Grundlage u.a. der optimale Preis berechnet werden.

3.1.2. Beschreibung der Verschiedenen IT-Systeme

3.1.2.1. FreshRegio-Cloud

Die FreshRegio-Cloud nutzt den Ansatz der Microservices. Es werden Programme unterschiedlicher Funktion über definierte Schnittstellen miteinander verbunden, so dass Daten bidirektional ausgetauscht werden können. Zusammen ergeben sie die FreshRegio-Cloud, die an der THD implementiert und „gehostet“ wird. Abbildung 5 verdeutlicht den Umfang der Cloud und zeigt zusätzlich einige der verwendeten Frameworks der Microservices. Zu den

Frameworks gehören Flutter für die FreshRegio-App, Micropython für die VNT bzw. NIR-Technologie, Keycloak als Identitäts-Manager, Postgress als Persistenzschicht und Sklearn für maschinelles Lernen.

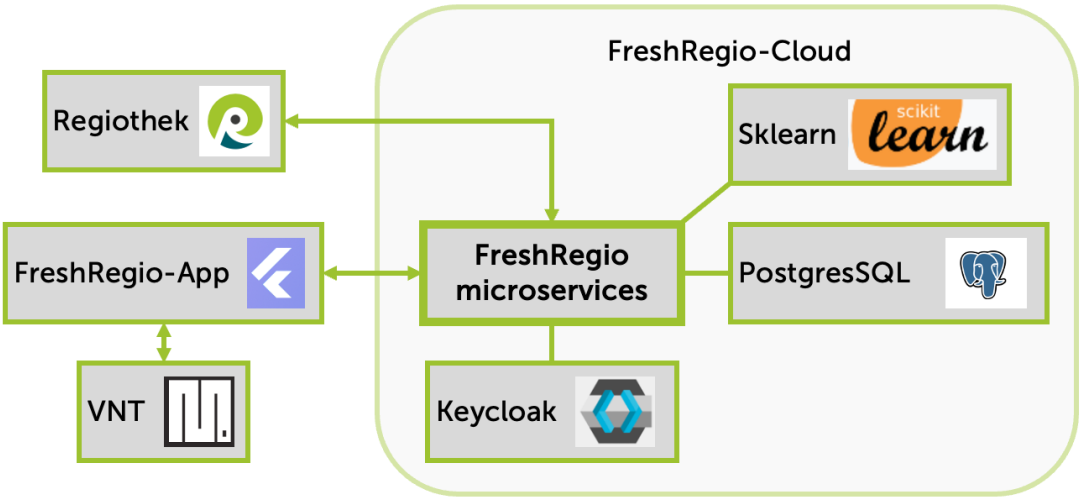
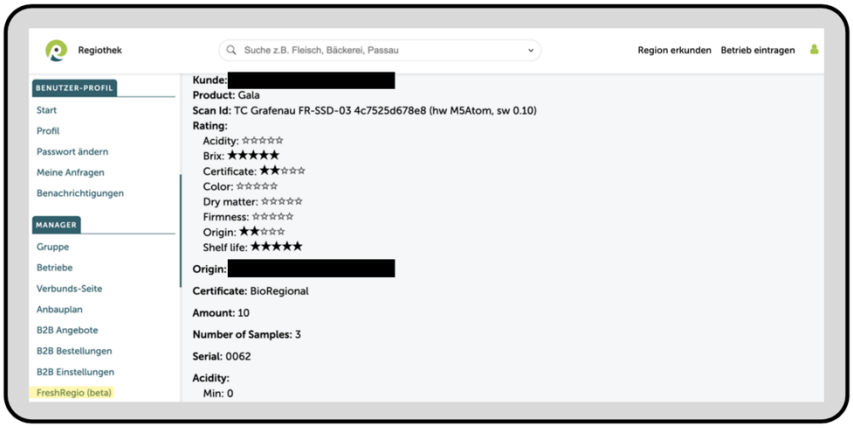


Abbildung 5: FreshRegio-Cloud, -App und VNT sowie Regiothek (FreshRegio-Plattform)

Besonderer Bedeutung kommt dabei der Schnittstelle zwischen der Regiothek und der FreshRegio-Cloud zu. Diese bidirektionale Schnittstelle ermöglicht den Austausch von FreshRegio-Teilnehmer-Daten, z.B. Produkte und deren spezifische Bezeichnung, und den Ergebnissen der KI-Anwendungen. Diese werden auf der FreshRegio-Plattform dargestellt (vgl. Abbildung 6).

3.1.2.2. FreshRegio-Plattform

Die FreshRegio-Plattform ist Teil der Regiothek-Plattform. Zur Kommunikation mit der FreshRegio-Cloud wurde eine entsprechende bidirektionale Schnittstelle implementiert. In einem eigenen Bereich der Regiothek-Plattform ist sie FreshRegio-Teilnehmern und den Projektpartnern zugänglich. Abbildung 6 zeigt einen Screenshot des Bereichs. Dort werden u.a. Messungen und deren Qualitätsdaten angezeigt sowie Empfehlungen für Dynamic Pricing und Handelspartner. Auswertungen der NIR-Scans werden einfach und verständlich durch eine Fünf-Sterne-Skala dargestellt.



Quelle:
https://www.regiothek.de/user/manager/sensordata/55d1a3c1-51b3-4807- baff-940ad4e2bf84
(Nur mit Zugriffskonto)

Abbildung 6: Screenshot beta-Bereich FreshRegio auf der Regiothek-Plattform

3.1.2.3. FreshRegio-App

Die FreshRegio-App implementiert die Aufnahme von Messwerten analog der QualityCheck-App aus dem Projekt FreshAnalytics. Aufgrund von technischen zwängen war eine Neuimplementierung nötig. Abbildung 7 zeigt Screenshots der FreshRegio-App. Die App erlaubt, workflow-basiert produkt- und anwenderspezifisch Qualitätsmessungen in Kombination mit der NIR-Technologie durchzuführen, entsprechende Daten an die FreshRegio-Cloud zu senden und direkt Schätzungen zur Qualität anzuzeigen. Handlungsempfehlungen werden ausschließlich auf der FreshRegio-Plattform angezeigt.

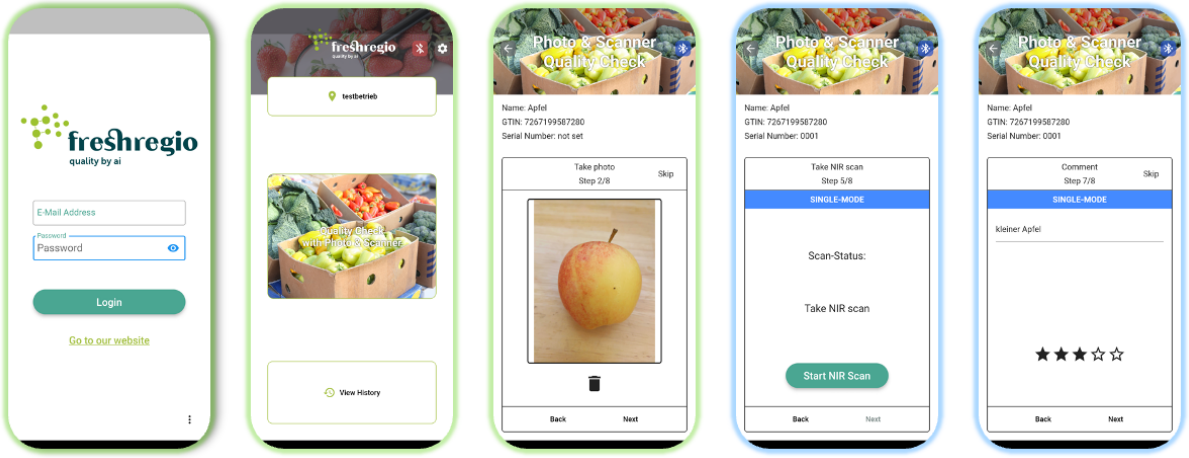


Abbildung 7: Screenshot der FreshRegio-App

3.1.3. KI-Entwicklung

Die KI-Entwicklung umfasst drei Module: Chemometrie-, Haltbarkeits- und Ertragsmanagement-Modul.

