

## Sachbericht zum Verwendungsnachweis

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer IIS	Förderkennzeichen: 28DK107F20
Vorhabenbezeichnung:	PINOT - Projekt zur Entwicklung einer Künstlichen Intelligenz für oenologische Technologie - Teilprojekt F
Laufzeit des Vorhabens: 15.03.2021 bis 31.10.2024	
Berichtszeitraum: 15.03.2021 bis 31.10.2024	

### Teil I: Kurzbericht

Die **Aufgabe des Projekts PINOT** war es, die menschliche Sinneswahrnehmung von Wein mit Hilfe von künstlicher Intelligenz (KI) und auf Basis chemisch-analytischer Eigenschaften abzubilden. Bisher basierte die Qualitätssicherung von Wein auf bestimmten analytischen Merkmalen wie bspw. der Alkoholgehalt, die Säure- und Zuckerkonzentration sowie auf humansensorischen Sinneseindrücken wie Geschmack und Geruch, welche beim Menschen naturgemäß subjektiven Schwankungen unterliegen. Durch den Einsatz technischer Sensorsysteme werden diese Sinneswahrnehmungen objektivierbar und in reproduzierbare und zuverlässige Messwerte überführbar. Die Sensoren erfassen die für das Weinaroma relevanten Moleküle, die Signale in kalibrierte Werte und schließlich in menschliche Sprache umwandeln. Mittels humansensorischer Daten und KI werden die Sensorsignale in Termini übersetzt, die der humansensorischen Beschreibung von Wein entsprechen. Auf dieser Basis erhalten Winzer, Kellermeister und Weinhändler neuartige qualitätsrelevante und für die Weinauthentizität wichtige Informationen, die letztlich auch die Kaufentscheidung unterstützen. Eine Laborversion (stationär), eine semimobile Version und ein Handgerät wurden so umgesetzt, dass diese entweder in den Produktionsstätten oder auch in Labors flexibel einsetzbar sein und sich möglichst nahtlos in bestehende Prozesse integrieren lassen. Übergeordnetes Ziel des Projektes war es, künftig die Produktionskosten der Weinerzeugung zu reduzieren, die Fehlerquoten in der Produktion zu senken und die Produktqualität zu verbessern. Die technologischen Innovationen wurden sowohl im Labor als auch unter realen Bedingungen getestet, um künftigen, weiteren Forschungen und Optimierungen der Arbeitsprozesse den Weg zu ebnen.

Das Projekt PINOT baute auf dem **Stand der Technik und Wissenschaft** in den Bereichen Sensorik, Sensorsysteme und künstlicher Intelligenz auf, mit dem Ziel, die menschliche Wahrnehmung in der Weinsensorik nachzubilden. Die Weinsensorik wird traditionell durch

chemische Analysen (z. B. GC-MS) und humansensorische Tests durchgeführt, die jedoch zeit- und kostenintensiv sowie teilweise subjektiv sind. Ergänzend wurden Technologien wie „künstliche Nasen“ und „künstliche Zungen“ untersucht, die jedoch technische Einschränkungen bei der Trennung und Identifikation einzelner Aromakomponenten aufweisen. Fortschritte in den Bereichen miniaturisierter Sensoren, optoelektronische Nasen und KI-Methoden ermöglichten neue Ansätze für mobile Anwendungen und zur Auswertung komplexer multidimensionaler Datensätze, die von chemischen und sensorischen Systemen generiert wurden. Im Projekt PINOT wurde zunächst untersucht, wie sensorische Daten verständlich und praxisrelevant dokumentiert sowie präzise Sensoren entwickelt und effizient in mobilen sowie Laborgeräten eingesetzt werden können. Weitere Fokuspunkte waren die Aufbereitung der Sensordaten für KI-Trainingszwecke sowie die Übersetzung in Handlungsempfehlungen. Die entwickelten Teilkomponenten wurden in funktionale Systeme überführt und validiert.

PINOT wurde zunächst vom 15.03.2021 bis 14.03.2024 bewilligt. Es folgte eine **Verlängerung des Projekts** bis zum 30.10.2024, insbes. aufgrund nicht beeinflussbarer und nicht absehbarer äußerer Umstände wie der Corona-Pandemie und dem Ukraine-Krieg. Ein weiterer Grund war das Ausscheiden eines Konsortialpartners, dessen Aufgaben übernommen werden mussten. Diese Umstände führten zu Verzögerungen im Projektablauf. Insgesamt wurden dennoch alle Arbeitspakete erfolgreich umgesetzt und die Meilensteine vollständig erreicht.

Als **wesentliches Ergebnis im Projekt** zur Entwicklung künstlicher Intelligenz für oenologische Technologie (PINOT) wurden KI-unterstützte Sensorsysteme zur Bestimmung qualitätsrelevanter Parameter in der Weinherstellung und Qualitätsbestimmung von Wein entwickelt.

Die **gemeinsamen Arbeiten** in PINOT zeigten auf, welche Chancen und Grenzen im Einsatz von KI in der Weinbereitung, im Handel und im Vertrieb liegen. Die Anforderungsanalyse zeigt, dass der Fokus auf das Weinaroma im Kontext des Qualitätsverständnisses zielführend ist, ebenso wie die Objektivierung aromaanalytischer Prozesse mittels KI-gestützter Sensorik. Aus den identifizierten Anwendungsbereichen und Anforderungen wurde ein Kriterienkatalog zur Umsetzung und Implementierung der drei Forschungs-Prototypen abgeleitet. In der Weinstudie wurden wertvolle Kenntnisse über den Zusammenhang zwischen humansensorischen Beurteilungen und Weininhaltsstoffen gewonnen, sowie neue Zusammenhänge zwischen oenologischen Produktionsfaktoren, Weininhaltsstoffen und humansensorischen Beurteilungen ermittelt. Dies war Grundlage für die sensortechnischen Entwicklungsarbeiten. Die Machbarkeitsstudie (AP 8) zeigte, dass die Nutzung der erarbeiteten Technologie in der deutschen Wirtschaft möglich ist und zu Effizienzgewinnen beitragen kann.

## Sachbericht zum Verwendungsnachweis

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer IIS	Förderkennzeichen: 28DK107F20
Vorhabenbezeichnung:	PINOT - Projekt zur Entwicklung einer Künstlichen Intelligenz für oenologische Technologie - Teilprojekt F
Laufzeit des Vorhabens: 15.03.2021 bis 31.10.2024	
Berichtszeitraum: 15.03.2021 bis 31.10.2024	

### Teil II: Durchgeführte Arbeiten

#### AP 1: Projektmanagement und agile Entwicklung

Lead: DLR Rheinpfalz, Weincampus Neustadt

In diesem Arbeitspaket wurden die Anforderungen an die Forschungs-Prototypen über einen agil und professionell begleiteten Entwicklungsprozess iterativ angepasst und fortlaufend in die Forschungs-Prototypen überführt. Des Weiteren wurden die unterschiedlichen Maßnahmen zur Öffentlichkeitsarbeit und zur Kommunikation zentralisiert und aufeinander abgestimmt. Damit die Projektpartner ihren Fokus auf die technischen Arbeitspakete legen konnten, wurden für das Projektmanagement, das Management von geistigem Eigentum sowie die Durchführung von Ideation-Workshops die Atrineo AG als externe Partner in das Projekt einbezogen.

Über den gesamten Projektzeitraum überwachte und leitete das **AP 1.1** (Projektmanagement) den Fortschritt der verschiedenen Arbeitspakete. Hierbei lag der Fokus auf der Koordination der Projektpartner und der Ausrichtung aller Beteiligten auf die Erreichung der Gesamtprojektziele. Zur effektiven Kommunikation und Abstimmung plante das Projektmanagement neben den infrastrukturellen Einrichtungen regelmäßige Statusmeetings per Videocall mit allen Partnern, in denen aktuelle Entwicklungen und Aufgaben innerhalb des PINOT-Konsortiums besprochen und der Fortschritt der einzelnen Arbeitspakete abgestimmt wurde. Spezifische Arbeitsgruppen zu bestimmten Themenbereichen wurden ebenfalls koordiniert und die erzielten Ergebnisse wurden für alle Partner zugänglich gemacht. Weiterhin wurden acht ganztägige Konsortialtreffen mit allen Partnern in Präsenz durchgeführt.

Das Projektmanagement arbeitete mit unterschiedlichen Methoden: neben den infrastrukturellen Plattformen und Datentransfereinrichtungen (Datashare, etc.) fanden online drei- bzw.

vierwöchentliche Statusmeetings (Videocalls) aller Konsortialpartner statt. In den Statusmeetings besprach das Konsortium die aktuellen Entwicklungen und Aufgaben und stimmte den Fortschritt der Arbeitspakete ab. Zusätzlich zu den Statusmeetings wurden themenspezifische Arbeitsgruppen koordiniert und die Ergebnisse dem Konsortium zugänglich gemacht. Fraunhofer IIS war in allen Konsortialtreffen und Online-Meetings vertreten. Darüber hinaus fanden zahlreiche, individuelle arbeitspaketspezifische Online-Meetings zwischen Fraunhofer IIS und einzelnen Konsortialpartnern statt.