3.1.3.1. Chemometrie- und Haltbarkeits-Modul

Chemometrie- und Haltbarkeits-Modul entsprechen einem Microservice, der sogenannten “Inference api”. Dieser speichert Modelle maschinellen Lernens und wendet sie an. Von der FreshRegio-App werden Spektraldaten der NIR-Sensorik mit Metadaten an die Inference api gesendet. Produktspezifische Modelle werden dann auf die Spektraldaten angewendet und die Ergebnisse werden zurück zur App und zum Ertragsmanagement-Modul kommuniziert.
Über die FreshRegio Cloud kann der Lebenszyklus einer Charge mit mehreren Scans des Produkts nachverfolgt werden.
Zur Bildung chemometrischer Modelle wurde das Python Sklearn Modul genutzt. Innerhalb einer solchen “modeling pipeline” gehören die Schritte:

1. Konvertieren der Spektraldaten aus einem Trainingsdaten-Erhebung.
2. Datenselektion, Filtern von Ausreißern oder Eingabefehlern usw.
3. Inspektion der Zielgröße bzw. Verteilung der Messwerte usw.
4. Inspektion der Spektraldaten, Auftragung der Spektrenschar
5. Optional Bereinigung der Daten
6. Anwendung einer automatisierten Regressions-Modell-Bildung, die auch eine Optimierung von Hyperparametern (grid search) aus Vorbehandlungsschritten umfasst
7. Optional Zielgrößenoptimierung zur nominellen Modell-Verbesserung innerhalb der Messfehler der Zielgröße (Fehler der Messung im Labor, z. B. Ablesegenauigkeit, Messwertstreuung).
8. Einbindung des PLS-Modells in das Datenmodell der Inference api.
9. Übermitteln des konfektionierten Modells an die Inference api
10. Export der Zielgröße für die Nutzung im Ertragsmanagement-Modul

Neben der automatisierten Bildung von Regressions-Modellen, wie z.B. der partial least squares regression (PLS) wurden auch andere Modellbildungs-Tools implementiert. Um auch mit diskreten Zielgrößen, wie z.B. den nominellen Tagen in der Haltbarkeitsschätzung, umgehen zu können, wurden Klassifizierungsalgorithmen wie die lineare Diskriminanzanalyse (LDA) implementiert. Zusätzlich wurden auch AutoML-Pipelines implementiert, die eine automatisierte Suche nach dem besten Algorithmus inkl. entsprechender Hyperparameter durchführen können.

3.1.3.2. Ertragsmanagement-Modul

Auf Grundlage der im Umfrageexperiment ermittelten Parameter und den funktionalisierten Zusammenhängen der Zahlungsbereitschaft, Kaufwahrscheinlichkeit und Qualität von Früchten wurde das Ertragsmanagement-Modul entwickelt.

Auf Grundlage der Verteilung einer Zielgröße, wie z.B. des Brix-Wertes, wird die Qualitätsskala gesetzt. Abbildung 8 zeigt hierzu exemplarisch eine hypothetische Verteilung. Zur Festlegung der Unterteilungen werden der Mittelwert und die Standardabweichung berechnet. Werte um den Mittelwert (gestrichelte Linie) werden als durchschnittlich bewertet. Werte größer als die Summe von Mittelwert und Standardabweichung (grüne Linie) werden als überdurchschnittlich erachtet. Unterdurchschnittlich sind Werte, die kleiner als die Differenz des Mittelwerts und der Standardabweichung (orange Linie) sind.

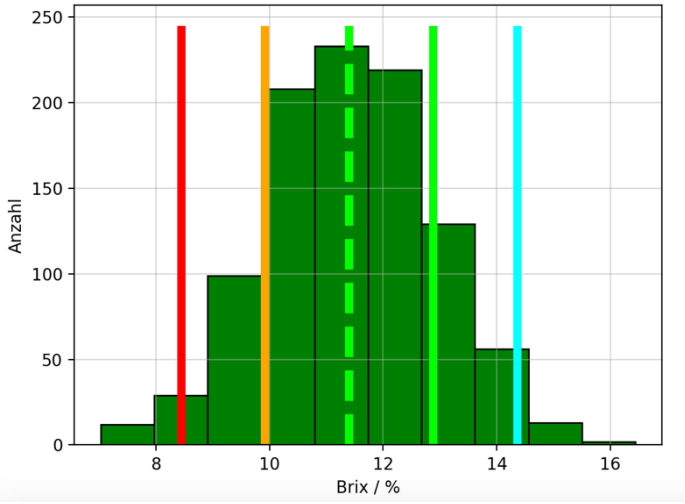


Abbildung 8: Exemplarische Verteilung einer Zielgröße mit Unterteilungen

Abbildung 9 skizziert exemplarisch die Ermittlung einer Zahlungsbereitschaft. Dazu gehört auch die Abschätzung der Gesamtqualität. Dabei wurde wie folgt vorgegangen:
Die mit der NIR-Technologie geschätzten Werte (Brix, Säure usw.) und weitere Qualitätskriterien (Herkunft, Zertifikate) wurden je in einer der fünf Qualitätsklassen (5-Sterne Skala) zugeordnet. Jeder Klassenwert wird dann mit einem entsprechenden empirischen oder geschätzten Gewicht multipliziert. Dann wird die Summe aller Produkte gebildet, diese durch die maximal mögliche Summe dividiert und auf 10 skaliert. Der berechnete Wert entspricht im Beispiel der Gesamtqualität von 4,184 und wird zur Berechnung der Zahlungsbereitschaft verwendet.

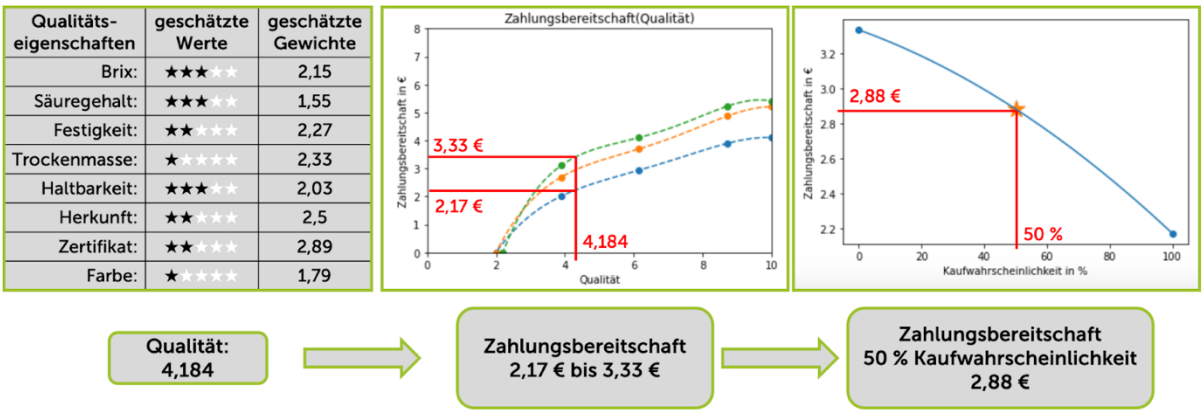


Abbildung 9: Ermittlung der Zahlungsbereitschaft auf der Basis geschätzte Qualitätseigenschaften und Gewichte. Die Zahlungsbereitschaften stammen aus dem Umfrageexperiment.

Bei einem (Gesamt-)Qualitätswert von 4,184 erstreckt sich die Zahlungsbereitschaft je nach Kaufwahrscheinlichkeit über einen Bereich von 2,17 bis 3,33 €. Im Beispiel wird die Zahlungsbereitschaft mit 50 % Kaufwahrscheinlichkeit gefordert. Die Zahlungsbereitschaft liegt somit bei 2,88 €.
Wie in Abbildung 9 zu erkennen ist, wurde der funktionelle Zusammenhang zwischen Zahlungsbereitschaft und Kaufwahrscheinlichkeit analog dem Zusammenhang der Zahlungsbereitschaft mit der Qualität polynomisch angepasst.

Auf die beschriebene Weise wird in FreshRegio die Zahlungsbereitschaft für ein gescanntes Produkt ermittelt. Um jedoch Handlungsempfehlungen geben zu können, braucht es mehr Informationen. Das Ertragsmanagement-Modul berücksichtigt daher auch Handelspartner, deren Vorlieben und Lieferkosten uvm. Zum Ermitteln notwendiger Informationen wurde ein digitaler Fragebogen in Form einer Eingabemaske implementiert. Im Folgenden wird auf den Fragebogen eingegangen. Es müssen insgesamt fünf Fragengruppen bearbeitet werden.
Zunächst muss der Name des Teilnehmers entsprechend dem Namen bei der Regiothek angegeben werden. Dann müssen Angaben zum Handelspartner gemacht werden. Dazu gehören der Name, der Handelstyp, z.B. Einzelhändler, Produktidentifikation und eine Rabattierung.
In der nächsten Frage wird nach dem Warenbedarf in drei unterschiedlichen Qualitätsklassen gefragt. Es müssen Verkaufseinheiten quantifiziert werden.
Im nächsten Schritt werden die Gewichte der Qualitäten gesetzt. Diese Qualitätsgewichte sind Erfahrungswerte eines jeden Händlers, der seine Kunden und dessen Vorlieben kennt.
Schließlich müssen Angaben zu Kosten, die beim Handeln mit dem Handelspartner entstehen, gemacht werden. Variable Kosten können z.B. sein: Kosten für Verpackungen und weitere an den Warenbedarf gekoppelte Dinge. Des Weiteren werden Angaben zur Berechnung fester

Kosten benötigt. Hierzu gehört der Weg zwischen den Handelspartnern, die Fahr- und Arbeitszeit sowie die stündlichen Kosten für den Mitarbeiter, der liefert.

Mit diesen Angaben können in Relation zu anderen Handelspartnern Handlungsempfehlungen ermittelt werden. Die Empfehlung basiert auf gewinnoptimalen Preisen pro Handelspartner. Der gewinnoptimale Preis wird nachfolgender Gleichung berechnet:

$$\prod_{max} = \sum_{i \in I} p_i d_i - c_i d_i - C_i$$

Preis variable Kosten feste Kosten

Abbildung 10: Gleichung zur Berechnung des gewinnoptimalen Preises. I sind Vertriebskanäle, p ist der Preis, d ist die Anzahl an Verkaufseinheiten, c sind variable und C feste Kosten.