Zum Zweck der internen Projektsteuerung und für die Öffentlichkeitsarbeit wurden vom Projektmanagement Grafiken entworfen und mit den Projektpartnern abgestimmt, die die Zusammenarbeit des Konsortiums (Abbildung 1) und die Integration der Entwicklungen in der Wertschöpfung Wein (Abbildung 2) veranschaulichen. Die Inhalte der Grafiken greifen ausschließlich die Inhalte des stattgegebenen Projektantrags auf. So wurde der duale Wirkkomplex der KI verdeutlicht, der sich auf zwei Bereiche erstreckt, die Fundament und Dach der Arbeiten im Konsortium bilden. Die KI-basierten Arbeiten im Rahmen der Sensorik werden zum besseren Verständnis als Hardware-nahe KI und die Arbeiten im Rahmen der Verknüpfung von Metadaten als Wein-nahe KI bezeichnet. Die Arbeiten lassen sich entsprechend dem Antrag direkt zuordnen und werden insbesondere in AP 6 berichtend diskutiert.

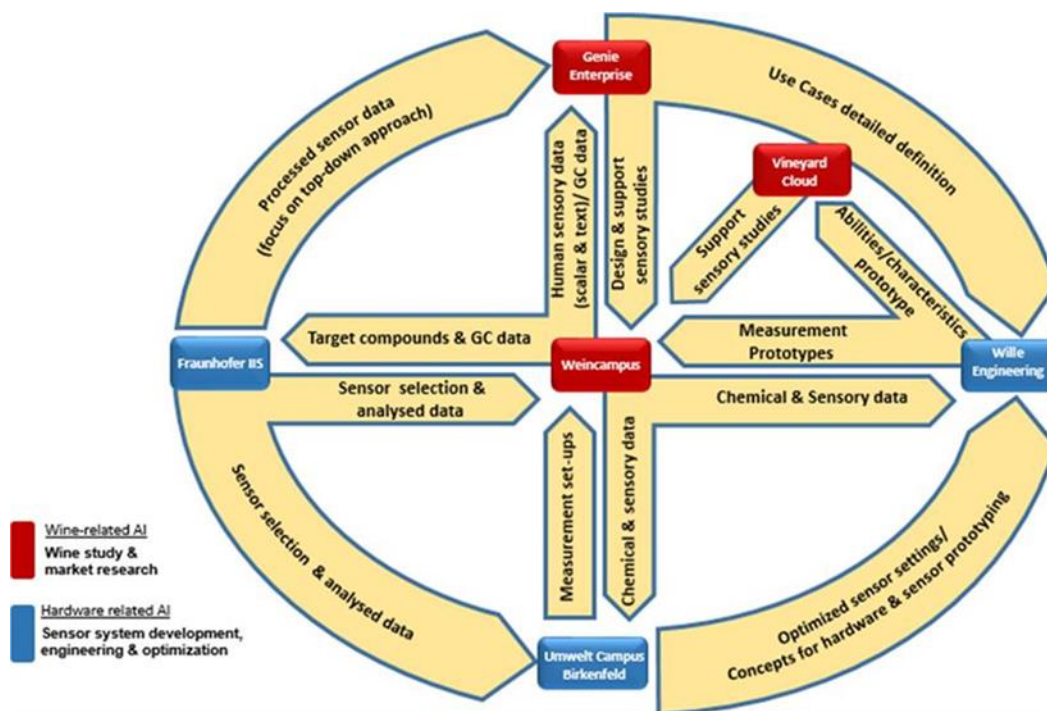


Abbildung 1: Zusammenarbeit des PINOT-Konsortiums mit Detaildarstellung der Informationsflüsse zwischen den Projektpartnern.

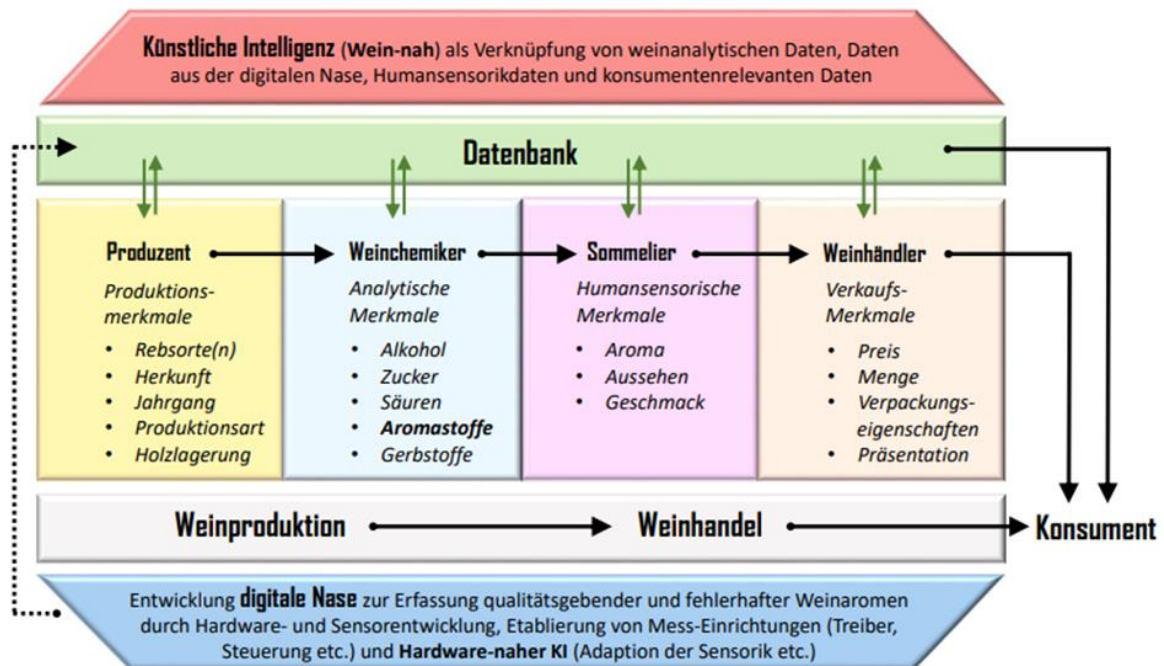


Abbildung 2: Dualer Wirkkomplex der im Projekt PINOT zu entwickelnden KI entlang der Wertschöpfungskette Wein.

Im Rahmen von **AP 1.2** (Flankierende Analysen) wurden über die gesamte Projektlaufzeit kontinuierliche Analysen zu Trends in primären und sekundären Anwendungsfeldern sowie Wettbewerbsbeobachtung und das Screening auf potenzielle funktional äquivalente Konkurrenzlösungen durchgeführt. Die im Screening identifizierten Hits wurden näher überprüft und als nicht (neuheits-)schädlich eingestuft. Die Recherche zu Normen, Industriestandards und regulatorischen Rahmenbedingungen floss gezielt in die Weiterführung der technischen Entwicklungen ein.

Im Rahmen der Tätigkeiten zu **AP 1.3** (Stakeholder Engagement und Öffentlichkeitsarbeit) wurden PINOT und die dazugehörige Technologie sowohl bei Fachleuten aus dem Netzwerk der Weinproduktion und des -handels, Weinexperten und Sommeliers sowie der breiten Öffentlichkeit bekannt gemacht. Zu diesem Zweck wurde gemeinsam mit der Atrineo AG ein Team für die öffentlichkeitswirksamen Maßnahmen gebildet, um Materialien für die Öffentlichkeitsarbeit zu erstellen und zu gestalten, darunter Logos, Flyer, Internetseiten und Präsentationsfolien.

Für die öffentliche Präsentation der Projekterfolge wurde bereits in einer frühen Projektphase eine professionelle Projektwebseite eingerichtet. Die Seite [www.pinot-ai.com](http://www.pinot-ai.com) ging im Mai 2022 online und informiert neben der generellen Projektübersicht auch über Entwicklungen entlang der Projektlaufzeit, wie z.B. Fortschritte in der Datengenerierung, Messeaktivitäten, themenbezogene Veranstaltungen, Panel-Analysen oder auch Forschungs-Erkenntnisse.

Ein Logo mit Claim wurde entwickelt (siehe rechts) und zudem wurde das Projekt PINOT auf den individuellen Websites der Konsortialpartner vorgestellt, z.B. bei Fraunhofer IIS:



<https://www.iis.fraunhofer.de/de/ff/sse/sensor-solutions/gassensor-solutions/projekt-pinot.html>

Darüber hinaus wurde PINOT auch verstärkt in der Berichterstattung der Tages- und Fachpresse gewürdigt, etwa durch Zeitungs- und Fachmagazinartikel, TV- und Radio-Beiträge oder auch über Online-Artikel und Social Media Kanäle (Tabelle 1). Fraunhofer IIS hat z.B. zum Thema „Digitizing Wine Tasting with Cantilever PAS & AI“ publiziert.

*Tabelle 1: Veröffentlichungen im Projekt PINOT*

13.06.2021	“Südpfalzer wollen künstliche Intelligenz im Weinbau einsetzen“ <i>Die Rheinpfalz</i>
28.09.2021	“Maschinen als Weinkenner der Zukunft“ <i>Die Rheinpfalz</i>
19.11.2021	“Künstliche Intelligenz im Weinbau“ <i>OnetoOne Online</i>
21.07.2022	“Neustadt - Computer soll Weine am Geruch überprüfen“ <i>SWRaktuell (SWR)</i>
19.08.2022	Herbert, Anke “Schnupperprobe: Wie riecht animalisch?“ <i>Die Rheinpfalz</i>
05.09.2022	“Einsatz von KI in der Lebensmittelwirtschaft“ <i>Food-Processing Initiative e.V.</i>
01.10.2022	Embacher, Alexandra “KI-Sommelier: Cheers Künstliche Intelligenz!“ <i>Falstaff Profi</i>
15.11.2022	“Weinroboter erschnüffelt Aromen.“ <i>1730 live (Sat. 1)</i> <a href="https://www.1730live.de/weinroboter-erschnueffelt-aromen/">https://www.1730live.de/weinroboter-erschnueffelt-aromen/</a>
19.11.2022	“Kann eine digitale Nase Weinfehler erschnüffeln?“ <i>P.M. Wissen (Servus TV)</i>
01.04.2023	“Unterstützung für feine Nasen“ <i>Sonderheft InnoVino (Bayer) Beitrag (Titel-Artikel)</i>
12.06.2023	Nguyen T., Zimmermann D., Durner D “Ein Trainingsgelände für eine künstliche Intelligenz“ S. 67 – 69; DLR RHEINPFALZ 2023 IM BLICK
15.09.2023	Franz, Gerald “Wenn die KI am Weinglas schnüffelt“ <i>DER SPIEGEL (online)</i>
01.03.2024	Pigott S., Redes Sidore P. “KI & Robotics: Im Weinberg angekommen - Wie technische Innovationen die traditionsbestimmte Welt des Weins verändern“ <i>ProWein Magazin (online)</i>

01.04.2024	"Wine meets AI - Die Weinwelt ist nicht genug" <i>Deutsches Weinmagazin (online)</i>
04.04.2024	Demirci, Sabine "KI als Sommelier: Kommt die digitale Nase?" <i>Die Rheinpfalz</i>
04/2024	"Wine meets AI - Die Weinwelt ist nicht genug" <i>Meininger Online</i>
04/2024	Reinhard Pohorec "Wie ein großer Organismus" <i>Mixology Magazin für Barkultur</i>
26.04.2024	"Künstliche Intelligenz im Weinkeller" <i>SWR Aktuell Rheinland-Pfalz (SWR RP)</i>
25.05.2024	Demirci, Sabine "Drohnen im Weinberg und digitale Nasen" <i>Die Rheinpfalz</i>
16.08.2024	Schonschek, Christine "KI im Weinbau: Vom Weinberg bis zum Marketing" <i>Rebe&amp;Wein (online)</i>
23.09.2024	Adams, Annika "Digitizing Wine Tasting with Cantilever PAS & AI" <i>Mettler Toledo</i>
25.05.2024	Weincampus Neustadt "Die Weinwelt ist nicht genug" <i>Das deutsche Weinmagazin</i>
26.08.2024	Fischer, Stefan "Mit KI im Wingert und am Weinglas" <i>Die Rheinpfalz</i>
05/2024	Huber, Janina "Die Zukunft im Weinglas" <i>VielPfalz Genießermagazin</i>

Weiterhin fanden diverse Vorstellungen des Projektes, entweder als Einzelpräsentation oder im Rahmen von Gesamtvorträgen, statt. Das Projekt PINOT wurde im Rahmen einer größeren Veranstaltung erstmals auf den Bonner Ernährungstagen (31.08.-01.09.2022) vorgestellt. Dies diente der öffentlichen Präsentation der bis dahin erreichten Projekterfolge auf einer professionellen Plattform. Weitere Präsentationen der Projekterfolge im Jahr 2022 waren z.B. Vorträge zum Thema „Digitalisierung/KI im Weinbau“ am auf den Weinbautagen Mosel und am beim Fachseminar Oenologie des DLR Rheinpfalz, eine Online-Veranstaltung von IDS VisionPeer zu KI und Sensor-Technik, Netzwerk-Veranstaltung mit KI-Anwendern im ZIM-Netzwerk KI-Map sowie zwei Panel-Analysen mit Projektvorstellung vor je 30 Weinexperten am Weincampus Neustadt.

Im Jahr 2023 wurde das Projekt PINOT auf der Weinhandelsmesse ProWein in Düsseldorf vom (19.-21.03.2023) auf dem Stand des Weincampus Neustadt vorgestellt. Die bis dahin entwickelten Prototypen wurden bei relevanten Akteuren der Weinproduktion und des -handels bekannt gemacht. Umfangreiche Kontakte wurden geknüpft, u.a. mit dem *Institut für Lebensmittelchemie und Arzneimittelprüfung* in Mainz, mit Redakteuren vom *Weinmagazin*, freien Journalisten, Winzern und ausländischen Reportern. Mittels Verteilung von eigens gestalteten Postkarten versehen mit Verlinkung zu einem Fragebogen konnte wertvoller Input der Zielgruppe generiert werden. Im Fachvortrag "Digitale Nase - testen Sie Ihr sensorisches Talent",

einer Live-Demonstration, (Semimobile Version inkl. KI) wurde bei einer moderierten Verkostung der subjektive Geruchsschwellenwert im Vergleich zur digitalen Nase getestet. Ende 2023 wurde auch ein zweiteiliger, 6-minütiger Kurzfilm/Imagefilm namens „Ein Quantum H2S“ produziert. An einen James-Bond-Filmtrailer erinnernd, wird auf einprägsame Weise der Stand der Forschung vermittelt. Im zweiten Teil des Videos stellen alle Projektpartner ihren Part im Projekt vor: <https://www.youtube.com/watch?v=RAjdnBroKJA>

Am 23. April 2024 wurde der Film am DLR Rheinpfalz in Mußbach im Rahmen der Veranstaltung am Weincampus Neustadt „Die Weinwelt ist nicht genug“ erstmalig ca. 100 geladenen Gästen vorgestellt. Im besonderen Ambiente des Kelterhauses des Staatsweinguts Johannitergut hielten Janina Huber, eine bekannte pfälzische Weinexpertin und Alisa Türck, eine anerkannte Digitalisierungsexpertin ihre anschaulichen und durchaus provokanten Vorträge über das Projekt PINOT und die Zukunft des Weinbaus. Im Anschluss wurde der Film auf unserer Homepage platziert und in verschiedenen Social Media Kanälen der allgemeinen Öffentlichkeit präsentiert.

Neben den Arbeiten im Projekt selbst, hat das Projekt PINOT sich auch im Netzwerkprojekt X-KIT engagiert. Ein Austausch über die verschiedenen Projekte hinweg wurde durch Online-Workshops und Präsenzmeetings realisiert, wobei ein thematischer Austausch interdisziplinär über Cluster erreicht wurde. Eine Anbindung an das Ökosystem von Gaia-X war vorgesehen und wurde partiell geprüft. Bedingt durch die Einschränkungen durch die Corona-Pandemie und den Ukraine-Krieg konnte diese allerdings nicht wie geplant umgesetzt werden.

Durch diese zahlreichen öffentlichkeitswirksamen Maßnahmen in **AP 1.3** (Stakeholder Engagement und Öffentlichkeitsarbeit) ist PINOT eine breite Sensibilisierung für das Thema gelungen, zu denen Fraunhofer IIS stets aktiv beigetragen hat.

In **AP 1.4 (Management von geistigem Eigentum)** erfolgten Prior-Art-Analysen, welche die systematische Untersuchung und Dokumentation bereits vorhandener Technologien, Veröffentlichungen, Patente oder sonstiger Informationsquellen (etwa Firmenhomepages) umfassten, um so grundlegend eine Abgrenzbarkeit der Erfindungen aus dem PINOT-Projekt im Vergleich zum Stand der Technik festzustellen und bei der Entscheidungsfindung für Patentanmeldungen zu unterstützen. Durch den Umwelt-Campus erfolgte eine und durch das Fraunhofer IIS zwei Patentanmeldungen zu Entwicklungen entlang der Teilprojekte.

Die Kommunikation in **AP 1.5** (Kommunikation mit dem BLE und Berichtswesen) mit dem Projektträger war im gesamten Projektverlauf von zentraler Bedeutung und erfolgte regelmäßig, um den Fortschritt abzustimmen und notwendige Anpassungen zeitnah umzusetzen. Durch

kontinuierliche Berichterstattung und gemeinsame Abstimmungsgespräche konnten wichtige Entscheidungen effizient getroffen werden. Zu Beginn des Jahres 2022 wurde die Atrineo AG unterstützend für das Berichtsmanagement hinzugezogen. Für die erfolgreiche Umsetzung der finalen Projektarbeiten wurde mit der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) eine Projektverlängerung bis zum 31. Oktober 2024 abgestimmt. Die Vorbereitungen sämtlicher Berichte wurden beim DLR Rheinlandpalz kanalisiert und ausgewertet. Fragestellungen und allgemeine Kommunikation mit der BLE erfolgten über den Konsortialführer. Der DLR Rheinlandpalz überwachte, zusammen mit Atrineo AG, die Abgabefristen und hat die Verantwortlichkeit der Koordination der Kommunikation mit den Partnern und der BLE professionell und zentralisiert wahrgenommen.