Der gewinnoptimale Preis ist die Summe aller Preise abzüglich der daran gebundenen variablen und festen Kosten. Die Preise entsprechen der Menge multipliziert mit der Zahlungsbereitschaft. Die Kosten ergeben sich aus dem Produkt der Menge multipliziert mit den variablen Kosten, z.B. Verpackung, usw., und den festen Kosten, z.B. die durch die Kommissionierung und den Transport anfallen.

Unter der Voraussetzung, dass die Menge an Ware verschiedener Qualität geringer ist als der Bedarf aller Handelspartner, kann eine Handlungsempfehlung gegeben werden, die priorisierbar ist. Hierzu berechnet der Algorithmus alle Kombinationen und sortiert die Ergebnisse bzw. Händler-Kombinationen nach maximalem Gewinn. Hierdurch kann es jedoch sein, dass Handelspartner weniger bekommen, als ihr Bedarf ist. Je nach Handelsverhältnis kann gegen die Handlungsempfehlung verkauft werden, um z.B. Beziehungen zu pflegen.
Mit der Anzahl an Handelspartnern nimmt die Anzahl an Kombinationen zu. Im Fall von zehn Händlern sind es bereits 10! = 3.628.800 Kombinationen, die berechnet werden müssen, um die beste Kombination mit Sicherheit zu ermitteln.

3.1.4. Akquise LLK-Partner

Zum Ziel der Partner-Akquise wurde Infomaterial in der Form von Printmedien erstellt. Es wurden ein vierseitiger Infoflyer und eine 16-seitige DIN A5 Info-Broschüre in einer Auflage von 1000 Stück erstellt. Sowohl Flyer als auch Broschüren wurden postalisch an Kunden/Partner der Regiothek versendet, um für das Projekt und die Teilnahme zu werben. Zusätzlich wurden Telefonate und Betriebsbesuche bei Betrieben durchgeführt, die

FreshRegio-tauglich waren, also über adäquate Produkte und Handelsbeziehungen verfügten. Ebenso wurde die Beteiligung an dem Umfrageexperiment mit einem QR-Code beworben.

Abbildung 11: Übersicht Printmedien zur Darstellung und Bewerbung FreshRegios

Insgesamt bekundeten acht Betriebe unterschiedlicher Betriebsarten (Erzeuger, Verarbeiter, Groß- und Einzelhändler) Interesse an FreshRegio bzw. deren Teilnahme. Abbildung 12 zeigt eine Übersicht der Betriebe. Neben den Namen der Betriebe (geschwärzt) werden die Betriebsart und die entsprechenden Früchte genannt. Vier (in grün) der acht Betriebe hatten eine Bio-Zertifizierung.

Name	Betriebsart	Frucht
[redacted]	Erzeuger (ca. 15 Abnehmer)	Apfel
[redacted]	Erzeuger (ca. 30 Abnehmer)	Apfel, Tomate
[redacted]	Erzeuger (ca. 15 Abnehmer)	Apfel
[redacted]	Erzeuger	Tomate
[redacted]	Erzeuger (sehr viele Endverbr. als Abnehmer)	Erdbeere
[redacted]	Verarbeiter	Apfel
[redacted]	Großhändler	Apfel, Tomate, Erdbeere
[redacted]	Einzelhändler (sehr viele Endverbr. als Abnehmer)	Apfel, Tomate, Erdbeere

Abbildung 12: Übersicht FreshRegio-Teilnehmer

3.1.4.1. Übergabe NIR-Technologie und FreshRegio-Plattform

Es wurde eine bebilderte Bedienungsanleitung für die Anwendung der FreshRegio-App in Kombination mit der NIR-Technologie erstellt. Abbildung 13 zeigt einen Auszug.

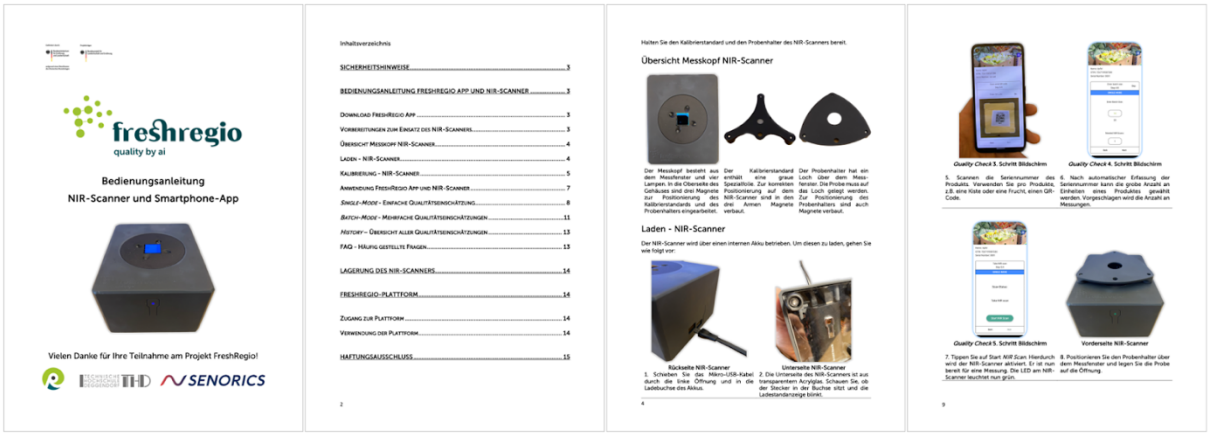


Abbildung 13: Bilder einzelner Seiten der Bedienungsanleitung für die FreshRegio-App und VNT

3.2. Phase 2 und 3, Modellbildung und Praxisvalidierung

Die Ergebnisse der übrigen Arbeitspakete werden zusammengefasst dargestellt, da sich das Projekt an dieser Stelle im Nachhinein nicht wie erwartet entwickelt hat. Die Arbeitspakete waren: Einsatz NIR-Technologie und FreshRegio-Plattform, Modellbildung KI-Anwendungen, Erprobung der FreshRegio und Evaluierung.

Entsprechend der Fruchtsaisonen und Absprache wurde wieder Kontakt mit den im Vorfeld ausgewählten Betrieben aufgenommen. Diese bekundeten zwar erneut Interesse am Projekt, erklärten aber unisono, dass keine Kapazitäten für anfallende Arbeiten bereitständen. Zusätzlich wurde in einigen Fällen erklärt, dass Qualität im Sinne von messbaren Eigenschaften keine Rolle spiele und deren Kommunikation sogar zu Verwirrung führen könnte. Die Qualität der Ware eines Betriebs ist über Jahre bei einer Stammkundschaft etabliert, die über “Mundpropaganda” erweitert wird.

3.2.1. KI-Modelle zur Qualitätsbestimmung

Ungeachtet der beschriebenen organisatorischen Hindernisse, wurden durch das Konsortium Früchte erworben und Messungen durchgeführt.
Es wurden chemometrische Modelle erstellt, wo die Datengrundlage sichergestellt war. Einige Methoden zur Zielgrößen-Ermittlung erwiesen sich für die Bestimmung an einzelnen Früchten als zu ungenau und daher unbrauchbar. So ist die potentiometrische Säure-Base-Titration zur Säurebestimmung zwar typisch für die Aufgabe, jedoch bedarf es einer Mindestmenge an titrierbarer Säure im Fruchtsaft. Im Fall von kleinen Früchten reicht der Saft einer Frucht nicht aus. Hinzukommt, dass die Konzentration an Fruchtsäuren in Fruchtsäften teilweise sehr klein ist. Folglich braucht es große Saftmengen, die durch viele Früchte erreicht wird. Auf diesem Wege wird jedoch der mittlere Säuregehalt gemessen. Dieser ist für FreshRegio bei VNT-

Messungen an einzelnen Früchten ungeeignet. Daher wurde in manchen Fällen auf die Säure-Bestimmung verzichtet. Ähnlich ist es mit Werten zur Festigkeit. Das verwendete digitale handgeführte Penetrometer ist für kleine und teils weiche Früchte ungeeignet. Die Bildung von Modellen zur Bestimmung des Alters ist teilweise unnötig, da es sich bei den meisten Früchten um keine Lagerware handelt und sogar erntefrisch gehandelt und direkt verwertet wird. In vielen Fällen korreliert die Trockenmasse mit dem Brix-Wert, so dass eine aufwändige Bestimmung der Trockenmasse redundant und unnötig wäre. Farbwerte lassen sich mittels NIR-Spektraldaten (1200-1700 nm) nur in manchen Fällen bestimmen. Da in FreshRegio aber auch Bilder von Früchten erstellt und kommuniziert werden und die schwer abschätzbaren Lab-Farbwerte unhandlich sind, wurde auf die Bestimmung und Modellbildung von Farbwerten verzichtet. Jedoch wurde versucht ein entsprechendes Modell zu erstellen, was aber nicht erfolgreich war.

Die wesentliche Qualitätsgröße, die sich auch häufig gut bis sehr gut mittels indirekter NIR-Technik bestimmen lässt, ist der Brix-Wert. Ebenso ist die Ermittlung des Brix-Wertes mittels Digital-Refraktometer einfach und nicht durch die Menge an Saft limitiert. Wenige Tropfen reichen, um einen Wert zu erhalten. Nachteilig wirkt sich lediglich aus, dass diese Methode eigentlich für Lösungen von Feststoffen in Flüssigkeit entwickelt ist. Im Fall von Fruchtsäften handelt es sich häufig um Suspensionen. Dennoch findet die Methode auch in FreshRegio Anwendung. Feststoffe im Messmedium führen zu teils erheblichen Schwankungen des Messwertes. Gemäß Refraktometer-Hersteller liegt der absolute Messfehler bei 0,1 Brix. Tatsächlich ist dieser Wert jedoch größer und wird auf mindestens 0,5 Brix geschätzt. Bei bewusster Anwendung liefert die Methode zuverlässige Werte. Zusätzlich können Mehrfachmessungen und Vermeiden von offensichtlichen Feststoffen fehlerhafte Messwerte minimieren.

3.2.1.1. Chemometrische Modelle

Exemplarisch wird das chemometrische Modell für den Brix-Wert von Äpfeln der Sorte Gala erläutert. Äpfel der Sorte Gala wurden bei einem FreshRegio-Teilnehmer erworben. Im Labor wurden die Äpfel untersucht und Messungen mit der VNT vorgenommen. An einem Apfel wurden vier Messungen an unterschiedlichen Positionen ca. alle 90° entlang des Äquators durchgeführt. An einer Messstelle wurde unmittelbar nach der Messung mit der VNT Fruchtsaft entnommen. Hierzu wurde das Fruchtfleisch mit dem Daumen, ohne die Schale zu durchtrennen, weich gequetscht. Anschließend wurde die Quetschstelle mit einem Messer eingeschnitten und der Saft direkt in das digitale Refraktometer gedrückt bzw. getropft. Der so gemessene Brix-Wert wurde direkt mit dem entsprechenden Spektrum annotiert, so dass keine Verwechslung auftreten kann.

Auf diese Weise wurden insgesamt 494 Messwerte erhalten. Abbildung 14 zeigt die entsprechenden Spektralwerte, linkes Diagramm, und die dazugehörigen gruppierten Brix-Werte, rechtes Histogramm. Die Spektralwerte sind typisch für die Reflektanz von Früchten und zeigen breite Banden im Messbereich. Das Histogramm zeigt eine ebenfalls typische Form der Verteilung mit einem Mittelwert von ca. 11,6 % Brix (blaue senkrechte Linie). Verdächtig - und manchmal ein Hinweis auf Ausreißer - sind seltene Extremwerte an den Flanken der Kurve.

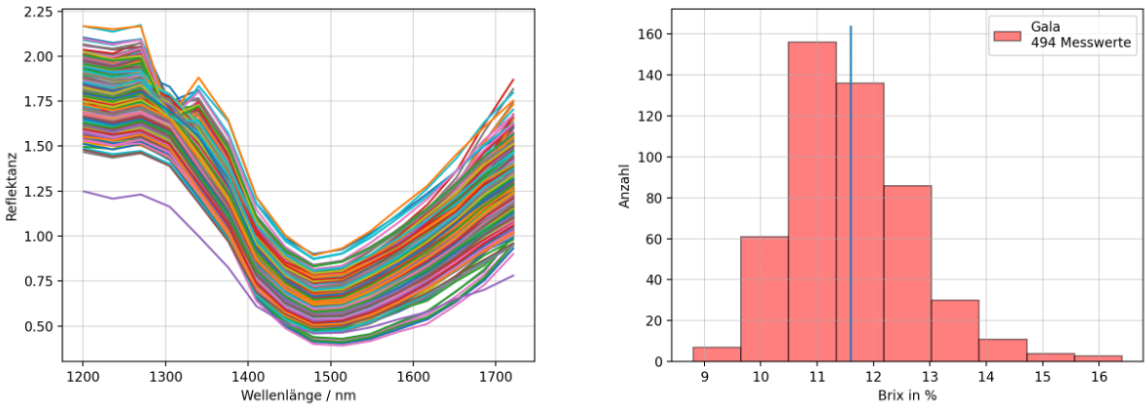


Abbildung 14: Messwerte Gala-Äpfel, Spektralwerte der VNT (links) und Histogramm von Brix-Werten (rechts).

Auf der Basis der Messwerte wurde automatisiert ein PLS-Modell erstellt. Hierbei handelt es sich um das bestmögliche Modell nach dem in FreshRegio verwendeten Ansatz. Abbildung 15 zeigt ein Streudiagramm zur Einschätzung der Modellgüte. Neben Kennzahlen in dem Textfeld ist die Verteilung der Punkte im Diagramm entscheidend. Aufgetragen ist der vom Modell auf Basis der Spektraldaten geschätzte gegen den tatsächlich mit dem Refraktometer gemessene Brix-Wert. Je dichter die geschätzten Werte um die Ursprungsgerade, schwarze Linie, verteilt sind, desto besser ist das Modell. Die grüne Linie markiert den linearen Trend der geschätzten Werte. Im Optimalfall überdeckt die grüne Linie die Ursprungsgerade. Zu erkennen ist jedoch eine starke Abweichung. Im Textfeld sind Steigung, *slope*, und Achsenabschnitt, *intercept*, angegeben. Ebenfalls sind die Bestimmtheitsmaße der Kalibration, R2C, Kreuzvalidierung, R2CV, und Validierung, R2P, angegeben. Der maximale und somit beste Wert ist eins. Auch diese Werte sprechen für ein schlechtes Modell. Genauso ist es auch bei den entsprechenden Werten des mittleren quadrierten Fehlers, *mean squared error*, MSE. Der RPD, *ratio of performance to deviation*, ist eine Kennzahl zur Beschreibung der Modellgüte. Ein Wert von kleiner 2 zeigt an, dass die Modellgüte gering bis schlecht und das Modell ggf. unbrauchbar ist.

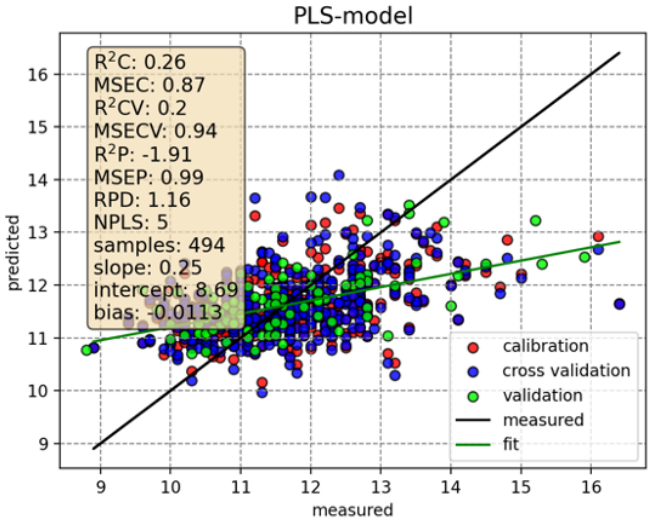


Abbildung 15: Streudiagramm zu PLS-Modell

Schließlich sei in Bezug auf das Textfeld noch die Anzahl an PLS-Komponenten, NPLS, und die Anzahl an Proben, *samples*, erwähnt.

Um zu prüfen, ob die Messmethode generell mit einem anderen Spektrometer tauglich ist, wurden insgesamt 268 Messungen durchgeführt. Dabei wurde der SSC-Sensor der NIR-Technologie durch ein NIR22 Spektrometer ausgetauscht. Abbildung 16 zeigt die Spektrenschar der Messung, links, und das entsprechende Streudiagramm zur Modellgüte, rechts.

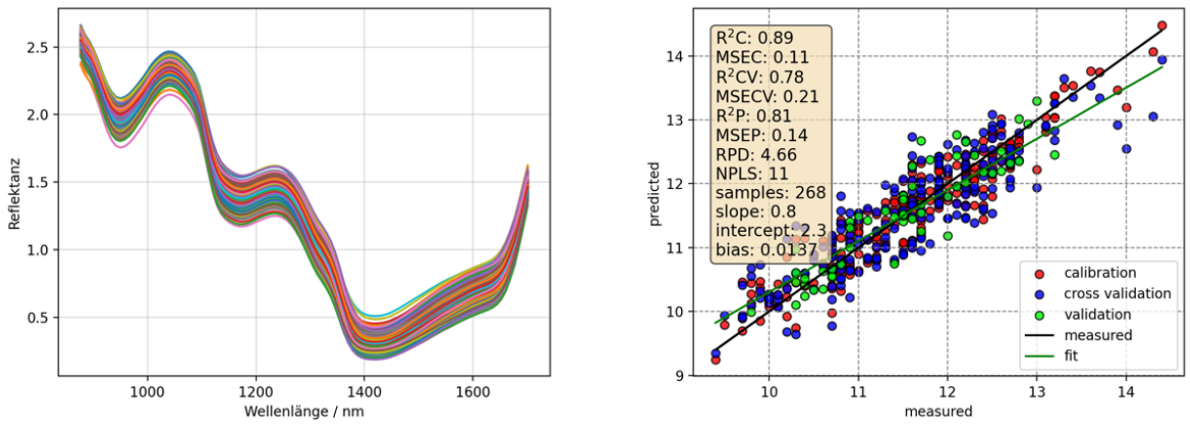


Abbildung 16: Messungen NIR22. Reflektanz-Spektrenschar, links, und Streudiagramm mit Modellgüte, rechts.