-----

## **AP 2: Anforderungsanalyse**

Lead: Genie Enterprise

In diesem Arbeitspaket wurden die Anforderungen unterschiedlicher potenzieller Anwendergruppen (wie Winzer, Kellermeister, Weinhändler oder Sommeliers) aufgenommen, analysiert und spezifische Ableitungen für die technische und organisatorische Umsetzung abgeleitet. Daraus ergaben sich die Spezifikationen der weiteren Arbeitspakete. Zur Unterstützung der Organisation und Durchführung der Anforderungsanalyse wurde die Atrineo AG eingebunden. In Kooperation von DLR und Genie Enterprise wurden in **AP 2.1 – AP 2.7** dazu quantitative und qualitative Befragungen mit potenziellen Nutzern und ExpertInnen aus der Weinbranche und dem Weinhandel durchgeführt. In den quantitativen Befragungen konnten zwei Segmente potenzieller Nutzer identifiziert werden: Winzer und Kellermeister auf der einen Seite, Weinhändler und Sommeliers auf der anderen Seite. In den qualitativen Befragungen konnte diese Segmentierung bestätigt, sowie die Motive und Anforderungen von potenziellen Nutzern tiefgehend analysiert werden. Beide Gruppen haben Bedarf an einem System signalisiert, das objektive Informationen über das Aroma bzw. die Qualität und Authentizität von Wein gibt.

Es hat sich gezeigt, dass Winzer und Kellermeister insbesondere Interesse an einem **Monitoring-System für Gär- und Reifungsprozesse** haben (Anwendungsfall 1), um darauf aufbauend Steuer- und Regelprozesse implementieren zu können. Weinhändler und Sommeliers und einzelne Winzer sind an einer Datenbank interessiert, die neben der **Identifikation von Aroma** auch den Vergleich mit anderen Weinen erlaubt (Anwendungsfall 2).

Am Fraunhofer IIS wurde bzgl. der Sensorauswahl für das Monitoring-System für Gär- und Reifungsprozesse (Anwendungsfall 1) im Rahmen von **AP4.1** (Sensorauswahl) und **AP4.2** (Evaluierung und Validierung) folgende Anforderungen an die Sensoreigenschaften erarbeitet: Die Leistungsaufnahme der Sensoren sollte möglichst gering sein. Der Preis darf bei hohen Stückzahlen nur wenige Euro betragen ( $\leq 10\text{€}$ ). Die Sensoren müssen einen hohen technologischen Reifegrad haben und die Baugröße sollte möglichst kompakt sein. Die Gassensoren müssen falschalmsicher sein und eine hohe Messgenauigkeit ( $\pm 8\%$  des Messwertes) sowie eine geringe Langzeitdrift aufweisen.

Für die Analyse von flüchtigen Substanzen und Identifikation komplexer Aromen in fertigen Weinen (Anwendungsfall 2) im Rahmen von **AP4.3** (Machbarkeitsstudie Multi-Gas-Spektrometer) wurden folgende Kriterien erarbeitet: Das System sollte mobil sein (Handgerät), mehrere Zielsubstanzen gleichzeitig und selektiv detektieren können und preislich deutlich unter den Kosten aktueller Laborgeräte wie auch Pocket-Size Spektrometer liegen.

-----

### **AP 3: Software-Plattform**

Lead: Umwelt Campus Birkenfeld

Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurde Leitung des Umwelt-Campus Birkenfeld eine Software-Plattform mit Programmierumgebung auf die Anforderungen des Projektes hin zugeschnitten, so dass die Unterstützung der neuen Sensoren sowie das Sammeln und Dokumentieren der relevanten Daten gewährleistet ist. Fraunhofer IIS hat den Partnern hier beratend zur Seite gestanden, insbes. bei technischen Fragen bzgl. einzelner Sensoren.

-----

### **AP 4: Sensorentwicklung**

Lead: Fraunhofer IIS

In diesem Arbeitspaket wurden geeignete Sensoren für die in AP 5 entwickelten Forschungs-Prototypen (Handgerät, semimobile Version, Laborversion) identifiziert, evaluiert und validiert. Fraunhofer IIS hatte dabei den Lead in den **AP 4.1** (Selektion von verfügbaren Sensoren), **AP 4.2** (Evaluierung und Validierung) und **AP 4.3**. (Machbarkeitsstudie Multi-Gas-Spektrometer).

#### AP 4.1: Selektion von verfügbaren Sensoren

Zur Erfüllung der in der Anforderungsanalyse (AP 2) erarbeiteten Spezifikationen bzgl. eines Monitoring-System für Gärprozesse (Anwendungsfall 1) sind folgende Sensorprinzipien geeignet: **Metalloxidsensoren** (MOX), **Wärmeleitfähigkeitsdetektoren** (WLD), **photoakustische Sensoren** (PAS), **elektrochemische Sensoren** (EC) und **Infrarot-Sensoren** (IR). Die bei Fraunhofer IIS durchgeführten Recherchen haben ergeben, dass nach Herstellerangaben zur Detektion von Fehlgerüchen im Gärprozess verschiedene Sensoren am Markt verfügbar sind. Diese sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Zur Kompensation von Querempfindlichkeiten auf Feuchte und Temperatur wird zusätzlich ein T/RH-Sensor ausgewählt (Sensirion SHT35).

*Tabelle 2: Liste der verfügbaren Sensoren zur Detektion von Fehlgerüchen*

Zielsubstanz	Hersteller	Sensor	Messbereich	Technologie
CO <sub>2</sub>	Senseair	Sunrise	400...5000ppm	IR
CO <sub>2</sub>	Neroxis	MTCS 2601	0...100vol%	WLD
CO <sub>2</sub>	Sensirion	SCD41	400...5000ppm	PAS
VOC	Bosch Sensortec	BME688	ppb...ppm	MOX
SO <sub>2</sub>	EC Sense	ES1-SO <sub>2</sub> -50	0 ...50ppm	EC
SO <sub>2</sub>	Alphasense	SO <sub>2</sub> -B4	0...100ppm	EC
H <sub>2</sub> S	EC Sense	ES1-H <sub>2</sub> S-2	0...2ppm	EC
H <sub>2</sub> S	Alphasense	H <sub>2</sub> S-B4	0...100ppm	EC
Essigsäure	Membrapor	Acid/C-100	0...100ppm	EC
Ethanol	Membrapor	Alc/C-100	0...100ppm	EC
Aldehyde	EC Sense	ES1-HCHO-5	0...5ppm	EC
Methanethiol	EC Sense	ES1-CH <sub>4</sub> S-100	0...100ppm	EC

Für die Evaluierung und Validierung der ausgewählten Sensoren in AP 4.2 wurde von Fraunhofer IIS ein Multi-Sensor-Array aufgebaut. Dabei wurden auf Basis von Vorarbeiten in anderen Forschungsprojekten die in Tabelle 2 aufgeführten Gassensoren in mehrere unterschiedliche Messkammern integriert und so ein präzises, modulares und zuverlässiges Sensorsystem zum

Monitoring im Gärprozess realisiert (Klick-Boards, siehe Abbildung 3). Dazu wurden folgende Schritte durchgeführt:

- Hardwareentwicklung (Konzept, Schaltpläne, Platinenlayout)
- Plug&Play Dashboard (Python Application)
- Design von PTFE-Messkammern (chemisch-inert)
- Messaufbau als Demonstrator

Dieses Setup wurde anschließend für die Datengewinnung kalibriert und einsatzfähig gemacht. Die hier geleisteten Arbeiten sind im weiteren Projektverlauf zudem als Input in die Arbeiten zur Entwicklung von Hardware-Prototypen in AP 5 eingeflossen.



Abbildung 3: Die Control Unit verbindet die Klickboards mit einem Computer zum Host (links). Vorderseite eines Klickboards mit Sensor (Mitte), Rückseite mit diskreten Bauteilen (rechts).

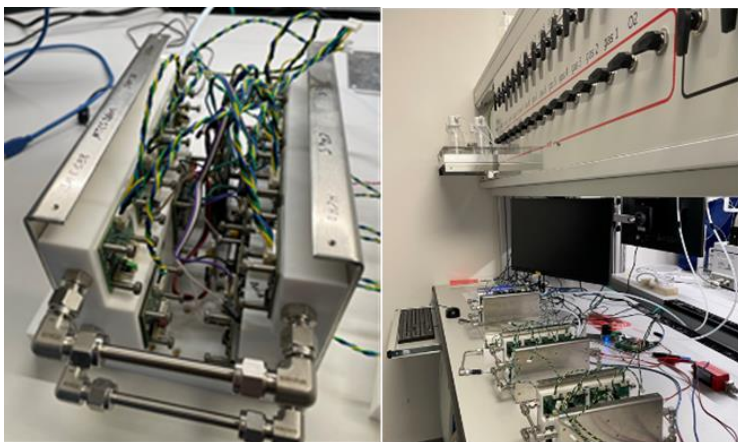
#### AP 4.2: Evaluierung und Validierung

Zur Evaluierung und Validierung der ausgewählten Sensoren mit dem in AP 4.1 aufgebauten Multi-Sensor-Array wurde bei Fraunhofer IIS ein entsprechendes Prüfkonzept erstellt. Das Prüfkonzept beschreibt, wie sowohl die Messgenauigkeit der ausgewählten Sensoren sowie deren Querempfindlichkeiten, also Störanfälligkeiten auf andere Gase, systematisch getestet werden können. Die Querempfindlichkeiten wurde für die in diesem Anwendungsfall zu erwartenden Störgrößen Feuchte, Ethanol, Kohlendioxid, Schwefeldioxid und Essigsäure geprüft. Für die Durchführung der Messungen waren im Prüfkonzept zwei Schritte vorgesehen:

- Im **ersten Schritt** wurden die zu untersuchenden Störgrößen zunächst isoliert betrachtet. Als neutrales Medium wurde synthetische Luft (80% N<sub>2</sub>, 20% O<sub>2</sub>) mit gestaffelten

Konzentrationen der jeweiligen Störgröße beaufschlagt. So konnte ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Sensorsignal und Einfluss der Störgröße aufgezeigt werden.