Wie zu erkennen ist, ist der spektrale Messbereich des NIR22 größer und erstreckt sich von ca. 900 bis 1700 nm. Im Gegensatz zum SSC verwendet das NIR22 nicht 16 sondern ca. 100 Pixel für diesen Bereich. Zusätzlich wird eine Kollimator-Linse zur Bündelung der NIR-Strahlung genutzt. Die Konsequenz ist eine offensichtlich deutlich bessere Modellgüte. Um

jedoch in erster Näherung eine vergleichbare Anzahl an Pixeln zu nutzen, wurden entsprechend der spektralen Filterpositionen des SSC 16 Pixel vergleichbarer Wellenlängen isoliert und das Modell erneut erstellt. Abbildung 17 zeigt die Ergebnisse.

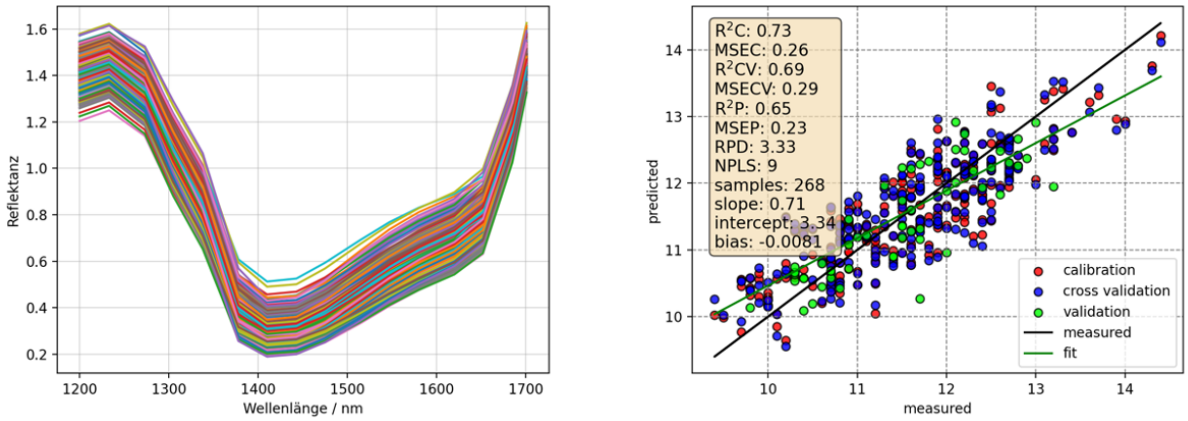


Abbildung 17: Messungen mit NIR22 und Selektion von 16 Wellenlängen zur Simulation des SSC.. Reflektanz-Spektrenschar, links, und Streudiagramm zur Einschätzung der Modellgüte, rechts.

Die Verringerung der Anzahl an Pixeln wirkt sich negativ auf die Modellgüte aus. Allerdings ist das Modell im Vergleich zu dem der SSC Daten akzeptable Kennzahlen und Schätzungen zu liefern. Hierdurch zeigt sich, dass die Messmethode prinzipiell ausreichend ist.

Generell kann das Signal-Rausch-Verhältnis spektraler Daten durch Bilden des arithmetischen Mittelwertes von Spektren einer Probe bzw. Probenkategorien verbessert werden. Durch diese Prozedur werden zufällige gegenüber systematischen spektralen Charakteristika verringert. Hierdurch nimmt die Datenqualität zu. Auf Basis der Mittelwertspektren können weitere Spektren und deren Zielwerte, unter der Annahme eines linearen Zusammenhangs zwischen Spektren und Zielgröße, in beliebigem Umfang berechnet werden. Man kann in diesem Fall von semi-empirischen Daten sprechen. In diesem Kontext arbeitet der TCG an einer Publikation in 2024.

Der Ansatz wurde auf die SSC-Daten angewendet, um zu prüfen, ob der SSC in ausreichendem Maße systematische Charakteristika, die durch zufällige Messergebnisse überlagert werden, für die Modellbildung liefert. Abbildung 18 zeigt als Ergebnis der prozessierten SSC-Spektraldaten, links, und erneut ein Streudiagramm. Im Vergleich zu den nicht prozessierten SSC-Spektraldaten sind diese hier deutlich strukturierter.
Das Streudiagramm und die Kennzahlen zeigen, dass die Modellgüte mit den semi-empirischen Daten deutlich besser ist als mit den Originaldaten. Der SSC liefert demnach systematische Informationen. Unglücklicherweise ist das Modell für die Verwertung von

einzelnen, nicht optimierten, Spektraldaten unbrauchbar und kann in der Praxis nicht eingesetzt werden.

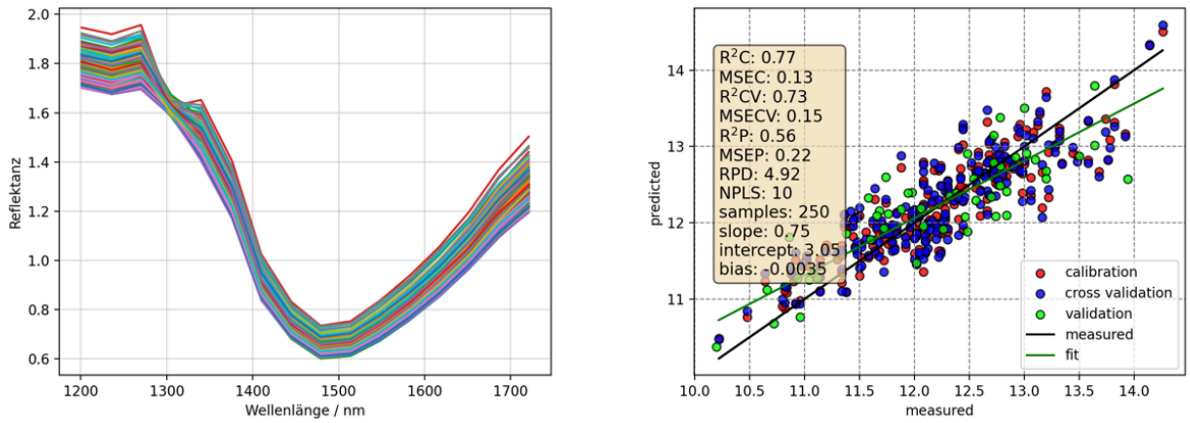


Abbildung 18: Messungen mit SSC und prozessierten Spektraldaten. Berechnete Reflektanz-Spektrenschar, links, und Streudiagramm zur Einschätzung der Modellgüte, rechts.

Alle weiteren Modelle werden nicht in dieser hier exemplarisch dargestellten Tiefe gezeigt. Letztendlich sind alle Modellgüten auf dem gleichen Niveau.

Frucht	Chemometrische Modelle			
	Brix	Säure	Festigkeit	Alter
Erdbeere	✓	✗	✗	✗
Tomate	✓	✗	✗	✗
Apfel	✓	✓	✓	✓

Abbildung 19: Übersicht chemometrischer Modelle. Modell erstellt (✓), nicht erstellt (✗).

3.2.1.2. Haltbarkeitsmodell

Für die Bildung von Haltbarkeitsmodellen wurden Äpfel der Sorte Gala erworben. Diese Äpfel wurden bereits zwischen Ernte und Verkauf professionell eingelagert. Diese Art der Einlagerung stellt mit langjähriger Erfahrung sicher, dass Äpfel in der Regel und besonders bei sehr kurzer Einlagerungsdauer zu Beginn der Erntesaison keinen merklichen Qualitätsverlust erleiden. Nach dem Erwerb wurden die Äpfel bei Raumtemperatur ohne besondere Vorkehrungen aufbewahrt. Das Altern unter diesen Bedingungen ist deutlich an der Haptik der Äpfel erkennbar. Je älter die Äpfel werden, desto weicher fühlen sie sich an. Abbildung 20 zeigt links ein Balkendiagramm, wobei die die Anzahl an Messungen gegen die Haltbarkeit aufgetragen ist. Farblich markiert sind die Bereiche der subjektiven Wahrnehmung bzgl. der

Haptik. Rechts ist eine Streudiagramm zur Einschätzung der Modellgüte gezeigt. Ebenfalls angegeben ist die Genauigkeit, accuracy score. Diese liegt bei ca. 80 %. Damit ist das Modell scheinbar gut die Lagerzeit im Versuch einzuschätzen.

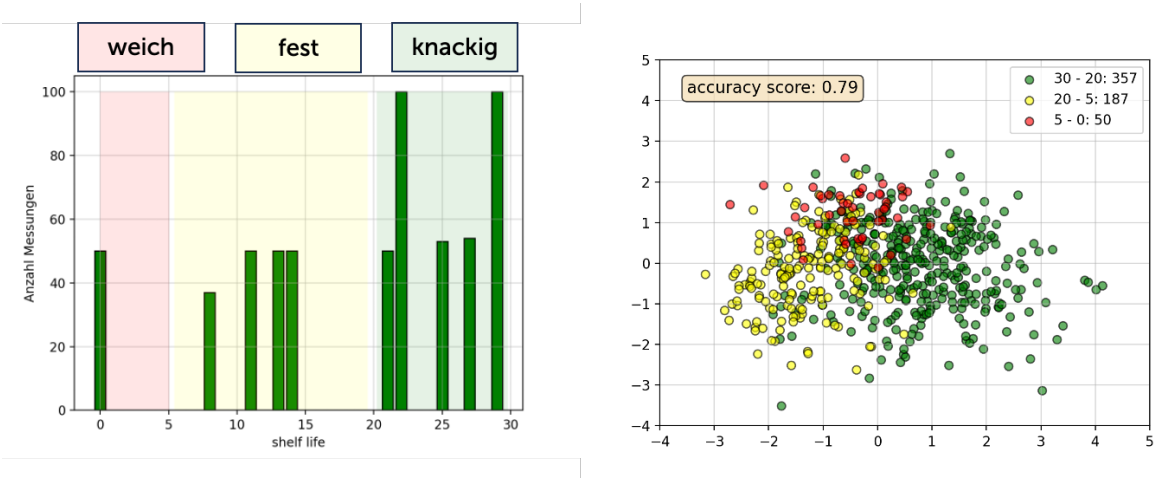


Abbildung 20: Haltbarkeitsmodell Apfel Gala

In Anbetracht der geringen Modellgüte im Fall des Brix-Wert, ist es zweifelhaft, dass dieses Modell sehr viel besser abschneidet. Generell ist zu bemerken, dass zur Klassifizierung keine kontinuierliche Änderung in den Spektraldaten vorhanden sein muss, sondern lediglich Merkmale, die eine Unterscheidung der Gruppen ermöglichen. So kann es sein, dass andere Effekte eine Klassifizierung ermöglichen, so dass von einer Scheinkorrelation ausgegangen werden könnte.

3.2.2. Erfahrungen aus der Praxis

Wie in Abschnitt 2.3 bereits erwähnt wurde, entwickelte sich das Projekt aufgrund mangelnder Teilnahme anderes als geplant. Nach Entwicklung FreshRegios Technologien sollte die Erprobung in der Praxis beginnen. Daran gekoppelt war auch die Datenerhebung. Um einen Eindruck zu vermitteln, aus welchen spezifischen Gründen eine Teilnahme ausblieb, geben die folgenden Abschnitte wesentliche Einblicke in den Austausch mit Betrieben aus der Praxis. Hierzu sind die Berichte in Früchte unterteilt. Abschließend wird noch auf die Erfahrung mit dem Großhändler eingegangen.

3.2.2.1. Erdbeeren

Erdbeeren hätten innerhalb des Projekts durch einen Erzeuger, einen Großhändler und einen Einzelhändler vertreten sein sollen.

Der Erzeuger baut Erdbeeren auf einem offenen Feld an und bietet die Früchte hauptsächlich für Selbstpflücker, aber auch auf Bestellung, für private und gewerbliche Konsumenten an. Beim Anbau der empfindlichen Früchte werden keine Hilfsmittel, z.B. Pestizide oder Tunnel

verwendet. Hierdurch wird zwar “Natürlichkeit” bewahrt, jedoch wird der Ertrag verringert. Je nach Wetterlage wird künstlich bewässert. Diese “natürliche” Art der Zucht ist zeitintensiv. Die Pflege der Pflanzen innerhalb von Richtlinien sowie die rechtzeitige fachgerechte Ernte nehmen die Ressourcen des Betriebs und dessen Mitarbeiter vollständig in Anspruch.
Nicht nur bedingt durch den kurzen Erntezeitraum des Betriebs von nur wenigen Wochen, dem Mangel an Ressourcen, sondern gerade, weil in diesem konkreten Fall die Herkunft der Früchte von einem bevorzugten Erzeuger gewichtiger ist als die Qualität der Früchte, stellte sich dieser Betrieb als ungeeignet für FreshRegio heraus.
Gerade dass die Fruchtqualität eine untergeordnete Rolle einnimmt, war überraschend. Tatsächlich wurde so argumentiert, dass die bekannte Herkunft, inkl. der Kenntnis vom Anbau, bedeutsamer ist als Geschmack. Häufig wurde mit der Verarbeitung der Früchte z.B. in Marmelade oder Kuchen angesprochen. Ein weiterer Aspekt ist die Pflückleistung, also die Anzahl an gepflückten Früchten pro Zeit. Um perfekte Früchte zu pflücken, vergeht viel Zeit. Hierfür ist die Bereitschaft häufig nicht gegeben, so dass das gepflückt wird, was da ist. Beworben wird das aktuelle Angebot via eine Whatsapp-Gruppe. Dieser unkomplizierte Kommunikationskanal hat sich etabliert. Er benötigt keine weiteren Medien, um Informationen schnell und direkt zu vermitteln.

Um trotzdem chemometrische Modelle für Erdbeeren erstellen zu können, wurden Erdbeeren durch FreshRegio bzw. den TCG und die Regiothek geerntet und gemessen. Einige Messungen wurden zur Demonstration auf dem Feld durchgeführt (siehe Abbildung 21). Die meisten Messungen fanden im Labor statt.

Abbildung 21: Regiothek-Mitarbeiter bei Messungen am Erdbeerfeld.

Die Erhebung von Spektraldaten ist mit dem NIR-Gerät einfach und mühelos. Verwendete Erdbeeren konnten auf dem Probenhalter platziert und gemessen werden. Die Erhebung von Zielgrößen war teilweise nicht möglich. Es wurde ein Modell für den Brix-Wert erstellt.

Die Nutzung des NIR-Geräts und FreshRegio bietet laut Erzeuger keinen Mehrwert, da die für den Kauf entscheidenden Qualitätsmerkmale nicht die inneren Qualitäten der Erdbeere sind. Vielmehr spielen folgende Qualitätseigenschaften eine Rolle für die Kunden:

- Die Persönliche Verbundenheit zum Betrieb oder zur Person
- Die Herkunft und Regionalität sind mitentscheidend
- Die natürliche Anbaumethode
- Die subjektive Vorliebe von Erdbeeren z.B. nach Größe und äußere Farbe

Der Kontakt zum Großhändler wurde mehrfach versucht wiederherzustellen. Leider kam der Kontakt erst nach der Erdbeer-Saison wieder zustande und brachte FreshRegio keinen Mehrwert. Der Einzelhändler hatte aus Mangel an Ressourcen keine Möglichkeit zur Teilnahme.

3.2.2.2. Tomaten

Zwei Betriebe bauten Tomaten an. Deren Hauptvertriebskanäle befanden sich in der örtlichen Gastronomie, aber auch direkt an Endkunden und auf Wochenmärkten in der Umgebung. Beide Betriebe führten in etwa die gleichen Argumente bzgl. der Verwendung des NIR-Geräts auf. Die Benutzung des NIR-Geräts und FreshRegio bietet keinen Mehrwert für beide Betriebe:

- Messen der Tomaten im Alltagsgeschäft ist zu aufwändig.
- Das Kosten-Nutzen-Verhältnis ist nicht rentabel.
- Kunden haben kein Interesse an „innerer Qualität“ der Tomaten.

Ferner ist die Vermittlung von Qualitätseigenschaften, laut Erzeuger, z.B. des Brix-Wertes, oder zu sagen, dass „diese Tomaten besonders gut sind, weil ich das gemessen habe“, an die Kunden nahezu bedeutungslos. Viele der Abnehmer hätten darüber hinaus keinerlei Kenntnis über Messgrößen wie Brix und deren Bedeutung, so dass daran kein Interesse besteht.

Stattdessen spielen folgende Qualitätsmerkmale für die Kunden eine Rolle:

- Begriffe wie „alte Sorten“: Allein durch den Begriff kann ein höherer Preis verlangt werden.
- Farben: Gelbe Tomaten können allein aufgrund der äußeren Farbe für einen höheren Preis verkauft werden als rote. Obwohl laut einer der Betriebe die gelben Tomaten oft einen schlechteren Geschmack haben als die roten.
- Kurzer Handelsweg bzw. Frische der Tomaten: Je weniger Zwischenhändler innerhalb der Lieferkette sind, desto besser/frischer empfinden die Abnehmer der Betriebe die

gekauften Tomaten. Ein kürzerer Transportweg und eine kürzere Zeitspanne zwischen Ernte und Ankommen beim Kunden vermitteln Frische und Regionalität.

- Das generelle äußere Erscheinungsbild und die Härte: Die Betriebe achten darauf, dass die Tomaten nicht schon zu weich sind, da ab einer bestimmten Weiche der Tomaten das Kaufinteresse abklingt, obwohl laut einer der Betriebe weichere Tomaten einen besseren Geschmack hätten. Einer der Betriebe bestätigt an dieser Stelle die FreshRegio-Theorie, kann diese aber in der Praxis nicht anwenden, weil die äußere Erscheinung bei den Abnehmern eine sehr viel größere Rolle beim Kauf spielt, als die „innere Qualität“ bzw. in diesem Fall der bessere Geschmack.
- Eine Bio-Zertifizierung
- Die persönliche Verbundenheit zum Betrieb oder zur Person: Die Kunden kennen die Inhaber der Betriebe persönlich und wissen um deren sehr gute Qualität und Regionalität.
- Ein Betrieb gibt an, dass die Entscheidung, welche Tomaten gekauft werden, oft willkürlich passiert - vor allem in der Gastronomie: “Der Grund für den Kauf bestimmter Tomaten kann sich von Tag zu Tag ändern.”