- Im **zweiten Schritt** wurden Messungen unter realen Bedingungen an Modellweinen, bestehend aus Wasser, Ethanol, Weinsäure sowie unterschiedlichen Konzentrationen eines Analyts wie bspw. Schwefeldioxid, sowie einem Rotwein durchgeführt. Der Headspace bzw. die Gasphase über der Weinprobe wurde mit synthetischer Luft als Trägergas beprobt und die angeschlossenen Sensoren damit beaufschlagt.



Die Messungen wurden am Gasmessplatz des Fraunhofer IIS durchgeführt (Abbildung 4). Dieser wurde gezielt für die Durchführung von solchen Evaluierungsstudien erweitert. Die Beaufschlagung erfolgte jeweils für fünf Minuten. Die Erholphase zwischen den Messungen betrug zehn Minuten.

Abbildung 4: Multi-Sensor-Array (links). Gasmessplatz (rechts)

Die erzielten Messergebnisse wurden aufbereitet und inhaltlich bewertet, wobei auch die mögliche Kompensation von Querempfindlichkeiten mit Hilfe von geeigneten Algorithmen geprüft wurde. Die Ergebnisse zeigen, dass einige der Sensoren in der Praxis für die Detektion von Fehleraromen in Wein **ungeeignet** sind:

- Bosch BME688 (VOC): Störanfällig auf Ethanol (nicht kompensierbar).
- ScioSense ENS160 (VOC): Störanfällig auf Ethanol (nicht kompensierbar).
- Alphasense H2S-B4 (H2S): Störanfällig auf Ethanol (nicht kompensierbar).
- EC Sense ES1-HCHO-5 (Aldehyde): Störanfällig auf Ethanol (nicht kompensierbar).
- Membrapor Alc/C-100 (Ethanol): Erholungsphase zwischen zwei Messungen reicht nicht aus um das Sensorsignal wieder auf die Basislinie zurückzuführen. Dieser Effekt ist abhängig von der Konzentration. Die Messungen würden für den Anwendungsfall, das heißt für die hohen Ethanol Konzentrationen im Wein, zu lange dauern (>10 Min).
- Alphasense SO2-B4 (SO2): Lange Erholungsphase zwischen zwei Messungen (>10 Min).

- Membrapor Acid/C-100 (Acetic Acid): Sensorsignal nicht stabil.
- Sensirion SCD 41 (CO<sub>2</sub>): Lange Einschwingphase nach dem Einschalten (mehrere Tage, automatic baseline offset correction algorithm), Sensor ist auf Dauerbetrieb ausgelegt.
- ION Science 10,6eV (Ethyl Acetate, Ethanol, CH<sub>4</sub>S): Im Vergleich sehr teuer (ca. 1TEUR).

Andere Sensoren hingegen zeigten sich auf Basis der durchgeführten Messungen **geeignet** für den Anwendungsfall und sollten entsprechende Beachtung finden:

- Sensirion SHT35 (TR/H): Sensor läuft stabil.
- Senseair Sunrise (CO<sub>2</sub>): Sensor läuft stabil.
- Neroxis MTCS 2601 (CO<sub>2</sub>): Sensor ist stör anfällig auf Feuchte, diese ist jedoch kompensierbar.
- EC Sense ES1-SO<sub>2</sub>-50 (SO<sub>2</sub>): Sensor läuft mit einem extra angepasstem Messbereich (0-5 ppm) stabil.
- EC Sense ES1-H<sub>2</sub>S-2 (H<sub>2</sub>S): Sensor läuft stabil.
- EC Sense ES1-CH<sub>4</sub>S-100 (Methanethiol): Sensor läuft stabil.

Diese Ergebnisse sind im weiteren Projektverlauf insbes. als Input in die Arbeiten zur Entwicklung von Hardware-Prototypen in AP 5 eingeflossen. Das in AP 4 aufgebaute Muti-Sensor-Array wurde für orientierende Messungen sowie als Demonstrator zur Verfügung gestellt.

#### **AP 4.3: Machbarkeitsstudie Multi-Gas-Spektrometer**

Im Rahmen der Arbeiten zum Projekt PINOT ist die Erkenntnis gereift, dass zur **Analyse von komplexen Weinaromen** (Anwendungsfall 2) keine geeignete Messtechnik entsprechend den in AP 2 definierten Anforderungen am Markt verfügbar ist. Das Ziel im AP 4.3 war die Machbarkeit für ein modulares Sensorsystem zu prüfen, das bei einem geringeren Preis mindestens eine vergleichbare Performance wie ein Pocket-sized Spektrometer aufweist (Abbildung 5). Mit Ausnahme von homonuklearen, zweiatomigen Molekülen (z.B. H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>) besitzt fast jeder Stoff einen optischen Fingerabdruck, der mit dem Sensor gemessen werden kann (Abbildung 6).

Abbildung 5: Geplante Marktpositionierung der Sensorneuentwicklung

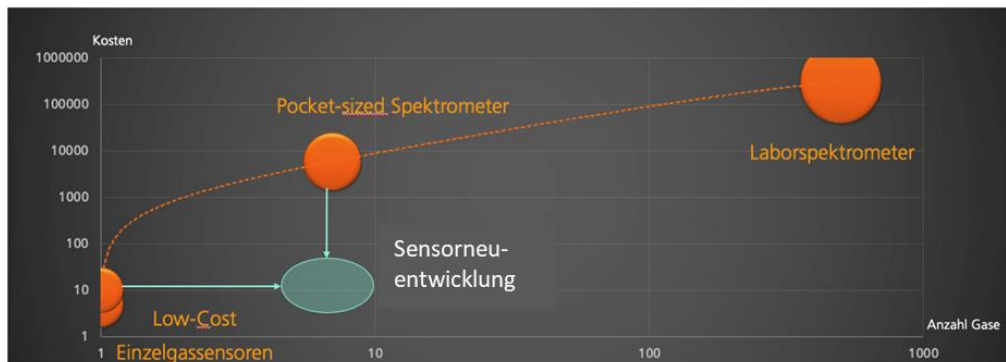
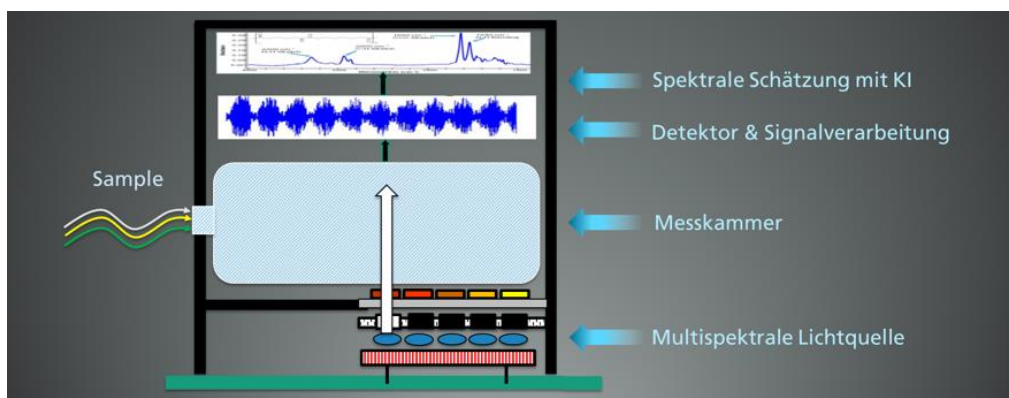


Abbildung 6: Aufbau Sensorneuentwicklung



Auf der multispektralen Lichtquelle können mehr als 1.000 Filter platziert und einzeln angesteuert werden. Dies ermöglicht die Anpassung der Lichtquelle zur Analyse von flüchtigen Substanzen und der Identifikation komplexer Aromen in fertigen Weinen. Die zu messende Zielsubstanz gelangt dabei über Diffusion in die Messkammer. Als Detektor können bspw. Drucksensoren (photoakustische Sensorik), aber auch pyroelektrische Sensoren, Mikrobolometer oder PdSe (Bleiselenid) Sensoren verwendet werden. Aus den Messdaten wird letztlich zur Bestimmung des optischen Fingerprints mit Hilfe von KI ein Spektrum berechnet.

Der Fokus der Arbeiten am Fraunhofer IIS lag zunächst auf der Entwicklung einer Multispektralen Lichtquelle sowie der zugehörigen maschinellen Auswertung. Dazu wurden in einem verwandten Forschungsprojekt bereits Vorarbeiten geleistet und zwei Patente eingereicht. Im nächsten Schritt wurde das Konzept zur Messung optischer Fingerprints von Weinen für den in PINOT relevanten Anwendungsfall konkretisiert. Zum Schutz des entstandenen IPs wurden zwei weitere Patente für modulare optische Messsysteme (MoM) zur Messung der Konzentration eines oder mehrerer

Stoffe in einem flüssigen oder gasförmigen Medium im Rahmen von PINOT angemeldet (MoM1 und MoM2).

Bei MoM 1 wird die Probe zum Messsystem geleitet, bei MoM 2 wird das Licht zu Detektoren im Probenraum geleitet. Die zugrundeliegende Messmethode nutzt die Tatsache, dass alle IR-aktiven Stoffe in charakteristischen Wellenlängenbereichen absorbieren. Diese Absorption führt zu einer akustischen Welle (PAS) deren Signalstärke mit der Konzentration des absorbierenden Moleküls korreliert. Die zentralen Elemente bei MoM sind:

- Die Messzelle mit einem oder mehreren akustischen Detektoren sowie einem Ein- und Austrittsfenster für die optische Strahlung.
- Die für die Messung spezifischen Einzellichtquellen und ein Strahlen-Combiner, der die Strahlen der einzelnen Lichtquellen zu einem gemeinsamen Strahl bündelt.

Für die Messung wird das zu untersuchende Medium durch einen Einlass in die Messkammer geleitet, wo es durch das Fenster mit den gebündelten Lichtstrahlen der spezifischen Einzellichtquellen beleuchtet wird. Wird ein Teil des Lichtes absorbiert, so hat das eine Druckänderung im Medium zur Folge. Diese vom Detektor in der Messkammer erfasste Druckänderung ist ein Maß für die Konzentration des absorbierenden Stoffes. Sollen mehrere Stoffe gemessen werden, kann dies zum Beispiel zeitlich nacheinander geschehen: indem die Beleuchtung der Messkammer den Stoffen entsprechend (optischer Fingerprint) verändert wird. Es können mehrere Messkammern an beliebigen Stellen im Raum angeordnet und parallel stoffspezifisch beleuchtet werden. Dabei wird das Strahlenbündel der Einzellichtquellen durch eine optische Vorrichtung über Ein- und Austrittsfenster durch alle im Raum platzierten Messkammern geführt, sodass alle gleichartig beleuchtet werden. Damit ist eine orts aufgelöste Messung der Stoffkonzentration möglich.

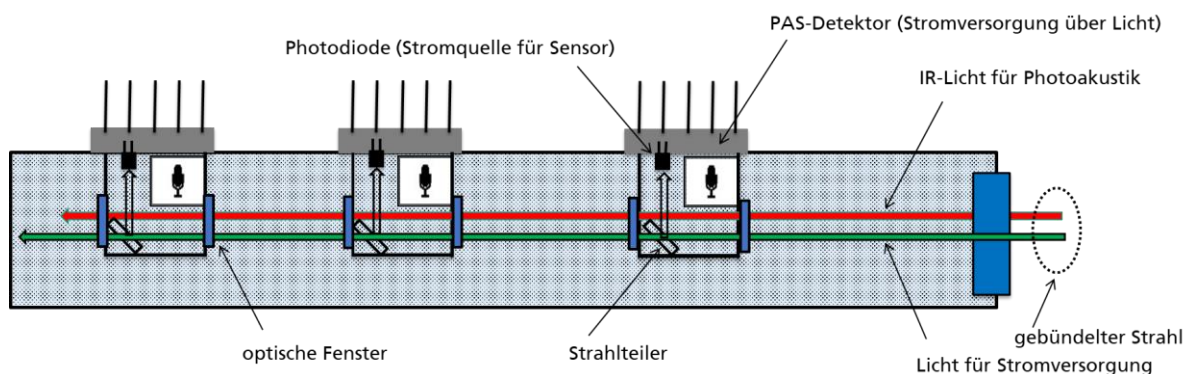


Abbildung 7: Technische Skizze modulares optisches Messsystem (MoM)

Bei der theoretischen Ausarbeitung der Patentschriften (Abbildung 7) wurde klar, dass die ursprünglich angedachte Entwicklung einer multispektralen Lichtquelle im Projekt PINOT durch MoM ersetzt werden kann. Das ist mit dem Vorteil verbunden, dass eine Vielzahl relevanter Aromen im Headspace von Wein mit einer Messgenauigkeit detektiert werden können, die voraussichtlich über der erwarteten Genauigkeit bei Messungen mit der multispektralen Lichtquelle liegen wird. Neben dem angeführten Vorteil der höheren Messgenauigkeit wird so der praktische Beweis erbracht, dass das den Patentanmeldungen zugrundeliegende Messverfahren (MoM) für Weinaromen funktioniert und somit eine tatsächliche Verwertungsperspektive im Anschluss an das Projekt PINOT besteht.

Die Entwicklung eines solchen Messsystems ist, ähnlich der multispektralen Lichtquelle, mit hohem Entwicklungsaufwand und einer der Neuartigkeit des Ansatzes geschuldeten Unsicherheit verbunden. Die Konkretisierung der theoretischen Konzepte hat gezeigt, dass eine Realisierung außerhalb der Laborumgebung voraussichtlich weitere Jahre in Anspruch nehmen wird und somit nicht Gegenstand im Projekt PINOT sein konnte. Die durchgeführte Validierung der Messmethode hat jedoch bereits die Messung optischer Fingerprints von Weinen ermöglicht und wertvollen Input für die Entwicklung der weinnahen KI-Algorithmen in AP 6 geliefert.

Dazu wurde im **ersten Schritt** das Labor-Setup zur Validierung der Messmethode aufgebaut und orientierende Messungen durchgeführt. Im **zweiten Schritt** wurde das Messsetup automatisiert und die Ursachen systematischer Fehler durch eine gründliche Fehleruntersuchung mit genauer Betrachtung der eingesetzten Messgeräte und des gesamten Verfahrens sowie des Messablaufs identifiziert. Die Ergebnisse der in diesem Zuge durchgeführten Messungen optischer Fingerprints verschiedener Weine wurden entsprechend aufbereitet und im Konsortium diskutiert. Anschließend hat Fraunhofer IIS im **dritten Schritt** die optischen Fingerprints von über 100 Weinen, die in AP 7 humansensorisch bewertet wurden, systematisch vermessen und diese Daten zur weiteren Entwicklung der weinnahen KI-Algorithmen in AP6 zur Verfügung gestellt.

Am Fraunhofer IIS wurde mit rund 900 TEUR Eigenmitteln entsprechende **Laborinfrastruktur** aufgebaut und im Projekt PINOT sowie einem verwandten Forschungsprojekt gezielt erweitert. Im **Spektroskopielabor** befindet sich ein vom Fraunhofer IIS aufgebauter LPAS-Spektrometer (laser photoacoustic spectroscopy), welcher aus vier frei durchstimmbaren Quantenkaskadenlasern (MIRcat™ Mid-IR Laser; Daylight Solutions) der Laserklasse 3B besteht. Diese sind mit einem hochsensitiven CEPAS-Detektor (PA201; Gasera) gekoppelt. Um mögliche Schwankungen in der Lichtleistung zu kompensieren, wurde zusätzlich ein Power Meter (PM100USB; Thorlabs) in den Aufbau integriert. Mit dem LPAS können Konzentrationen bis in

den ppt-Bereich nachgewiesen werden. Das Laserspektrometer ist über Wanddurchführungen mit dem Gaslabor verbunden, was somit die Möglichkeit bietet Stoffgemische im Spektroskopielabor zu untersuchen.

Das **Gaslabor** am Fraunhofer IIS (Abbildung 8) ist u.a. mit einer Gasmischanlage, einem Autosampler (InMotion Pro; Mettler Toledo) für die Headspace- und Flüssigkeitsanalyse, einem Titrator (Excellence T7 mit InLab Expert Pro-ISM pH-Sensor; Mettler Toledo) zur Bestimmung der Weinsäure sowie einem UV/VIS-Spektralphotometer (UV7, Mettler Toledo) zur Bestimmung der Weinfarbe (CIELab) ausgestattet. Die Gasmischanlage liefert hochreine synthetische Luft KW-frei 6.0 (Linde) als Spül- und Trägergas für die Probenahmeeinrichtungen und Messgeräte. Mit der Gasmischanlage können zusätzlich bis zu 12 Gasgemische (z.B. Ethanol) in verschiedenen Konzentrationen beaufschlagt, sowie die relative Feuchte variiert werden.