3.2.2.3. Äpfel

Zu den drei Erzeugern von Äpfeln wurde wieder zum Beginn der Ernte Kontakt aufgenommen. Bei einem sehr kleinen Betrieb stellte sich heraus, dass dieser hauptsächlich über seinen Hofladen oder als Teil eines Lieferservice anbietet. Ein ebenfalls kleiner Betrieb verkaufte Äpfel unterschiedlicher Sorten auf Märkten und im eigenen Hofladen. In beiden Fällen war der Anbau naturbelassen (Streuobstwiese) und es kamen keine Hilfsmittel zum Einsatz. Der Ertrag in der Saison war zufälligerweise gering ausgefallen, so dass nur wenige Äpfel geerntet werden konnten.

Neben den kleinen Betrieben gab es auch noch einen größeren Betrieb, der konventionelle Äpfel unterschiedlicher zum Teil alter Sorten anbaut. Die größere Anbaufläche bedingt auch einen deutlich höheren Absatz. So bildeten den Hauptvertriebskanal vor allem verschiedene Einzelhandelsketten in der Region, aber auch der eigene Hofladen.

In diesem Betrieb fiel insbesondere seine Unterteilung der verschiedenen Äpfel in drei Klassen auf:

Klasse A enthielt Äpfel ohne äußere Schadstellen, welche der Betrieb als “Ferraris” innerhalb des angebotenen Sortiments beschrieb. Diese Äpfel wurden für einen Preis von 2,50 € / kg dem Einzelhandel und Kunden des Hofladens angeboten.

Klasse B enthielt Äpfel mit äußeren Schadstellen, wie z.B. verursacht durch Hagel, Sonnenstich, Apfelschorf. Diese wurden zur Weiterverarbeitung, wie z.B. als Saft, zum Backen oder als Kompott angeboten. Äpfel der Klasse B wurden nur im Hofladen an bestimmte Endkunden zu einem deutlich geringeren Preis von 1,-- € / kg angeboten.

Die Klasse C enthielt Fallobst, das ggf. faulige Stellen aufweisen konnte. Diese waren z.B. für Tiere oder zur Düngung der Plantage bestimmt und wurden an Endkunden verschenkt.

Bei diesem Betrieb war also ein grobes qualitätsbasierte Dynamic Pricing gegeben. Der Betrieb gab an, dass eine Unterteilung der Klasse A in weitere Sub-Klassen von A in seiner Betriebsgröße und Kundenstruktur nicht rentabel sei: “Die Top-Äpfel (Klasse A) sind bereits die Ferraris unter den Äpfeln, für die auch ein höherer Preis verlangt wird und die auch vom Einzelhandel gekauft werden.” Der Betrieb argumentierte weiter, dass die feinen Unterschiede der verschiedenen Sub-Klassen zu gering seien, so dass der ungeübte Kunde dies nicht unterscheiden könne. Zumal die persönlichen Vorlieben des Kunden im Geschmack und Aussehen die geringen Unterschiede der Sub-Klassen – klassifiziert nach der inneren Qualität – vollkommen überschatten würden.
In Bezug auf den Verkauf von Äpfeln an den Einzelhandel gab der Betrieb an, dass die verkauften Äpfel grundsätzlich denselben Preis haben sollten, da aufgrund der Praktikabilität im Kassensystems des Einzelhandelsladens auch der Preis der Äpfel gleich sei.
Außerdem will der Betrieb einen noch höheren Preis als 2,50 € / kg allgemein vermeiden. Ein noch höherer Preis, selbst für die „Ferraris unter den Ferraris“, hätte einen zu hohen negativen Effekt: „Der hohe Preis bleibt unterbewusst in den Köpfen meiner Kunden, die diesen Preis automatisch mit anderen Preisen vergleichen und dann missinterpretieren. Preise für A-Ware sollten im besten Falle konstant bleiben.”

3.2.2.4. Großhändler

Sehr spät im Projekt kam erneut Kontakt mit dem Großhändler zustande. Der Betrieb zeichnet sich durch seine Größe und Vielzahl an zertifizierten Handelspartnern aus. Gehandelt werden ausschließlich zertifizierte Bio-Waren. Diese stammen von Unternehmen in einem Umkreis von ca. 200 km. Darunter fallen u.a. Deutschland, Österreich sowie Südtirol. Zu den allermeisten Betrieben besteht ein persönliches Verhältnis, das von Idealen zum Wohlergehen von Mensch und Natur geprägt ist. Bei einem Treffen im Betrieb wurde einem der Geschäftsführer FreshRegio vorgestellt und die Technik demonstriert. Es bestand Interesse an FreshRegio und an dem Konzept, jedoch wurde klar gesagt, dass Messungen der Qualität in interne Logistikprozesse einfließen müssten. Dabei darf keine Zeit verloren gehen: „Die Messungen müssten einen festen Bestandteil im Ablauf einnehmen und in Millisekunden vonstattengehen, nur dann ist es eventuell brauchbar.“

Durch die Größe des Händlers konnten im Gespräch mit dem Geschäftsführer noch weitere Einsatzgebiete FreshRegios in der internen Logistik des Unternehmens festgestellt werden.
So sieht das Unternehmen in der Qualitätseingangskontrolle Potential im Einsatz eines NIR-Scanners, um die innere - aber auch äußere - Qualität Ihrer Ware schnell und effizient zu

beurteilen. Dazu könnte die Qualitätsbeobachtung des Wareneingangs aufgezeichnet und gespeichert werden, was eine hilfreiche Ausgangslage für Analysen im Nachgang darstellen würde.
Zu entsorgende Ware, wie z.B. Kundenreklamationen, könnte gescannt werden und so auf weitere Qualitätsmerkmale überprüft werden. Auch an dieser Stelle könnten durch Dokumentation der Reklamationsware im Nachgang wichtige Erkenntnisse entstehen.
Ein weiteres Einsatzgebiet der NIR-Technologie befindet sich in der Beobachtung der Ware über die Lagerzeit, welche sich über die Zeitspanne des Warenein- und -ausgangs zieht. Durch die Beobachtung der Ware über die Lagerzeit ließe sich die Qualitätsveränderung der Früchte feststellen. Daraus könnten wertvolle Informationen über die Lagerstruktur entstehen.

Ungeachtet des registrierten Potentials wurde an FreshRegio aus genannten Gründen nicht teilgenommen.

3.3. Abschließende Bemerkung

Ergebnisse des Projektes sind neben Konzepten gerade Technologien, die teilweise so weit entwickelt sind, dass sie erprobt werden könnten, aber auch Erfahrungen aus der Praxis, die klar einen Mangel an Akzeptanz zeigen. Dieser Mangel ist durch einen nicht offensichtlichen Mehrwert und weitere Umstände bedingt. In Gesprächen mit Teilnehmern wurde klar, dass diese – verständlicherweise – primär ein Interesse daran haben, dass deren Alltagsprobleme und Herausforderungen wahrgenommen und gelöst werden. Diese reichen von Bewässerungsrichtlinien, Kontrollen durch den Zoll, hohe Temperaturen oder Starkregen bis zu Kundenwünschen. Mit FreshRegio wurde zwar ein interessantes System vorgestellt, jedoch sind Teilnehmer wegen knapper Ressourcen nicht in der Lage, zu experimentieren.
Hieraus resultiert für FreshRegio auch ein Mangel an Daten, die zur Weiterentwicklung von KI und Optimierung der Systeme zwingend notwendig gewesen wären. So sind weder qualitative noch quantitative Auswertungen möglich.

4. Vergleich geplanter Ziele und erreichter Ergebnisse

Zur besseren Übersicht folgt eine Gegenüberstellung der geplanten und erzielten Ergebnisse entsprechend der Gliederung der Arbeitspakete aus der Gesamtvorhabenbeschreibung. Trotz der beschriebenen Änderungen im Projektverlauf werden hier alle Arbeitspakete entsprechend der Planung betrachtet. Insgesamt gab es zehn Arbeitspakete. Jedes Arbeitspaket entspricht

nominell einem Ziel. Kritisch betrachtet wurden sieben Ziele erreicht (✓). Drei Ziele wurden in Folge unerwarteter mangelnder Teilnahme nur teilweise oder nicht erreicht (✗).

AP	geplantes Ziel	Ergebnis	
1.1	Einsatzfähige Labor- und VNT-Geräte	Laborgeräte wurden erworben und in Betrieb genommen. Entsprechend der Beschreibungen in Abschnitt Entwicklung der NIR-Technologie ist diese einsatzfähig.	✓
1.2	Experimentelle Grundlage Ertragsmanagement-Moduls	Eine Vorauswahl an Früchten wurde getroffen. Das Umfrage-Experiment wurde durchgeführt. Zur Akquise von Probanden wurden unterschiedliche Kanäle genutzt.	✓
1.3	Implementierung FreshRegio-Cloud und FreshRegio-Plattform Integration FreshRegio-App zur Kommunikation von VNT-Daten in die FreshRegio-Cloud Implementierung der VNT-Datenbank Implementierung von Schnittstellen	Es wurde die FreshRegio-Cloud auf einem Server der THD implementiert und mit allen notwendigen Schnittstellen versehen. Die FrehRegio-Cloud verfügte über eine Datenbank. Die FreshRegio-App wurde durch Anpassungen der FreshAnalytics-App implementiert und zur Kommunikation mit der VNT befähigt. Die FreshRegio-Plattform wurde mit Schnittstellen zur FreshRegio-Cloud bei der Regiothek implementiert und in Betrieb genommen. Alle Funktionen wurden während und zum Abschluss der Entwicklung getestet.	✓
1.4	Chemometrie-, Haltbarkeits-, Ertragsmanagement-Modul	Das Chemometrie-Modul wurde implementiert und zu einem semiautomatischen Modellbildungswerkzeug weiterentwickelt. Das Haltbarkeits-Modul wurde Teil des Chemometrie-Moduls. Das Ertrags-management-Modul wurde konzeptionell entwickelt und implementiert. Zentrales Element ist der in Abschnitt Ertragsmanagement-Modul beschriebene Algorithmus. Dieser hätte bei ausreichender Datengrundlage gegen einen KI-Algorithmus ausgetauscht werden können.	✓
1.5	Akquise von Lebensmittelbetrieben, Bereitstellung von Handelsdaten	Es wurde unterschiedliche Betriebe, die entsprechend der Fruchtwahl geeignet waren, entlang der LLK bzgl. des Projekt und der Teilnahme kontaktiert. Es wurden acht Betriebe akquiriert. Die Betriebe bekundeten Interesse und Bereitschaft zur Teilnahme an FreshRegio.	✓
2.1	Übergabe VNT-Geräte, Beteiligung von akquirierten Teilnehmern	Es wurde eine Bedienungsanleitung für die VNT und die FreshRegio-App verfasst.	✗

AP	geplantes Ziel	Ergebnis	
		Durch Verzögerung der VNT-Entwicklung wurde eine schrittweise Übergabe der VNT-Geräte und Einweisung in FreshRegio beschlossen. Die Umsetzung wurde entsprechend der Fruchtsaison durchgeführt. Jedoch zeigte sich entgegen der Erwartung, begründet durch Vorgespräche, keine aktive Bereitschaft zur Teilnahme am Projekt.	
2.2	Die LLK-Betriebe nutzen die VNT in ihren individuellen Betrieben. Zunehmende Technologieakzeptanz durch LLK-Partner. Diese nutzen FreshRegio (VNT & FreshRegio-Plattform) zunehmend eigenständig.	Wie zu AP 2.1 bereits bemerkt wurde, gab es keine aktiven Teilnehmer, die gemessen oder FreshRegio genutzt haben. Die Begründungen waren vielfältig. Alle äußerten jedoch, keine Ressourcen zu haben. Trotzdem wurden durch FreshRegio bzw. TCG und RGT Messungen durchgeführt und chemometrische Modelle gebildet. Ebenso wurden Szenarien simuliert, um das Ertragsmanagement-Modul zu testen und Handlungsempfehlung zu erzeugen. Der Umfang der Messungen und Anwendung entspricht nicht dem geplanten.	✗
2.3	Chemometrische, Haltbarkeits- und Handelsmodelle	Auf Grundlage, der durch FreshRegio bzw. RGT und TCG erhobenen Messwerte, wurden chemometrische und Haltbarkeits-Modelle gebildet, wo das möglich war. Für die Bildung Handelsmodelle bzw. dem Austausch des rudimentären Algorithmus im Ertragsmanagement Model fehlten bedingt durch keine Teilnahme am Projekt entsprechende Handelsdaten.	✓
3.1	Erproben der Technologien	Die Technologien konnten nicht im Feld erprobt werden. Dennoch wurde durch den Kontakt zu den Teilnehmern ein Einblick in deren Praxis möglich.	✗
3.2	Evaluierung	Die Evaluierung verlief deutlich anders als geplant. Die Gespräche und Schilderungen der Teilnehmern griffen einer unmöglichen Evaluierung auf der Basis von empirischen Daten vorweg.	✓

4.1. Zahlenmäßiger Nachweis

Die folgende Übersicht zeigt die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises. Die Summen der einzelnen Positionen sind auf ganze Euro gerundet.

Position	Beschreibung	Summe in €
0812 (Beschäftigte E12-E15)	Gehälter der Projektmitarbeiter	191.689
0831 (Gegenstände < 800 €)	Kleiner Qualitäts-Messgeräte	1.810
0838 (Verbrauchsmaterial)	Laborbedarf, Obst und Gemüse	2.536
0850 (Gegenstände > 800)	Laborgeräte: Titrator und Feuchtebestimmer	4.635
0844 (Dienstreisen)	Präsentationen von FreshRegio	711
	Summe:	**201.381**

4.2. Notwendigkeit und Angemessenheit geleisteter Projektarbeit

Obwohl Ansätze in Bezug auf einige Technologien in FreshRegio existierten, waren umfangreiche Arbeiten notwendig, jene Technologien bis zur - auch wenn in manchen Fällen nur bedingten - Einsatzfähigkeit weiterzuentwickeln.

Insbesondere wurden anfängliche Hürden im Bereich der VNT-Entwicklung genommen, um die neue Sensorgeneration produktiv einzusetzen. Diese wurde bei der Planung des Projekts ausgewählt, um durch die geringeren Kosten der Technologie zum Durchbruch zu verhelfen. Letztendlich wurden Geräte gebaut, die im Stande waren, Daten via die FreshRegio-App an die FreshRegio-Cloud zu senden. Zum besseren Verständnis der Arbeiten sei erwähnt, dass mit jeder Entwicklungsstufe auch Erhebungen von Trainingsdaten und Modellbildungen einhergehen. Diese nehmen Zeit in Anspruch.

Ebenfalls sei besonders die Pflege von Kontakten zu potenziellen Projektteilnehmern zu erwähnen. Diese Arbeiten sind zeitintensiv, jedoch häufig erfolglos.

Zeitintensiv und notwendig sind Suchen nach Fehlern bei der Entwicklung von Software und Schnittstellen.

4.3. Verwertbarkeit des Ergebnisses

Die Erfahrung zeigt, dass FreshRegio für den ursprünglichen Einsatzbereich, regionale LLK, ungeeignet ist, da dieser hauptsächlich auf Vertrauen zwischen den LLK-Partnern basiert und weniger auf Kontrolle und Messbarkeit. Das Alleinstellungsmerkmal in der regionalen LLK sind die Betriebe und der damit verbundene Ruf selbst. Die Erfahrung zeigt, dass Betriebe davon nicht abrücken wollen, auch der Handel sieht die Kommunikation von Qualitätsdaten nicht als Mehrwert. daher müsste der Wechsel vom Konsumenten getrieben werden.

Nichtsdestotrotz besteht die Möglichkeit FreshRegio und des Konzepts in einer anderen LLK, z.B. größer Betriebe mit anderem Marktsegment, zu erproben. Idealerweise müsste das Segment eine höhere Marge haben und von der Qualität des Produkts abhängig sein, so dass Konsumenten ein Interesse und Erzeuger oder Händler für die Mehrarbeit entschädigt werden. Sicherlich müssten Optimierungen und Anpassungen an den Technologien vorgenommen werden.

Nicht nur das Ensemble der FreshRegio-Technologien, sondern auch die einzelnen Bestandteile sind verwertbar. Die FreshRegio-Cloud wurde im Rahmen einer Infoveranstaltung am TCG vorgestellt und hat Interesse geweckt. Auf dieser Grundlage wurde eine weitere Anwendung diskutiert und letztendlich auch eine Projektvorschlag zur Förderung beim bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus vorgelegt. Bei dem Projektentwurf ging es um eine IT-Infrastruktur zur zentralen Erfassung von Daten, die im Rahmen von wissenschaftlichen Projekten im Bereich der Landwirtschaft erhoben werden. Auf diese Weise und mit entsprechenden KI-Tool versehen, könnten Bildungseinrichtungen von klar definierten Daten und Metadaten profitieren.

Ebenso ließe sich die FreshRegio-Cloud auch zur stichprobenartigen Überwachung von Cannabisprodukten vor Ort bei einer Kontrolle im öffentlichen Raum nutzen: Durch einen NIR-Schnelltest und die digital automatisierte Serialisierung der Proben, gekoppelt mit einer Vorgangsnummer der Polizei, könnte aufwendige Papierarbeit reduziert werden.

4.4. Bekannt gewordenen Fortschritte bei anderen Stellen

Keine

4.5. Veröffentlichungen

Als Konsequenz der Herausforderungen mit dem SSC und der generellen Datenknappheit im Projekt haben sich mehrere Ansätze und Verfahren entwickelt, die hohes wissenschaftliches Potential haben und im Rahmen der Publikation der wissenschaftlichen Ergebnisse und in weiteren Projekten genutzt werden kann und bereits wird. Aktuell sind daher zwei Veröffentlichungen in der Entstehung. Beide sind im Themenkreis der Chemometrie und Sensorik angesiedelt.