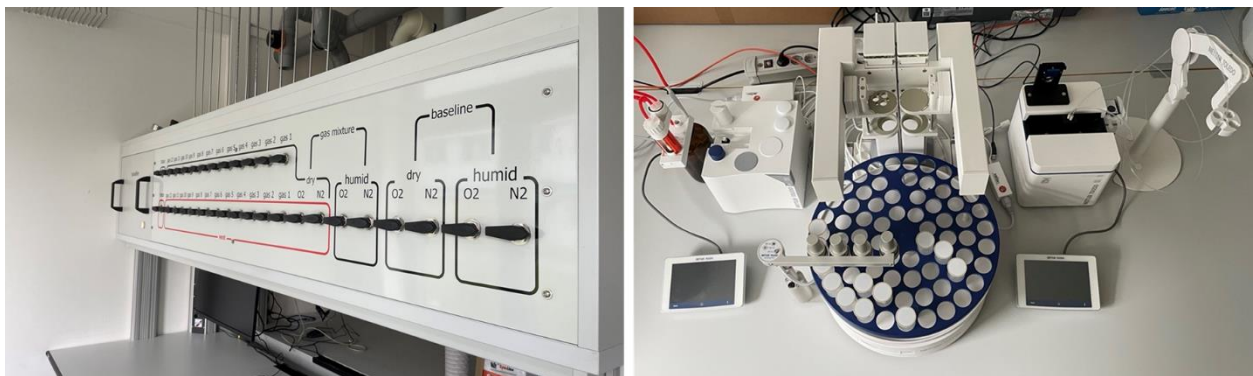


Abbildung 8: Teilansicht der Gasmischanlage (links) und Autosampler (rechts)

Die zugrundeliegende Messmethode (CEPAS: cantilever enhanced photoacoustic spectroscopy) nutzt die Tatsache, dass alle IR-aktiven Stoffe in charakteristischen Wellenlängenbereichen absorbieren. Diese Absorption führt zu einer akustischen Welle deren Signalstärke mit der Konzentration des absorbierenden Moleküls korreliert. Der mittlere IR-Bereich ( $3\text{-}13\ \mu\text{m}$ ) ist reich an Informationen, da in diesem Spektralbereich alle wichtigen Weinaromastoffe absorbieren. Diese Informationen sind für jeden Wein charakteristisch (Fingerprint). Die einzigartige **Kombination aus Gas- und Spektroskopielabor** (Abbildung 9) ermöglichte die Validierung der Messmethode unter kontrollierten Bedingungen. Für die Messung optischer Fingerprints ausgewählter Weine wurde die Probenahme mittels des aus Eigenmitteln beschafften Autosamplers automatisiert.

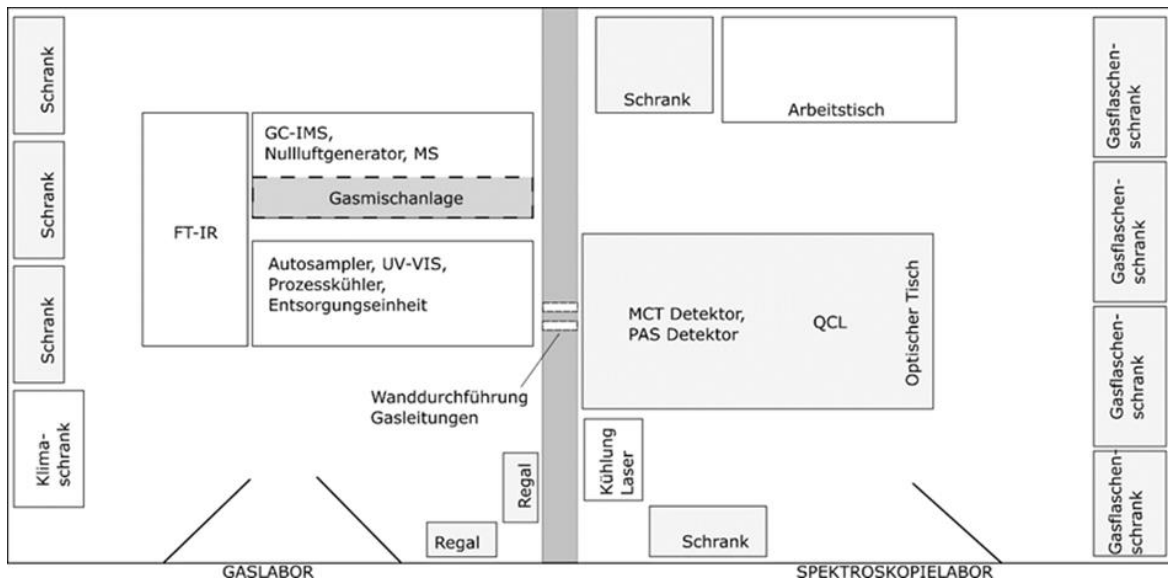


Abbildung 9: Laborplan Gas- und Spektroskopielabor

Für das Handling großer Datenmengen ist eine sichere und eindeutige Probenidentifikation sowie eine logische Ordnerstruktur (Strukturierung, Nachvollziehbarkeit, Konsistenz in der Benennung, Dokumentation etc.) zwingend erforderlich. Bei den Weinverkostungen am Weincampus Neustadt wurde für jeden Wein eine ID vergeben. Vor Beginn einer Weinmessung am Fraunhofer IIS wird für jeden Wein ein übergeordneter Ordner mit der ID angelegt und die Etiketten des Weines ab fotografiert (Abbildung 10) und darin abgelegt. Über die Pflichtangaben auf den Etiketten können fehlerhafte IDs nachträglich berichtigt werden.



Abbildung 10: Foto des Etiketts



Abbildung 11: Autosampller

Danach wurde die Flasche geöffnet und 12ml Wein in einen 80ml PP-Becher gefüllt (dies entspricht den 15% die bei den Weinverkostungen mit den Sommeliers am Weincampus verwendet werden). Der Becher wird in den Autosampler (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) gestellt und mit dem am Fraunhofer IIS entwickelten Messkopf gasdicht verschlossen. Der Wein wird auf exakt 21,0 °C temperiert und die Transferleitungen und die Messkammer des CEPAS Detektors im angrenzenden Optiklabor werden mit hochreiner trockener synthetischer Luft gespült. Dann wird ein Kreuzventil geschaltet und das Weinaroma im Headspace (Autosampler) über ein Trägergas zum Detektor transportiert. Die Messkammer des Detektors wird zunächst mit der Probe gespült und danach über ein Ventil verschlossen. Die vier Quantenkaskadenlaser werden nacheinander eingeschaltet. Dabei wird ein Wellenlängenbereich von 5,6 µm bis 12,9 µm ohne gap durchgestimmt. Danach werden die Transferleitungen und die Messkammer des CEPAS Detektors erneut mit trockener Luft gespült und das Aromaprofil des nächsten Weines automatisiert vermessen.

Am selben Tag wird in einem zweiten Schritt die titrierbare Gesamtsäure des Weines bestimmt, welche ein wichtiger Qualitätsindikator ist. Je nach Alter und Typ haben Weine üblicherweise einen Säuregehalt im pH-Bereich von 2,5 bis 4,5. Der durchschnittlich akzeptable Wert für den Säuregehalt liegt zwischen 0,5 und 10 g/L.

Die Gesamtsäure im Wein kann nicht direkt über den pH-Wert gemessen werden, da die enthaltene Säure im Wein durch andere Inhaltsstoffe wie z.B. Calcium, Kalium, Magnesium und Phenole abgepuffert wird. Deshalb wird sie mittels des Äquivalenzpunkt (EQP)-Titrationsverfahrens bestimmt. Zu Beginn der Messungen wird die Bürette gespült und die pH-Elektrode (Glaselektrode) mit Pufferlösungen pH 4,01 und 7,00 kalibriert. In den Titrationsbecher des Autosamplers werden 20ml Wein und 20ml deionisiertes Wasser gegeben und die titrierbare Gesamtsäure dieser Probe über eine automatische potentiometrische Säure-Base-Titration mit 0,33N NaOH bestimmt: Während der Titration wird der pH-Wert mit einer Glaselektrode überwacht. Am Äquivalenzpunkt, liegen Analyt und Reagenz in exakt gleicher Menge vor. Das Produkt aus Titriermittelkonzentration und Titriermittelverbrauch ergibt die Laugenmenge, die mit der Probe reagiert hat, aus der der Säuregehalt berechnet wird. Die Werte werden im entsprechenden ID-Ordner abgespeichert.

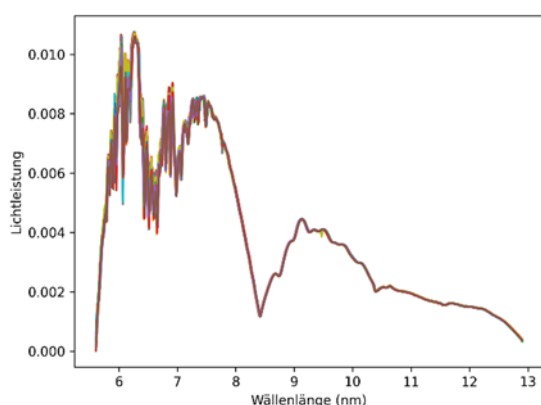
Ein weiteres grundlegendes Merkmal von Wein ist dessen Farbe. Im letzten Schritt werden daher die chromatischen Eigenschaften der Proben gemäß CIELab bestimmt. Der Großteil des Weines besteht aus Wasser und Alkohol, nur ein kleiner Rest verleiht dem Wein seine Farbe, das Aroma und den Geschmack. So sind beispielsweise Verbindungen wie Anthocyane oder Tannin für die

rote Farbe verantwortlich und Flavone steuern die Farbe von Weißweinen. Die farblichen Merkmale eines Weines werden durch die kolorimetrischen Koordinaten  $L^*$  (Klarheit, 0–100),  $a^*$  (grün/rot),  $b^*$  (blau/gelb) und der daraus abgeleiteten Größen  $C^*$  (Chroma) und  $h^*$  (Farbton) bestimmt. Für die Messung werden je 40ml Wein in einen PP-Becher des Autosamplers gegeben. Es ist dabei auf die Homogenität der Probe zu achten. Ist der Wein trüb, muss dieser zentrifugiert oder filtriert (Whatman Papierfilter Nr. 41) werden. Danach wird die Probe in die Quarzküvette des UV/VIS-Spektralphotometers gepumpt und die Absorption im Wellenlängenbereich zwischen 360 und 830nm in kleinen Schritten gemessen. Die Parameter werden berechnet und im ID-Ordner abgelegt. Die Küvette wird mit der nächsten Weinprobe gespült. Als Richtwert wird empfohlen, für Weißweine und Roseweine Küvetten mit einer Pfadlänge von 10mm und für Rotweine Küvetten mit einer Pfadlänge von 1mm zu verwenden.

Bei ersten orientierenden Messungen mit dem QCL-PAS Setup konnten einige potenzielle Quellen für systematische Fehler identifiziert werden. Diese wurden adressiert und in Testmessungen verifiziert, dass die neu erhobenen Daten nicht beeinflusst sind.

Für diese Funktionalitätstests wurden ein Rotwein mit 13,0%vol Ethanol (Spätburgunder), synthetische Luft, Wasser und ein 13,0%vol Ethanol-Wasser-Gemisch jeweils dreimal vermessen. Alle Messungen wurden über den gesamten Wellenlängenbereich der 4 QCLs vorgenommen, von 5.6 bis 12.9  $\mu\text{m}$ .

Eine potenzielle Fehlerquelle ist eine **schwankende Lichtleistung** des Lasers, da die Signalhöhe von der Lichtleistung abhängig ist. Deshalb wurde Software entwickelt, die die Lichtleistung des Lasers während der Messungen mitschreibt. Ein Vergleich der entstehenden

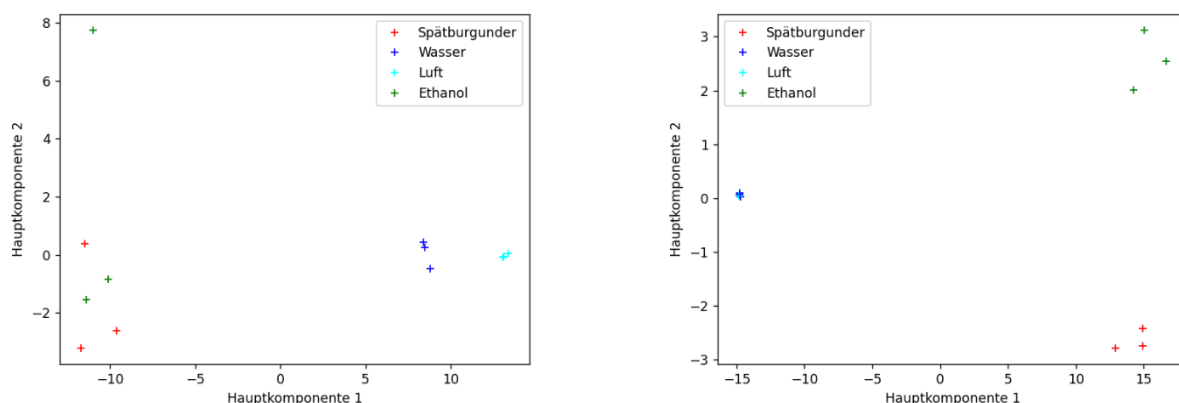


Lichtleistungskurven (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) hat gezeigt, dass die Lichtleistung des Lasers auch über Tage hinweg stabil ist. Die Lichtleistung wird auch bei der Vermessung der Projektweine mitgeschrieben und analysiert, um potenzielle Fehlfunktionen schnell erkennen zu können. Außerdem kann so im Falle einer schwankenden Lichtleistung das Signal durch Normalisierung korrigiert werden.

Abbildung 12: Lichtleistung des Quantenkaskadenlasers über mehrere Tage.

Theoretisch könnte sich **Feuchtigkeit** in den Schläuchen ablagern und über den Verlauf des Messprozesses akkumulieren, was die Messergebnisse beeinflussen würde, da Wasser im Bereich kleiner  $8.4 \mu\text{m}$  absorbiert, welcher Teil unseres QCL Sweeps ist. Um sicherzugehen, dass Unterschiede in Messungen nicht von eventuellen Schwankungen in der Luftfeuchtigkeit abhängen, wurden die Wellenlängenbereiche separat in einer Hauptkomponentenanalyse betrachtet. Abbildung (rechts) zeigt die Projektion in die von den ersten beiden Hauptkomponenten aufgespannte Ebene für alle Proben, wenn nur Wellenlängen größer als  $8.4 \mu\text{m}$  verwendet werden. Die größte Trennung, die in der ersten Hauptkomponente sichtbar ist, ist zwischen alkoholhaltigen (Ethanol, Wein) und nicht alkoholhaltigen (Wasser, Luft) Proben erkennbar. In der zweiten Hauptkomponente kann man die Trennung zwischen reinem Alkohol und Wein beobachten. Dies legt nahe, dass in der zweiten Hauptkomponente Weinaromen erfasst werden. Abbildung (links) zeigt die Hauptkomponentenanalyse der Proben, wobei nur Wellenlängen kleiner als  $8.4 \mu\text{m}$  betrachtet wurden. Man kann erkennen, dass auch in diesem Wellenlängenbereich, der potenziell von Wasserabsorption gestört ist, eine klare Trennung zwischen alkoholischen und nicht-alkoholischen Proben möglich ist. Allerdings ist die Trennung zwischen Wein und Ethanol nicht mehr klar beobachtbar.

Abbildung 13: Hauptkomponentenanalyse der Proben, wobei nur Wellenlängen bis  $8.4 \mu\text{m}$  (links) bzw. ab  $8.4 \mu\text{m}$  (rechts) betrachtet werden.



Fraunhofer IIS hat im Projekt PINOT die zugrundeliegende Messmethode (CEPAS: cantilever enhanced photoacoustic spectroscopy) validiert und die **optischen Fingerprints von über 100 Weinen**, die in AP 7 humansensorisch bewertet wurden, systematisch vermessen und diese Daten zur weiteren Entwicklung der weinnahen KI-Algorithmen in AP 6 zur Verfügung gestellt.

Außerdem wurde das am Fraunhofer IIS entwickelte Mess-Setup im Kundemagazin der Firma Mettler Toledo publiziert (Adams, Annika "Digitizing Wine Tasting with Cantilever PAS & AI").

#### **AP 5: Hardware-Prototypen**

Lead: Wille Engineering

Das Ziel in diesem Arbeitspaket war die Konzeption und das prototypische Design von drei verschiedenen Hardware-Forschungs-Prototypen: Handgerät, semimobile Version und Labor-Version. Zudem wurden alle Prototypen während der Projektlaufzeit betreut und kontinuierlich optimiert. Um Fehlentwicklungen zu vermeiden, wurden agile Methoden eingesetzt. Es wurde so früh wie möglich und kontinuierlich getestet, und nach Bedarf weitere optimierte Varianten erstellt. Für jede Version wurden ein Schaltplan, ein „frei-verkabelter Prototyp“, ein Board-Layout und ein Gehäuse erstellt. Fraunhofer IIS stand dabei basierend auf den in AP4 geleisteten Arbeiten beratend zur Seite.

-----

#### **AP 6: Genie Enterprise**

Lead: Wille Engineering

In diesem Arbeitspaket wurden die KI-Algorithmen zur intelligenten Sensor-Auswertung, für Modelle für die weitere Analyse und Mensch-KI Interaktion erarbeitet. Das Fraunhofer IIS stand dabei in engem Austausch mit Genie Enterprise bzgl. der in AP4 erhobenen Messdaten und berücksichtigte dabei die spezifischen Anforderungen zur Entwicklung der weinnahen KI-Algorithmen. Die im Projektantrag für das Fraunhofer IIS geplanten Aufwände in diesem Arbeitspaket sind zum Großteil in die Automatisierung und Optimierung des Messsetups und der Methoden in AP 4.3 geflossen. Dies war notwendig, um die entsprechende Datenqualität für die in AP 6 zu entwickelnde weinnahen KI-Algorithmen sicherzustellen. So wurde z.B. über die Normierung der Lichtleistung eine Vergleichbarkeit über alle Proben hinweg sichergestellt und der Einfluss von Feuchtigkeit auf die Datenqualität analysiert (siehe Bericht zu AP 4.3).

-----

#### **AP 7: Weinstudie**

Lead: DLR Rheinpfalz, Weincampus Neustadt

In AP 7 ging es um die Erhebung und Bereitstellung weinchemischer und humansensorischer Daten anhand ausgewählter Weine für die zu erforschenden Sensoren als systematische

Untersuchungsgrundlage. Die Ergebnisse sind als Input in die Arbeiten am Fraunhofer IIS in AP4 eingeflossen. Insgesamt wurden zudem optische Fingerprints von über 100 Weine aus den hier durchgeführten Tastings im Rahmen des AP 4.3 am Fraunhofer IIS vermessen und zur weiteren Entwicklung der weinnahen KI-Algorithmen in AP 6 zur Verfügung gestellt.

-----

### **AP 8: Machbarkeits-Studie**

Lead: Vineyard Cloud

In diesem Arbeitspaket wurden die Möglichkeiten zur künftigen Verwertung der Projektergebnisse in der Weinindustrie skizziert sowie die Anwendung in anderen Bereichen der Lebensmittelindustrie geprüft und auf ihre Verwertbarkeit entlang der Wertschöpfungskette analysiert. Die möglichen Verwertungskonzepte wurden gegenübergestellt. Bei Fraunhofer IIS hat sich gezeigt gezeigt, dass das den Patentanmeldungen zugrundeliegende Messverfahren für Weinaromen funktioniert und eine Verwertungsperspektive im Anschluss an das Projekt PINOT besteht.